



REGIONE TOSCANA
Consiglio Regionale

PIANETA GALILEO 2009

A cura di Alberto Peruzzi

Si ringraziano:

il Comitato Scientifico di Pianeta Galileo 2009, gli Atenei toscani, le Province di Arezzo, Firenze, Grosseto, Livorno, Lucca, Massa Carrara, Pisa, Pistoia, Prato e Siena, i Comuni di Arezzo, Livorno e Prato, la Fondazione Monte dei Paschi di Siena per il contributo concesso, la Fondazione Toscana Spettacolo, il Gabinetto Scientifico Letterario G.P. Vieusseux, l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri - Associazione Astronomica Amici di Arcetri, l'Ufficio Scolastico regionale per la Toscana - MIUR

Pianeta Galileo : 2009 / Regione Toscana, Consiglio regionale ; a cura di Alberto Peruzzi. – Firenze : Consiglio regionale della Toscana, 2010

I. Toscana. Consiglio regionale II. Peruzzi, Alberto

375.6

Scienze – Divulgazione e attività promozionali – Progetti della Regione Toscana – Pianeta Galileo – Atti di congressi

CIP (Catalogazione nella pubblicazione) a cura della Biblioteca del Consiglio regionale

Consiglio Regionale della Toscana

Direzione di Area 2 - Partecipazione e rappresentanza

Grafica e impaginazione: Patrizio Suppa, Settore Comunicazione istituzionale, editoria e promozione dell'immagine

Stampato presso il Centro Stampa del Consiglio regionale della Toscana,
via Cavour, 4 - Firenze

Luglio 2010

Realizzato con il contributo della



FONDAZIONE
MONTE DEI PASCHI
DI SIENA

SOMMARIO

Presentazione -	5
Introduzione - <i>Alberto Peruzzi</i>	7

PROSPEZIONI

MATEMATICA

Il concetto di probabilità - <i>Ivan Casaglia</i>	15
Il numero <i>e</i> - <i>Alessandra Del Piccolo</i>	39
Codici segreti: l'antica arte della crittografia diventa una scienza moderna - <i>Renato Betti</i>	51
Da Pitagora a Knuth - <i>Giuseppe Pirillo</i>	69
La matematica dei videogiochi - <i>Marco Franciosi</i>	81

DALLA FISICA AI FISICI

Simmetria e fisica - <i>Elena Castellani</i>	97
LHC: I fisici italiani al CERN di Ginevra - <i>Roberto Casalbuoni</i>	109
Venti metri di pensiero - <i>Massimo De Micco, Giampaolo Mazza, Gianfranco Staccioli</i>	125
Antartide: un laboratorio naturale per lo studio dei cambiamenti climatici globali passati e futuri - <i>Emiliano Castellano, Federica Marino</i>	129
L'uomo e gli uomini. Lettura storica - <i>Giulio Barsanti</i>	141
Primo Levi, chimico-scrittore - <i>Mimma Bresciani Califano</i>	151
Dal flauto del paleolitico alle neuroscienze passando per Galileo - <i>Andrea Frova</i>	163
I Neuroni Specchio - <i>Luca Bonini</i>	173
Come può la coscienza essere libera se non esiste? - <i>Duccio Manetti, Silvano Zipoli Caiani</i>	183
Verso un mondo libero da armi nucleari? - <i>Francesco Lenzi</i>	201

EPISTEMOLOGIA

Scienza e filosofia - <i>Paolo Parrini</i>	213
Kant e la matematica - <i>Alberto Peruzzi</i>	229
Intervista a Bas van Fraassen - <i>Duccio Manetti, Silvano Zipoli Caiani</i>	241

SCIENZA, FUMETTI E CINEMA

A proposito del metodo scientifico... leggendo fumetti - <i>Marco Salucci</i>	257
<i>Matrix</i> tra scienza e filosofia - <i>Marco Salucci, Andrea Sani</i>	279
I <i>comics</i>, la scienza e l'errore - <i>Andrea Sani</i>	295

STORIA DEL PENSIERO

Oroscopi e scienza nel Seicento - <i>Mariapiera Marenzana</i>	315
Cosmologia e armonia nel Seicento - <i>Natacha Fabbri</i>	325
Niccolò Stenone: scienziato e uomo di fede alla corte di Cosimo III - <i>Stefano Miniati</i>	341
L'avventurosa definizione del metro - <i>Giuseppe Pirillo</i>	357

CONVEGNI

GALILEO IN CINA

La Cina Ming e l'incontro con l'Occidente - <i>Guido Samarani</i>	371
La ricezione in Cina del telescopio e dell'ottica occidentale - <i>Iwo Amelung</i>	383
Religioni ac bonis artibus: l'«apostolato scientifico» dei Gesuiti in Cina - <i>Ilaria Morali</i>	399
L'Asia e l'Europa al tempo di Galileo: l'altro 'nuovo mondo' - <i>Roberto Peruzzi</i>	417
Potere tecno-scientifico e circolazione di conoscenze: il programma nucleare cinese - <i>Matteo Gerlini</i>	429

GALILEO NELLA COSCIENZA NAZIONALE: DAL 1945 A OGGI

Storie d'Italia: la riconquista di Galileo - <i>Massimo Bucciantini</i>	437
La Chiesa e Galileo. Una celebrazione con gli interessi - <i>Maurizio Torrini</i>	449
La fortuna di Galileo nella critica e nella letteratura novecentesca - <i>Andrea Battistini</i>	463
L'immagine di Galileo tra esperti e cittadini alla vigilia dell'anno dell'Astronomia - <i>Gianfilippo Parenti</i>	477
Le immagini di Galileo sul grande e sul piccolo schermo: i molti volti di un'icona - <i>Antonella Testa, Cristina Olivotto</i>	491

LE DUE CULTURE

Sulle due culture - <i>Antonello La Vergata</i>	509
Un inglese in Italia: Charles Percy Snow, Le due culture e il dibattito degli anni Sessanta - <i>Pierpaolo Antonello</i>	515
Due Culture? - <i>Arnaldo Benini</i>	531
Ricostruire l'unità del sapere - <i>Paolo Blasi</i>	539
Unico e originale: l'essenzialismo psicologico e le due culture - <i>Giorgio Vallortigara</i>	543
Presentazione della bibliografia curata dalla SISL sui rapporti tra scienza e letteratura dal dopoguerra a oggi - <i>Patrizia Pedrini</i>	549
Struttura della bibliografia on-line su scienza e letteratura - <i>Andrea Scotti</i>	553

PREMIO GIULIO PRETI

Motivazione per il conferimento del Premio a Bas van Fraassen	557
La logica e l'io: dopo certe crisi nel pensiero occidentale - <i>Bas C. van Fraassen</i>	559
Motivazione per il conferimento del Premio a Ettore Casari	573
Un aut-aut insospettato fra il definire e il dimostrare adeguatamente - <i>Ettore Casari</i>	575

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA PER AREE TEMATICHE -

<i>a cura di Maddalena Mancini e Caterina Rocchi</i>	585
--	-----

PRESENTAZIONE

Pianeta Galileo rappresenta, oramai da alcuni anni, lo strumento con cui, sinergicamente, Consiglio Regionale, Università della Toscana, Ufficio Scolastico Regionale, Amministrazioni Provinciali promuovono la conoscenza, specialmente fra i giovani, della cultura scientifica, intesa come base essenziale del sapere diffuso e come elemento fondante dello stesso essere comunità.

La Toscana è, lo sappiamo, culla di sapere scientifico: le sue secolari tradizioni si rinnovano oggi con le tante eccellenze che, pur fra le mille difficoltà di un contesto non fra i più favorevoli (pensiamo all'incidenza della spesa per ricerca, innovazione e sviluppo sul PIL italiano), riescono comunque ad emergere nel contesto internazionale.

La cultura, particolarmente quella scientifica (data la sua specializzazione), deve essere sostenuta, alimentata, divulgata per costruire, soprattutto nei giovani, la massima capacità di comprensione possibile che costruisca una reale tensione a ripercorrere i passi di chi dedica le proprie migliori energie a questo fondamentale aspetto della conoscenza umana.

Nel suo piccolo, Pianeta Galileo ha voluto e vuole essere un contributo a questo processo di divulgazione della cultura scientifica, del sapere scientifico, perché si crei, su di esso ed attorno ad esso, quell'interesse necessario ad aiutare sempre più giovani ad incamminarsi sulla strada della conoscenza, dello studio, del sapere, della scienza.

Questo volume raccoglie dunque una significativa rassegna dei contributi dell'esperienza del 2009, a testimonianza di questa nuova tappa di un percorso che ha saputo costruire un ponte, un dialogo, fra il sapere scientifico e i suoi protagonisti e la società toscana. Relazioni di cui la Regione non può che andare, ovviamente, particolarmente fiera.

ALBERTO MONACI
Presidente del Consiglio regionale della Toscana

STELLA TARGETTI
Vicepresidente della Regione Toscana

INTRODUZIONE

ALBERTO PERUZZI

Università di Firenze, Coordinatore scientifico di Pianeta Galileo

L'edizione 2009 di Pianeta Galileo è stata nel nome di due grandi figure del pensiero scientifico: Galileo e Darwin.

Nel 2009 ricorreva infatti il quarto centenario dalle prime osservazioni del cielo fatte da Galileo servendosi del telescopio, i risultati delle quali Galileo documentò nel corso dell'anno successivo con il *Sidereus Nuncius*. In suo onore il 2009 è stato indicato come l'anno mondiale dell'astronomia e Pianeta Galileo ha voluto unirsi alle iniziative che in Italia e all'estero sono state realizzate per ricordare quelle prime straordinarie scoperte di Galileo e il loro significato, non solo per la storia dell'astronomia ma più in generale per la storia della scienza nel suo complesso. Il 2009 è stato anche l'anno darwiniano: infatti, sono passati esattamente duecento anni dalla nascita del grande scienziato britannico e centocinquanta dalla pubblicazione del suo capolavoro, l'*Origine delle specie*. Galileo e Darwin hanno unito ciò che fino a loro era rimasto separato: il cielo dalla terra, il presente delle specie viventi dal loro passato.

Al fine di documentare l'immagine di Galileo nell'Italia del secondo Novecento, Pianeta Galileo ha organizzato un convegno ospitato dal Gabinetto Vieusseux, presso il quale si è svolto anche un convegno sulla trasmissione della scienza europea in Cina a partire dal primo Seicento. Per documentare specifici aspetti della lezione galileiana, ci sono state lezioni di fisica, spettacoli incentrati su Galileo, esperienze di laboratorio che hanno illustrato il suo modo di ragionare. All'eredità di Darwin è stata dedicata l'intera settimana di lezioni a Grosseto, nonché lezioni in altre province, visite guidate a musei scientifici e uno spettacolo, in collaborazione con il Festival della Creatività. Benché Galileo e Darwin siano stati i punti di riferimento di molti eventi inseriti nel programma, l'arco dei temi trattati è stato notevolmente più ampio, come attesta questo stesso volume.

Come le edizioni precedenti, anche nel 2009 Pianeta Galileo si è proposto di mettere a contatto diretto il mondo della scuola e il mondo della ricerca in uno stile né accademico né festivaliero, ma cercando soprattutto di comunicare ai giovani lo spirito che anima la ricerca e, allo stesso tempo, cercando di promuovere una riflessione dei cittadini sulla scienza, sulla sua storia e sulla più ampia valenza culturale che i cambiamenti nell'immagine scientifica del mondo hanno avuto e continuano ad avere. Questo proposito ha guidato l'azione di Gigliola Paoletti Sbordoni, coordinatrice del progetto insieme a chi scrive, e del comitato scientifico nella sua interezza. L'impegno prodotto

in conformità a tale proposito fa sì che Pianeta Galileo non si presti a essere genericamente incluso tra i progetti di divulgazione, di orientamento o di aggiornamento didattico che negli ultimi anni si sono diffusi un po' ovunque in Italia, senza con ciò nulla togliere all'opera meritoria di tutti coloro che si sono impegnati in tali iniziative.

L'idea guida di Pianeta Galileo è stata quella di una consapevole integrazione fra le diverse facce della cultura scientifica all'interno di uno stesso 'contenitore'. In questo senso, alle iniziative rivolte agli studenti della scuola secondaria di secondo grado si sono affiancate proposte rivolte a docenti di matematica e scienze naturali, in vista di un migliore raccordo con il Progetto Regionale di Educazione Scientifica, così come iniziative rivolte a un pubblico più vasto, costituito da tutti coloro che sono, in qualche modo, interessati a capire le trasformazioni delle scienze e delle tecnologie nel nostro tempo, a capire le motivazioni che sono all'origine delle ricerche attuali, a capire da dove vengono le domande alle quali si sta cercando di dare risposta e a riflettere su quei progressi del sapere che sollecitano un ripensamento della stessa educazione scientifica per una più matura cittadinanza democratica.

Così sintetizzato, potrebbe apparire un progetto vago quanto eccessivamente ambizioso. A detta di molti di coloro che vi hanno partecipato, si è invece trattato di un'esperienza feconda, articolata e commisurata alla realtà culturale dei nostri tempi che ha aperto una finestra di dialogo tra scuola, università e società civile, tanto che ormai Pianeta Galileo è divenuto un appuntamento atteso; così non era inizialmente e non era scritto che divenisse.

Anche se ogni anno si è cercato di proporre nuovi temi e nuove aree di ricerca, non tutte le scienze sono state presenti in questa come nelle edizioni precedenti di Pianeta Galileo: è un'ammissione fatta con rammarico, mitigato soltanto in parte dalla disponibilità che c'è sempre stata ad accogliere proposte finalizzate a far conoscere la ricerca più avanzata nei più diversi campi. Se l'iniziativa avrà un seguito, un sicuro auspicio è che temi e aree finora assenti o non adeguatamente presenti possano essere valorizzati in futuro.

I testi raccolti in questo volume di atti offrono solo un campione dei temi al centro delle lezioni, conferenze, mostre, visite guidate, nonché esperienze di laboratorio, spettacoli teatrali, seminari, proiezioni, dibattiti, che hanno contraddistinto l'edizione 2009 di Pianeta Galileo, coinvolgendo migliaia di persone in tutte e dieci le province della Toscana per un mese intero (206 eventi, per un totale di circa 23.000 presenze). Ciò nonostante, è facilmente riconoscibile in molti dei testi qui raccolti un tratto caratteristico di Pianeta Galileo: la trattazione degli argomenti mette in evidenza che, per focalizzare un problema, talvolta è opportuno non incasellare il discorso all'interno di un preordinato settore disciplinare, e talvolta, più che di un'opportunità, si tratta di una necessità dettata dalla natura stessa del problema.

Trasversale alle varie sezioni in cui si articola il volume è la particolare attenzione rivolta a una consapevolezza storica del cammino della scienza. Non meno trasversale è l'invito a fermarsi a riflettere sulla struttura del ragionamento matematico e scientifico

in relazione ai suoi specifici, concreti e differenziati usi, così come, su un piano più generale, l'esigenza di farsi un'idea meno superficiale dei rapporti tra scienza e filosofia, tra cultura scientifica e cultura umanistica (si vedano a questo proposito i contributi relativi al convegno sui cinquant'anni da *Le due culture* di Snow), tra scienze naturali e scienze cognitive, tra ricerca 'pura' e nuove tecnologie. Come già indicato nell'annuncio della manifestazione, il filo rosso che unisce i numerosi temi e problemi affrontati è «l'idea che il sapere scientifico, con l'abito mentale che a esso si accompagna, sia componente imprescindibile della formazione culturale e civile».

Questo stesso filo rosso trova la sua espressione nel Premio Giulio Preti, istituito in memoria di un grande, e non ancora adeguatamente riconosciuto, filosofo italiano del Novecento, a ulteriore testimonianza dello spirito che ha dato vita a Pianeta Galileo e che l'ha animato in tutte le sue precedenti edizioni. Nel 2009 tale premio è stato assegnato all'italiano Ettore Casari e al canadese Bas van Fraassen, ciascuno dei quali ha tenuto una *lectio magistralis* il cui testo è contenuto nel presente volume di atti.

Il volume si conclude con una serie di suggerimenti di lettura, relativi a un cospicuo numero di aree cui fanno riferimento i contributi qui raccolti, corredata da una sitografia orientativa e da un elenco di dvd di carattere divulgativo. Questa sezione non intende in alcun modo essere esaustiva, ma vuole costituire un semplice ausilio, nella speranza che sia utile tanto a chi si avvicina per la prima volta a uno degli ambiti scientifici considerati quanto a chi intende arricchire il proprio bagaglio di conoscenze con una riflessione di tipo storico-epistemologico.

In ultimo, un doveroso e sentito ringraziamento va a tutti coloro che nelle istituzioni, a partire dal Consiglio regionale promotore della manifestazione, nelle province e nei comuni, della Toscana, nelle scuole e negli atenei, nelle associazioni e nei musei, hanno contribuito a realizzare l'edizione 2009 di Pianeta Galileo. Un non meno doveroso e sentito ringraziamento a tutti gli studiosi che hanno fornito in così breve tempo il testo del loro intervento, rendendo possibile la stampa di questi atti a pochi mesi di distanza dalla manifestazione.

PROSPEZIONI



Matematica

IL CONCETTO DI PROBABILITÀ*

IVAN CASAGLIA

Liceo Scientifico Castelnuovo, Firenze

1. Probabilità e decisioni

In molte situazioni della vita quotidiana ci capita di dover prendere delle decisioni in condizioni d'incertezza. L'incertezza non riguarda soltanto eventi futuri, ma anche quegli eventi passati sui quali non siamo in possesso di informazioni complete. Può essere naturale, ad esempio, chiedersi se domani piovverà e intuire che si possa dare una risposta in termini di probabilità. Ma, anche quando ci chiediamo se sia piovuto in città il 15 agosto del 1974, siamo in una situazione d'incertezza. Certo, in questo caso possiamo sperare di rintracciare in una biblioteca la copia di un quotidiano del 16 agosto del 1974, o accedere ai dati rilevati da un centro di osservazione meteorologica, e dare una risposta certa. Finché però non disponiamo di queste informazioni, restiamo in una condizione d'incertezza anche se l'evento in questione appartiene al passato. Possiamo ritenere piuttosto improbabile che sia piovuto nel giorno di Ferragosto, ma non possiamo neppure escluderlo del tutto (del resto i temporali estivi sono un fenomeno tutt'altro che raro). A ben vedere l'incertezza può riguardare anche un terreno che, a torto o a ragione, è stato da sempre considerato il regno delle verità indiscutibili, quale può essere la matematica. Se in questo momento ci chiediamo, ad esempio, quale sia la decima cifra della rappresentazione decimale di π , siamo di nuovo in una situazione d'incertezza. E in tale condizione siamo costretti a restare fino a che non ricorriamo a un qualche strumento di calcolo che ci permetta di stabilire quale sia quella cifra (ma potrebbe bastare anche qualche manuale o uno dei numerosi siti internet dedicati a π).

Il calcolo delle probabilità, come teoria matematica, nasce per tentare di affrontare l'incertezza in modo ragionevole. Le sue origini non sono particolarmente nobili, dal momento che si collocano tra i tavoli dei giochi d'azzardo, di dadi o di carte, che di questa nuova teoria scientifica costituirono il primo laboratorio. Ma già in questa prima fase il legame della probabilità col problema della scelta di fronte all'incertezza è subito evidente: le questioni da cui presero le mosse Galileo, Pascal, Fermat per fondare il calcolo delle probabilità, riguardavano proprio quale fosse il comportamento più adeguato che i giocatori avrebbero dovuto tenere nei diversi giochi d'azzardo considerati. Oggi la probabilità, o per meglio dire l'insieme delle discipline statistico-probabilistiche, costituisce uno dei settori più vivaci della ricerca matematica contemporanea.

* Lezione tenuta a Pistoia il 3 novembre 2009, presso l'Aula Magna dell'ISPIA-Pacinotti, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

Trova applicazioni vastissime che vanno dallo studio della struttura della materia al controllo dell'affidabilità degli impianti tecnologici, dai modelli per le previsioni meteorologiche ai sondaggi sugli orientamenti elettorali, dall'analisi del comportamento del consumatore in microeconomia allo studio dell'evoluzione nel tempo del valore di un titolo finanziario, offrendo sempre, in contesti così diversi, strumenti concettuali utili ad orientarsi in condizioni di incertezza.

Parlare della probabilità non è un compito che possa esaurirsi nel tempo destinato a questa lezione-incontro. Mi limiterò dunque a svolgere alcune considerazioni sulla probabilità e sulle convinzioni più diffuse intorno a questo concetto, che spero possano costituire, per ciascuno di noi, uno stimolo a studiare e approfondire l'argomento e a riflettervi sopra con la dovuta attenzione.

Per fare questo mi servirò di due situazioni problematiche che mi sembrano molto interessanti e che sono tratte da un libro che non parla di probabilità e non è stato scritto da un matematico. Il libro è *L'illusione di sapere* e l'autore è Massimo Piattelli Palmarini [8], uno studioso di psicologia cognitiva. In questo saggio del 1993 rivolto ai non specialisti vengono presentati i risultati di un settore della ricerca psicologica¹ che ha fatto emergere la presenza di una sorta di *inconscio cognitivo* che a nostra insaputa interviene nei nostri giudizi, facendoci commettere degli errori di valutazione, talvolta clamorosi, che vengono denominati *tunnel della mente*.

È davvero sorprendente constatare quanti di questi tunnel mentali coinvolgano le nostre scelte e i nostri comportamenti di fronte all'incertezza, cioè un nostro punto di vista più o meno spontaneo sulla probabilità.

I casi che voglio proporvi permetteranno a un tempo di riflettere sui diversi e possibili significati della probabilità e di vedere come si possa utilizzare questo concetto, in concreto, per affrontare delle situazioni caratterizzate dall'incertezza. Cominciamo da un caso giudiziario.

SOFISMA DEL GIURATO

Siete membro di una giuria popolare. Un tassista è accusato di aver investito un passante in una notte tempestosa, e di essere poi fuggito senza prestare aiuto. Il pubblico ministero, nel richiedere la condanna dell'imputato, basa tutto sulla testimonianza di una anziana signora che dalla sua finestra, a una certa distanza, ha visto l'incidente. La signora afferma di aver visto investire il malcapitato da un taxi blu, e di aver poi visto fuggire il taxi. L'imputato lavora in una compagnia di taxi che possiede solo macchine blu. Nel corso dell'istruttoria e del dibattito processuale è emerso quanto segue:

- 1) in quella città operano due sole compagnie di taxi, una che ha tutte le vetture verdi, e una che ha tutte le vetture blu. Di tutti i taxi circolanti quella notte circa l'85% erano verdi e circa il 15% erano blu.
- 2) La signora, testimone a carico, sulla base di ripetute prove di acutezza visiva, effettuate dal giudice istruttore in condizioni di illuminazione molto simili a quelle della notte dell'incidente, ha dimostrato di saper correttamente identificare un taxi blu, rispetto ad uno verde, 80 volte su 100.

Sulla base della testimonianza giurata della signora, e sulla base dei dati 1) e 2), qual è la probabilità che il taxi fosse veramente blu?

2. Probabilità classica e probabilità statistica

Per prima cosa interrogiamoci sul significato di probabilità. Il testo infatti esplicita questo termine solo nella domanda finale. Eppure, a ben vedere, di probabilità troviamo già nella prima parte alcune *tracce* che ci conducono in modo naturale a considerare due situazioni *tipiche* che sono all'origine delle concezioni della probabilità più diffuse e più conosciute.

Quando si dice, ad esempio, che quella notte era in circolazione un 85% di taxi verdi e un 15% di taxi blu si forniscono due informazioni che interpretabili come probabilità. Nel senso che se avessimo potuto scegliere a caso un taxi quella notte, come si estrae un numero dal sacchetto della tombola, avremmo avuto una probabilità dell'85% che fosse verde e un 15% che fosse blu. Questa impostazione è quella che va sotto il nome di "probabilità classica": si immagina di condurre un esperimento o un gioco in cui si hanno degli esiti semplici (nel lancio di una moneta, Testa o Croce; nel lancio di un dado, una delle facce, 1 o 2 o 3 o 4 o 5 o 6). Quando non si ha ragione di dubitare che monete o dadi o qual si voglia altro dispositivo, siano truccati, si può ipotizzare che i singoli eventi elementari abbiano la stessa probabilità e, assumendo che quest'ultima possa esprimersi come un rapporto e una percentuale, si dice, ad esempio, che la probabilità di ottenere Testa o Croce è del 50%. Analogamente, la probabilità che l'esito del lancio di un dado sia una qualsiasi delle facce è $\frac{1}{6}$. In questo schema la probabilità di un evento E viene definita come il numero:

$$P(E) = \frac{\text{numero dei casi favorevoli}}{\text{numero dei casi possibili}}.$$

Tornando al nostro esempio, supponiamo per semplicità che i taxi in circolazione, la notte del delitto, fossero 20, e di questi 17 fossero verdi e 3 blu. La probabilità che un taxi scelto a caso fosse verde è:

$$P(V) = \frac{17}{20} = 0,85 = 85\%,$$

mentre quella che fosse blu è:

$$P(B) = \frac{3}{20} = 0,15 = 15\%.$$

Quando invece, al punto 2), si dice che la testimone ha dimostrato di saper identificare correttamente il colore del taxi all'80% siamo di fronte all'altro schema tipico, quello della probabilità *statistica* o *frequentista*. Questo schema interviene quando si esamina un fenomeno *ripetibile* e, osservato un numero *grande* di queste ripetizioni (o prove), si va a considerare il numero dei *successi*. In questo caso la probabilità di un evento E è

identificata con la *frequenza relativa* dei successi, cioè col numero:

$$P(E) = \frac{\text{numero dei successi}}{\text{numero delle prove}}.$$

Se, ad esempio, la testimone del sofisma è stata sottoposta per 10 volte al riconoscimento del colore di un taxi in condizioni di illuminazione simili a quelle della notte del delitto, e per 8 volte lo ha identificato correttamente, sbagliando in due casi, per l'evento:

$$E = \text{La testimone riconosce correttamente il colore del taxi}$$

avremo:

$$P(E) = \frac{8}{10} = 80\%.$$

Questa seconda impostazione ha il merito di potersi applicare in molte situazioni nelle quali non si può utilizzare quella classica. Prendiamo ad esempio il lancio di una moneta. Se riteniamo che la moneta non sia truccata giudicheremo (per quelle che in Fisica si direbbero *ragioni di simmetria*) che le probabilità che escano Testa o Croce siano uguali:

$$P(T) = P(C) = 50\%.$$

Ma cosa accade se invece di una moneta lanciamo una puntina da disegno? Si tratta di un oggetto non simmetrico dal punto di vista fisico. Qual è la probabilità che la puntina caschi 'di piatto' piuttosto che 'di punta'? Non abbiamo la possibilità di risolvere questa questione in termini di casi possibili e di casi favorevoli e allora non ci resta che lanciare ripetutamente la puntina da disegno, registrare gli esiti dei lanci, ed esprimere la probabilità come rapporto tra il numero dei successi e il numero complessivo dei lanci.

Qual è il collegamento tra queste due impostazioni della probabilità? Quella che nel linguaggio comune viene detta *legge dei grandi numeri* ma che sarebbe più corretto indicare come *postulato empirico del caso*, secondo il quale, quando un certo evento E è caratterizzato da una probabilità p e si può osservare una sequenza di n prove relative a quell'evento, la *frequenza relativa* dei successi f_n , cioè il rapporto tra il numero dei successi e il numero n degli eventi, tende a p al crescere di n .

In simboli:

$$f_n \rightarrow p \text{ quando } n \rightarrow \infty.$$

La decisione di valutare una probabilità, che non sappiamo calcolare in modo classico, ricorrendo allo schema delle frequenze (purché si abbia a disposizione un numero *sufficientemente grande* di prove), si fonda sull'accettazione, più o meno esplicita, di questo postulato.

Intorno a queste due impostazioni che, come abbiamo già detto, sono quelle più

diffuse anche fuori dalla cerchia di chi si occupa della probabilità, si sono sviluppate nel tempo numerose discussioni e polemiche, delle quali non possiamo certo dare conto qui, ma che non sono difficili da prospettare. Entrambe le definizioni presentano infatti delle difficoltà sia di ordine logico che di ordine, per così dire, pratico, applicativo.

Nell'impostazione classica della probabilità, ad esempio, si presuppone che tutti gli eventi elementari abbiano la stessa probabilità. Questo presupposto presenta una doppia difficoltà: di ordine logico perché si vuol definire un concetto, quello di probabilità, utilizzandolo nella definizione quando si parla di eventi *equiprobabili*; di ordine applicativo perché, se il dispositivo che si utilizza (moneta, dado, ecc.) non è simmetrico, questa definizione ci lascia del tutto impotenti nel fare previsioni. Che dire poi della definizione statistica, che pure riceve i maggiori favori? Cosa significa che un evento è ripetibile? In un certo senso ogni evento è di per sé irripetibile. Per quanto si cerchi di ricostruire, ad esempio, le condizioni di illuminazione della notte del delitto, come essere sicuri di esserci riusciti? Quali e quanti fattori oggettivi e soggettivi possono avere influito sul riconoscimento del colore del taxi? E ancora, quand'è che il numero delle prove fatte può essere considerato sufficientemente grande per far sì che la frequenza relativa rappresenti un'approssimazione accettabile della probabilità? Ce la sentiremmo di trarre delle conclusioni che preludono ad una sentenza sulla base di dieci prove di acutezza visiva? E anche ammesso che questo numero, o uno maggiore, sia ritenuto adeguato, come ci si può affidare alla frequenza relativa sapendo che questa dipende dalla particolare sequenza di prove che si sono effettuate? Supponiamo, per capire meglio questa domanda, che la sequenza delle dieci prove abbia dato i seguenti esiti, indicando con 1 il riconoscimento del colore (successo) e con 0 l'errore:

1 1 1 1 1 1 0 0 1 1.

Se consideriamo la frequenza relativa sulle prime cinque prove, dovremmo concludere che la testimone è in grado di riconoscere correttamente il colore del taxi nel 100% dei casi?

Naturalmente, mostrando questi elementi critici delle due impostazioni, non voglio con ciò affermare che esse siano prive di significato o di importanza. Se così fosse questo mio intervento potrebbe chiudersi qui, senza dare una risposta al problema iniziale. Si capisce però che in qualche modo si debba tentare di uscire dalle difficoltà che abbiamo evidenziato, se non vogliamo dare l'idea che di probabilità si possa parlare solo a condizione di essere in presenza di casi particolarissimi, rinunciando cioè a una formulazione generale del concetto di probabilità.

2.1 Probabilità soggettiva

La via di uscita, che a me pare più convincente, è quella offerta dall'impostazione *soggettiva* della probabilità, che dobbiamo essenzialmente ai contributi di un grande matematico italiano del secolo scorso: Bruno De Finetti. Secondo questa definizione la probabilità di un evento E è il *grado di fiducia* (espresso con un numero compreso tra 0 e 1) che un individuo attribuisce al verificarsi di quell'evento. Questa definizione può

apparire, in prima battuta, un po' troppo generica per poter essere applicata, ma così non è. Proviamo comunque a riformularla in un modo più operativo, partendo da un esperimento mentale. Supponiamo di trovarci nella città in cui si è svolto il delitto e supponiamo inoltre che esista un'unica centrale telefonica che smista le richieste di taxi. Devo chiamare un taxi per andare alla stazione e, prima di fare la telefonata o mentre aspetto che mi rispondano, scommetto con un amico colore del taxi che mi verrà a prelevare. Quanto sarò disposto a scommettere per guadagnare, ad esempio, 1 euro nel caso che a presentarsi alla porta sia un taxi blu (e niente se si presenta un taxi verde)? È proprio questa somma, il prezzo per partecipare alla scommessa, che nell'impostazione soggettiva rappresenta il grado di fiducia, cioè la probabilità che un individuo attribuisce al verificarsi dell'evento oggetto della scommessa. La definizione più operativa di probabilità soggettiva è dunque la seguente:

la probabilità $\mathbf{P}(E)$ di un evento E è il prezzo che un individuo giudica equo pagare per ricevere 1 euro nel caso in cui si verifichi l'evento considerato (e niente altrimenti).

Occorre però precisare che cosa significa giudicare equo cioè la condizione di *equità* (o di *coerenza*):

le probabilità devono essere assegnate in modo che non sia possibile ottenere una vincita o una perdita certa.

Vediamo più da vicino la questione nel nostro caso. Gli eventi che possono verificarsi sono solo due: B (taxi blu) o V (taxi verde). Supponiamo che io attribuisca, sulla base delle mie informazioni, a B la probabilità $\mathbf{P}(B)=80\%$ e a V la probabilità $\mathbf{P}(V)=10\%$. È facile osservare che questa valutazione non può funzionare, perché altrimenti posso combinare insieme due scommesse realizzando un guadagno certo, dando luogo a quella che viene indicata come una *scommessa olandese*. Potrei infatti scommettere, con un primo amico, sul verificarsi di B pagando 80 centesimi, e con un secondo amico, sul verificarsi di V pagando 10 centesimi. In questo modo incasserei sicuramente 1 euro, avendo pagato 90 centesimi! Si può allora concludere che è necessario assegnare le probabilità in modo che:

$$\mathbf{P}(B)+\mathbf{P}(V)=1,$$

relazione, quest'ultima, che esprime nel caso più semplice la *condizione di coerenza*.

Ma come posso, nel senso indicato dall'impostazione soggettiva, valutare in concreto la probabilità degli eventi B e V per partecipare alla scommessa?

Se io so soltanto che i taxi in circolazione in quella città possono essere blu o verdi, non mi resta che assegnare $\mathbf{P}(B)=\mathbf{P}(V)=50\%$: che ragioni avrei per preferire uno dei due colori?

Se invece sono un utilizzatore abituale dei taxi e ho regolarmente registrato nel tempo il colore delle vetture che mi sono venute a prendere, posso far uso della frequenza relativa calcolata a partire dalle osservazioni. Qui si capisce subito che nella valutazione

della probabilità un individuo cerca di utilizzare le informazioni di cui dispone. In questa prospettiva possiamo recuperare gli schemi che sono alla base dell'impostazione classica o di quella frequentista, che possono infatti fornire le valutazioni più sensate in certe situazioni. Queste valutazioni restano comunque soggettive: la loro maggiore o minore plausibilità ed efficacia dipende dalla loro 'ragionevolezza' e non può dunque essere dedotte da nient'altro che dal grado di fiducia che esse possano rappresentare correttamente nella situazione in esame.

Ancora, supponiamo che io sappia che al momento di effettuare la scommessa, i taxi in circolazione siano 17 blu e 3 verdi. In questo caso potrò valutare:

$$P(V)=85\% \text{ e } P(B)=15\%.$$

Sempre che sia disposto a identificare la procedura di individuazione del taxi, che effettuerà il servizio, con l'estrazione di un numero della tombola da un sacchetto o da un'urna. Le cose, in effetti, avvengono in modo un po' diverso. Se, per esempio, abitassi in periferia e sapessi che i taxi della compagnia blu operano prevalentemente in centro, sarei indotto a modificare le valutazioni precedenti, incrementando $P(V)$ e diminuendo $P(B)$.

In seguito, non possedendo informazioni aggiuntive, partiremo dalla valutazione che abbiamo formulato sulla base delle informazioni contenute nel testo-problema e sulla base dello schema degli eventi equiprobabili, per cui $P(V)=85\%$ e $P(B)=15\%$.

3. Probabilità condizionata

Tornando ora al sofisma del giurato, provate voi a dare una prima stima della probabilità che viene richiesta. Nella mia esperienza di insegnante, quando ho sottoposto questo sofisma ai miei studenti, ho registrato reazioni simili a quelle che Piattelli Palmarini descrive nel suo libro essere state le reazioni delle persone a cui è stato sottoposto il sofisma come test. Una parte significativa colloca questa probabilità intorno all'80%, identificandola sostanzialmente con la capacità della teste di distinguere i due colori. Ma in questo modo non si tiene in alcun conto il fatto che la probabilità che un taxi capitato a caso in quella strada sia blu è davvero bassa, solo il 15%. Una parte cerca dunque di correggere questa stima indicando probabilità inferiori all'80%, ma la stragrande maggioranza opta comunque per valori superiori al 50%. Pochissimi stimano la probabilità inferiore al 50% o superiore all'80%. Come stanno davvero le cose?

Dobbiamo intanto fare un po' di chiarezza perché la probabilità che dobbiamo determinare è di un tipo leggermente diverso rispetto a quelle che abbiamo considerato finora.

Leggiamo attentamente il testo: ci viene richiesto di stimare la probabilità che il taxi visto sul luogo del delitto fosse blu *sapendo* che la testimone a carico ha dichiarato che il taxi era blu. Se ci fosse stato richiesto di indicare la probabilità che il taxi fosse blu avremmo risposto, come abbiamo visto, $P(B)=15\%$. Ma questa è una valutazione che non ha niente a che fare con le dichiarazioni della testimone in aula. Quella che

invece ci viene richiesta – che nel calcolo delle probabilità viene definita *probabilità condizionata* – deve tener conto del contenuto della testimonianza. Se indichiamo con TB l'evento *La testimone dichiara che il taxi era blu*, vogliamo determinare la probabilità di B condizionata a TB , in simboli:

$$\mathbf{P}(B|TB).$$

Facciamo ora un secondo esperimento mentale, per capire bene il significato della probabilità condizionata. Supponiamo che, come accade nelle nostre città, a ogni taxi sia associato un *codice*. Supponiamo di sapere che i codici delle compagnie della nostra città siano costituiti da una lettera seguita da un numero a due cifre, e che, in quella notte, fossero in circolazione i taxi con i seguenti codici:

COMPAGNIA TAXI VERDI			COMPAGNIA TAXI BLU
V01	V13	V32	B02
V02	V17	V39	B14
V08	V18	V42	B32
V10	V22	V51	
V11	V28	V52	
V12	V29		

Supponiamo inoltre che la notte del delitto un taxista in vacanza chiami per telefono un taxi per recarsi in aeroporto. Perché proprio un taxista? Perché possiamo supporre che conosca quali sono i taxi di turno quella notte. Supponiamo inoltre, come prima, che esista un'unica centrale telefonica che smista le chiamate. Alla richiesta telefonica di un cliente l'operatore della centrale, dopo aver cercato un taxi libero, risponde comunicando il codice del taxi che presterà il servizio. Qual è la probabilità che il taxi che andrà a prendere il nostro taxista in vacanza sia di colore blu? La domanda non ammette una sola risposta perché dipende dallo stato dell'informazione.

Prima di chiamare la centrale, o anche durante la chiamata, mentre il nostro taxista in ferie ascolta l'odiosa musichetta che lo separa dalla risposta dell'operatore, la probabilità che quel taxi sia di colore blu è ancora $\mathbf{P}(B)=15\%$. Ma dopo che l'operatore avrà risposto, indicando il codice del taxi che sta per arrivare, la situazione è completamente modificata. Se indichiamo con $V13$ l'evento «l'operatore comunica che il taxi che effettuerà il servizio è il V13», ciò a cui siamo interessati è la probabilità di B condizionata a $V13$, cioè la probabilità che si verifichi l'evento B sapendo che si è verificato l'evento $V13$. In questo caso $\mathbf{P}(B|V13)=0$, perché il taxi di codice V13 è di colore verde. Analogamente $\mathbf{P}(V|V13)=1$. Ma questo che abbiamo considerato è un caso limite: da un caso incerto siamo passati di colpo a un caso certo!

Analizziamo allora un caso diverso: supponiamo che la telefonata sia fatta non dal

taxista che, in ritardo, si sta affannosamente facendo il nodo alla cravatta, ma da sua moglie. Quando quest'ultima raggiunge il marito e lui le chiede qual è il numero del taxi che sta arrivando, la moglie, assonnata, risponde «Non ho capito di preciso perché la comunicazione era disturbata, salvo il fatto che il codice del taxi finisce con il 2». Indichiamo con S l'evento che rappresenta questa nuova informazione: «L'operatore comunica che il taxi che effettuerà il servizio ha un codice che termina con 2». I taxi che hanno il codice che finisce per 2 sono i seguenti.

COMPAGNIA TAXI VERDI		COMPAGNIA TAXI BLU
V02	V32	B02
	V42	B32
V22	V52	
V12		

Con l'informazione che ha ottenuto, il taxista in vacanza può ora valutare la probabilità che il taxi che effettuerà il servizio sia blu come:

$$P(B|S) = \frac{2}{8} = 25\%.$$

Una rappresentazione ci aiuterà a capire meglio come stanno le cose. Consideriamo, per cominciare, l'insieme dei taxi in circolazione la notte del delitto:

$$\Omega = \{V01, V02, V08, V10, V11, V12, V13, V17, V18, V22, V28, V29, V32, V39, V42, V51, V52, B02, B14, B32\}$$

Questo insieme, nel calcolo delle probabilità, prende il nome di *spazio delle possibilità* o *spazio campione* e rappresenta l'insieme di tutti gli esiti elementari dell'esperimento a cui siamo interessati (nel nostro caso la scelta a caso di un taxi fra quelli in circolazione nella fatidica notte in cui si è consumato il delitto). L'evento $B = \text{Il taxi era blu}$ può essere rappresentato dall'insieme:

$$B = \{B02, B14, B32\},$$

mentre l'evento $V = \text{Il taxi era verde}$, sarà rappresentato dall'insieme:

$$V = \{V01, V02, V08, V10, V11, V12, V13, V17, V18, V22, V28, V29, V32, V39, V42, V51, V52\}$$

Tutto questo, cioè le informazioni che il taxista possiede prima di chiamare la centrale telefonica, può essere rappresentato anche con un diagramma.

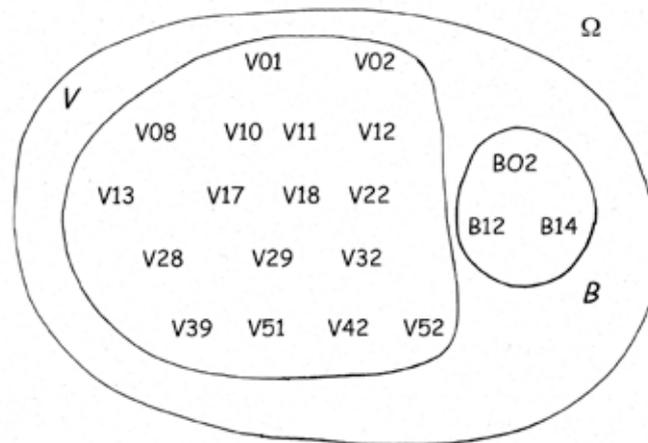


Figura 1

Evidenziamo nella figura seguente l'insieme S che corrisponde all'informazione che il taxista ottiene dalla moglie.

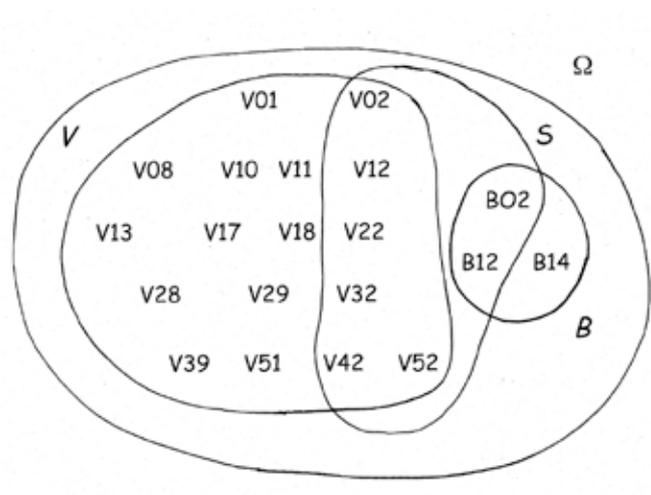


Figura 2

Quando il turista viene a sapere che il codice del taxi che verrà a prenderlo finisce con 2, questa informazione produce una *contrazione* dello spazio campione (v. Fig. 3), che a questo punto, per il prosieguo dell'esperimento è diventato S e l'evento B , quello a cui eravamo interessati, si è contratto in $B \cap S$.

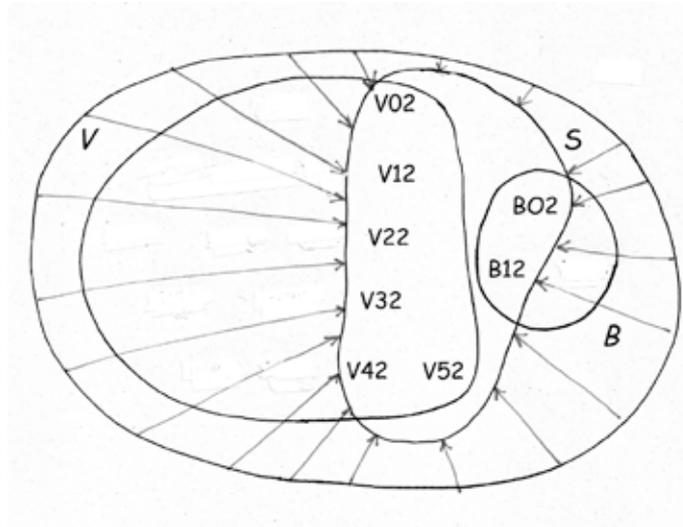


Figura 3

In questa nuova situazione la probabilità che il taxi che si presenterà alla porta sia di colore blu si è modificata. Sempre nell'ipotesi dell'equiprobabilità degli eventi elementari, avremo:

$$\mathbf{P}(B|S) = \frac{\text{numero elementi di } B \cap S}{\text{numero elementi di } S}.$$

Se vogliamo, possiamo esprimere questa relazione anche in termini di probabilità degli eventi considerati. Basta dividere numeratore e denominatore per il numero degli elementi di Ω e abbiamo:

$$\mathbf{P}(B|S) = \frac{\frac{\text{numero elementi di } B \cap S}{\text{numero elementi di } \Omega}}{\frac{\text{numero elementi di } S}{\text{numero elementi di } \Omega}} = \frac{\mathbf{P}(B \cap S)}{\mathbf{P}(S)}.$$

Questa relazione, che abbiamo ricavato nel caso particolarissimo in esame, ha però un significato del tutto generale e viene assunta come *definizione* della probabilità condizionata.

La rappresentazione con i diagrammi di Eulero-Venn consente una visualizzazione efficace ed un'interpretazione qualitativa della probabilità condizionata. Possiamo fare un passo in avanti se, considerato che la probabilità è un rapporto, perfezioniamo la rappresentazione in modo da valutare la probabilità in termini di rapporto tra aree delle figure che rappresentano gli eventi. Se infatti l'insieme B è costituito dal 15% degli elementi di Ω , possiamo rappresentare B come una regione con un'area pari al 15% dell'area della regione che rappresenta Ω . In questo contesto la contrazione delle possibilità determinata dall'informazione ottenuta, produce un nuovo spazio delle possibilità, l'evento S , nel quale la probabilità $\mathbf{P}(B|S)$ può essere correttamente interpretata come rapporto tra l'area di $B \cap S$ e l'area di S .

4. La legge di Bayes

Ora possiamo finalmente tornare al SOFISMA DEL GIURATO e determinare la probabilità a cui siamo interessati.

Per prima cosa rappresentiamo lo spazio campione, cioè l'insieme dei taxi in circolazione quella notte, come un quadrato di lato 1, e al suo interno visualizziamo gli eventi B (= *Il taxi era blu*) e V (= *Il taxi era verde*) con due rettangoli di basi, rispettivamente, 0,15 e 0,85. Poiché l'area della figura che rappresenta Ω è uguale a 1, le aree dei rettangoli possono essere lette direttamente come le probabilità degli eventi corrispondenti.

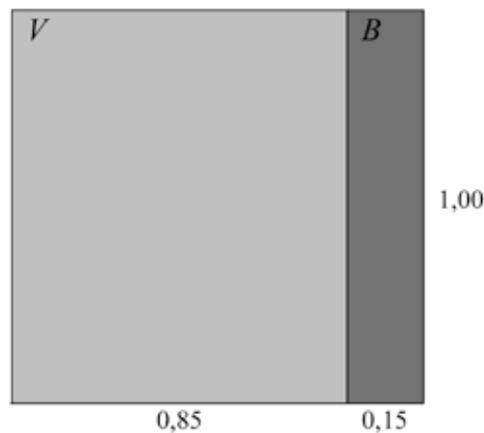


Figura 4

Allo stesso modo possiamo rappresentare nel quadrato Ω gli eventi che corrispondono al riconoscimento del colore del taxi da parte della teste con due rettangoli, che per comodità rappresenteremo in orizzontale, entrambi di base 1 e altezze 0,80 e 0,20 rispettivamente.

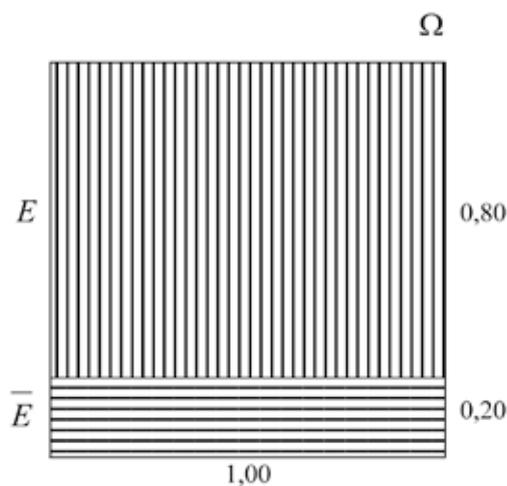


Figura 5

Nella figura, ovviamente, E rappresenta l'evento *La teste riconosce correttamente il colore*

del taxi e \bar{E} il suo contrario. Se ora combiniamo le due figure, sovrapponendole, otteniamo una nuova rappresentazione che permetterà di tenere conto di tutte le informazioni in nostro possesso.

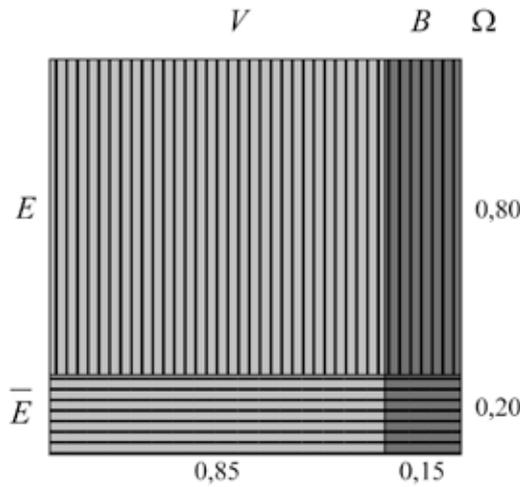


Figura 6

Che cosa rappresentano i rettangoli ottenuti sovrapponendo gli eventi B, V, E ed \bar{E} ?

Per cominciare, consideriamo l'evento $B \cap E$ che, nella figura, è rappresentato dal rettangolo in alto a destra. Quando si verificano entrambi gli eventi B ed E , il taxi nella strada era blu e la teste ne ha riconosciuto correttamente il colore e dunque testimonierà che il taxi era blu. D'altra parte anche nel caso dell'evento $V \cap \bar{E}$, cioè nel caso in cui il taxi era verde e la testimone non riconosce il colore, essa testimonierà che il taxi era blu.

Ora, se indichiamo con TB l'evento *La testimone dichiara che il taxi era blu*, si ha che questo evento è ottenuto 'incollando' i due eventi $B \cap E$ e $V \cap \bar{E}$ e dunque può essere rappresentato come nella figura che segue.

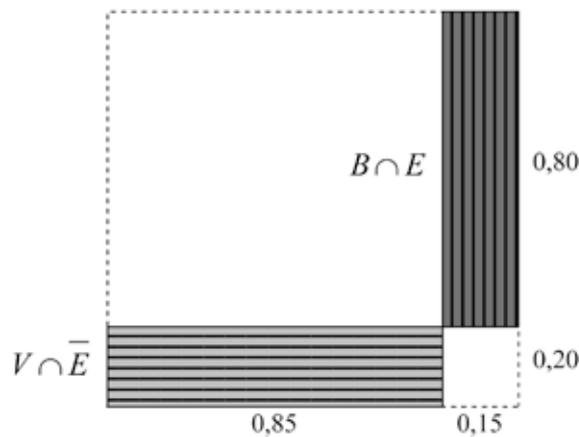


Figura 7

In modo analogo, se consideriamo l'evento $TV = \text{La testimone dichiara che il taxi era verde}$, potremo rappresentarlo così:

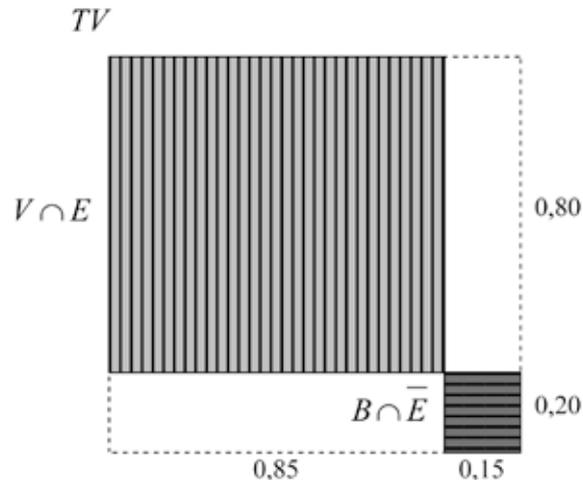


Figura 8

Siamo finalmente in grado di risolvere il problema iniziale: conoscere qual è la probabilità che il taxi che abbandonò il luogo del delitto fosse blu, sapendo che la testimone ha dichiarato che il colore del taxi era blu. Ora, posto che si sia verificato TB , dobbiamo considerare che nella contrazione dello spazio campione da Ω a TB , l'evento B si restringe a $B \cap TB$ che poi è $B \cap E$.

Interpretando la probabilità in termini di aree dei rettangoli, dalla figura 7, ricaviamo finalmente:

$$\mathbf{P}(B|TB) = \frac{\mathbf{P}(B \cap TB)}{\mathbf{P}(TB)} = \frac{15\% \cdot 80\%}{15\% \cdot 80\% + 85\% \cdot 20\%} \cong 41\%$$

Naturalmente, se sostituiamo B con V , ricaviamo l'altra probabilità finale, che del resto possiamo anche ricavare tornando a considerare la figura 8, come:

$$\mathbf{P}(V|TB) = \frac{\mathbf{P}(V \cap TB)}{\mathbf{P}(TB)} = \frac{85\% \cdot 20\%}{15\% \cdot 80\% + 85\% \cdot 20\%} \cong 59\%$$

Non ci meravigliamo certo del fatto che $\mathbf{P}(B|TB) + \mathbf{P}(V|TB) = 100\%$, si tratta pur sempre delle due sole ipotesi alternative!

Sorpresi del risultato? La cosa più sorprendente, a dire il vero, è che siamo riusciti ad affrontare il sofisma utilizzando soltanto le aree di alcuni rettangoli! Anche perché il risultato che abbiamo ottenuto va ben al di là della soluzione del sofisma. La relazione che abbiamo trovato è infatti quella che Massimo Piattelli Palmarini definisce nel suo libro, una delle «più grandi scoperte dell'intelligenza umana», un modo per «ricavare il noto dall'ignoto». Si tratta della *Legge o Teorema di Bayes*, che non ha niente di mi-

racoloso, ma permette di utilizzare al meglio le informazioni di cui siamo in possesso, riuscendo addirittura a rovesciarne in qualche modo il significato.

Nel sofisma del giurato ci troviamo di fronte a una situazione tipica, che è caratteristica di molti contesti sperimentali. Possiamo infatti guardare al caso esaminato come a un *esperimento* svolto per confrontare due *ipotesi* alternative: che il taxi fosse di colore blu (B) o che il taxi fosse di colore verde (V). A queste ipotesi alternative sono assegnate due probabilità, valutate sulla base delle informazioni disponibili (nel nostro caso la suddivisione dei taxi in circolazione quella notte tra le due compagnie):

$$P(V)=85\% \text{ e } P(B)=15\%,$$

che sono dette *probabilità iniziali*.

L'esperimento che è stato effettuato è quello di chiedere alla testimone il colore del taxi presente sul luogo del delitto, sapendo qual era la sua capacità di riconoscere il colore giusto in termini di probabilità:

$$P(TB|B)=P(TV|V)=80\% \text{ e } P(TB|V)=P(TV|B)=20\%.$$

Queste probabilità sono dette *verosimiglianze*.

Il problema che si pone in un esperimento è quello di aggiornare² le probabilità delle ipotesi alternative (che possono essere anche più di due) alla luce dell'esito che ha avuto l'esperimento. Se torniamo alla relazione che abbiamo ricavato, possiamo interpretarla nella forma:

$$P(B|TB)=\frac{P(B \cap TB)}{P(TB)}=\frac{P(B) \cdot P(TB|B)}{P(B) \cdot P(TB|B)+P(V) \cdot P(TB|V)},$$

che esprime appunto la Legge, o Teorema, di Bayes e che permette di determinare le *probabilità finali* (non in senso assoluto, ovviamente, poiché possono a loro volta rappresentare le probabilità iniziali di un esperimento successivo).

L'esame di questo semplice esempio ci permette di capire perché la Legge di Bayes sia stata interpretata come lo schema di riferimento del ragionamento *induttivo*: essa è infatti in grado di spiegare, almeno nelle situazioni più semplici, come la nostra conoscenza progredisca con l'esperienza. Con la Legge di Bayes, infatti, possiamo aggiornare progressivamente le probabilità iniziali, tenendo conto degli esiti degli esperimenti successivamente condotti.

Ma torniamo ai risultati ottenuti. È ragionevole pensare che la sorpresa, che ha accompagnato l'esito del calcolo della probabilità indicata dal problema, dipenda anche dal fatto che ci troviamo di fronte a un caso giudiziario. In modo più o meno consapevole dobbiamo esserci chiesti, immedesimandoci nella situazione che ci è stata proposta: «potremmo condannare il nostro imputato solo sulla base di una probabilità del 41%?». A parte il fatto che, anche se la probabilità fosse stata molto più alta, risponderemmo forse negativamente (si spera che ci saranno altri elementi, non come nel

nostro caso, che appare come una situazione-limite, utile solo per ragionare). Però, se guardiamo all'esito dell'esperimento, abbiamo che la probabilità dell'ipotesi che il taxi fosse blu (B), che era inizialmente solo del 15%, sale, con la deposizione della teste, al 41%, mentre l'ipotesi che il taxi fosse verde (V) scende dall'80% al 59%. In un certo senso potremmo dire che l'esperimento ha *confermato* più l'ipotesi B che non l'ipotesi V , anche se la seconda resta la più probabile.

5. Il paradosso di Monty Hall

Prima di chiudere questo incontro vorrei proporvi un altro caso che Piattelli Palmarini presenta nel suo libro, definendolo addirittura come un supertunnel, per indicare quante persone abbia tratto in errore³. È uno dei più celebri paradossi probabilistici, il *Dilemma di Monty Hall*, che deve il suo nome a quello del conduttore di un celebre gioco a premi televisivo degli Stati Uniti, *Let's Make a Deal* (facciamo un affare), nel quale si presentava la situazione di seguito illustrata.

DILEMMA DI MONTY HALL

Nella fase finale di un concorso televisivo, il concorrente viene posto di fronte a tre porte chiuse. Dietro una di queste porte è collocata un'automobile nuova, mentre ciascuna delle altre due nasconde una capretta. Se il concorrente indovina dietro quale porta è collocata l'automobile se la porta a casa, altrimenti si porta a casa una capretta. Il conduttore del gioco, naturalmente, conosce in anticipo quale porta nasconde l'automobile. La fase finale si svolge in due tempi: nel primo, il concorrente indica la porta scelta. Dopo che il concorrente ha indicato la porta, il conduttore apre un'altra porta, una delle due rimanenti, dietro la quale si nasconde una capretta. Il concorrente si trova dunque due porte chiuse, una delle quali nasconde sicuramente l'automobile.

A questo punto il conduttore dà la possibilità al concorrente di confermare la prima scelta oppure di modificarla spostandosi sull'altra porta chiusa.

Il problema che si pone è questo: è più conveniente confermare la prima scelta o modificarla?

Prima di ogni altra considerazione vorrei sottolineare che ci troviamo di fronte, di nuovo, a un problema di scelta: quale strategia è la migliore?

La risposta più immediata è quella che ha formulato la stragrande maggioranza delle persone a cui è stata sottoposta questa domanda: è indifferente, la probabilità che l'auto si trovi dietro una delle due porte è del 50%, e quindi non ha senso chiedersi cosa sia più conveniente.

Per prima cosa vorrei tranquillizzarvi; se questa è stata anche la vostra reazione, siete in ottima compagnia perché numerose persone, anche tra le menti più brillanti del secolo scorso, hanno pensato nello stesso modo ed hanno faticato, anche di fronte all'evidenza, a correggere la risposta iniziale⁴.

La soluzione del dilemma non è proprio immediata ma penso che, con la schematizzazione che abbiamo visto, sia possibile concludere in modo naturale.

Indichiamo le tre porte con A , B e C e indichiamo con A , B , C , rispettivamente, gli

eventi che corrispondono al fatto che l'automobile è dietro una di queste porte. Prima di iniziare il gioco, la situazione si presenta così:

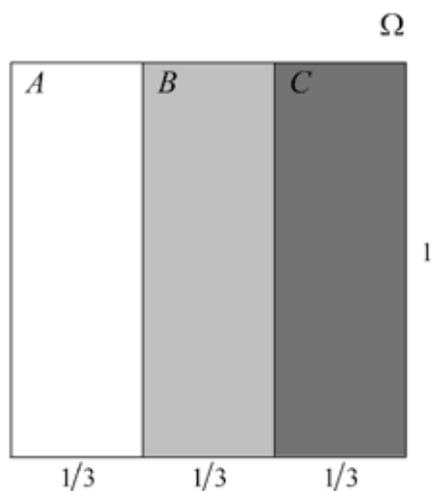


Figura 9

Anche riguardo a quale porta verrà aperta dopo la prima scelta abbiamo una situazione di indifferenza. Se consideriamo gli eventi $OA =$ Il conduttore apre la porta A , ecc., inizialmente avremo la situazione rappresentata nella seguente figura.

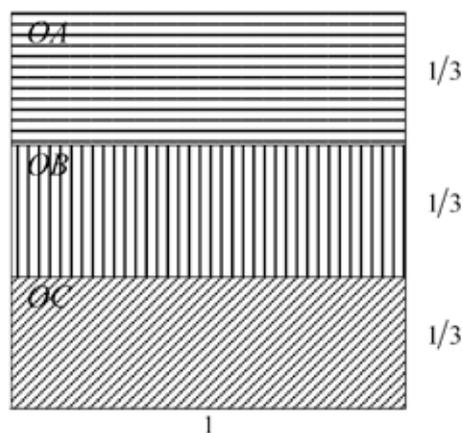


Figura 10

Ma ora immaginiamo che il concorrente scelga, ad esempio, la porta B . Che cosa succede? In termini di probabilità degli eventi A, B, C ancora nulla, nel senso che le probabilità che il premio si trovi dietro una delle tre porte, non vengono modificate dalla scelta del concorrente.

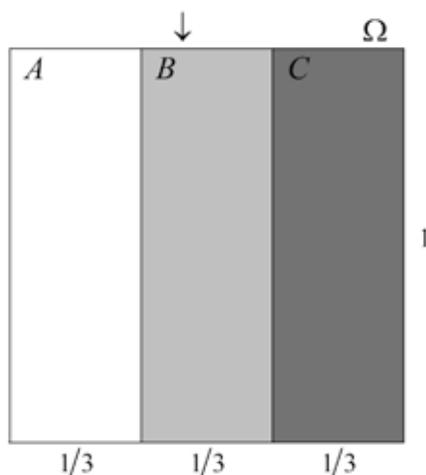


Figura 11

Sappiamo che il conduttore potrà a questo punto aprire solo una delle porte *A* o *C*. Se l'automobile si trova dietro la porta *A* il conduttore è costretto ad aprire la porta *C* e dunque si verifica l'evento *OC*. Analogamente se l'auto è dietro la porta *C*, si verifica l'evento *OA*. Ma se l'auto invece si trova proprio dietro la porta *B*, quella scelta dal concorrente, il conduttore potrà decidere di aprire o *A* o *C*. Come deciderà? Ammettiamo per un momento che scelga a caso, magari lanciando una moneta (non truccata!). In questo caso la probabilità che apra una delle due porte è del 50%. Su questa ipotesi torneremo dopo. Ora la situazione è quella rappresentata nella figura 12.

Dall'esame di questa figura si osserva che l'evento *A* è incluso in *OC*, perché, come abbiamo appena osservato, nel caso in cui il premio si trovi dietro la porta *A*, il conduttore è costretto ad aprire la porta *C*. Analogamente l'evento *C* è incluso in *OA*, mentre l'evento *B* è diviso tra *OA* e *OC*, coerentemente con l'ipotesi che il conduttore scelga a caso la porta da aprire.

Se, a questo punto, il conduttore apre la porta *C*, cioè se si verifica l'evento *OC*, abbiamo la restrizione dello spazio campione e guardando la figura 13, la sorpresa è grande, perché capiamo subito che non è affatto indifferente confermare la scelta iniziale o cambiarla!

Come si vede, infatti, gli unici due esiti possibili sono ora *A* e *B* ma, nella contrazione, mentre *A* è rimasto inalterato, *B* si è dimezzato e quindi:

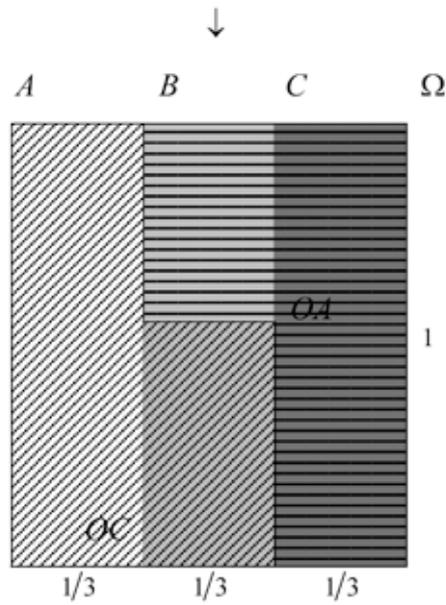


Figura 12

$$P(A|OC) = \frac{P(A \cap OC)}{P(OC)} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = \frac{2}{3},$$

mentre:

$$P(B|OC) = \frac{P(B \cap OC)}{P(OC)} = \frac{\frac{1}{6}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = \frac{1}{3}.$$

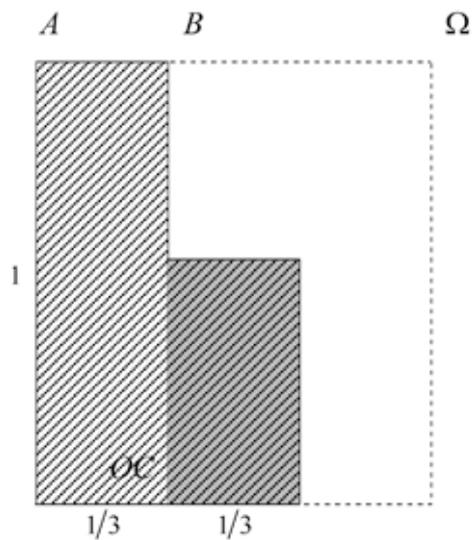


Figura 13

Questo ragionamento dimostra quindi che è più conveniente modificare la nostra scelta iniziale che non confermarla, contrariamente a quanto avevamo pensato inizialmente.

Ma torniamo a esaminare più da vicino la soluzione che abbiamo appena trovato. Essa si fonda sull'ipotesi che il conduttore, nello scegliere la porta da aprire tra la A e la C, nel caso che l'automobile si trovi dietro la porta B indicata dal concorrente, scelga a caso, lanciando, per così dire, una moneta. Si tratta di un'ipotesi ragionevole ma non deducibile da altro che da considerazioni di simmetria: che motivo avrebbe il conduttore per preferire una porta rispetto all'altra?

Se però immaginiamo che per qualche motivo il conduttore abbia dei motivi per privilegiare una porta rispetto all'altra, le cose possono cambiare. Se ad esempio il conduttore si è affezionato a una delle due caprette aprirà senz'altro la porta dietro la quale si trova la sua preferita, in modo da impedire che il concorrente possa portarsela a casa.

Più in generale supponiamo che nello scegliere quale porta aprire tra la A e la C, il conduttore si comporti in modo che la probabilità di aprire A sia p , e la probabilità di aprire C sia q , dove p e q sono numeri compresi tra 0 e 1 (estremi compresi), tali che $p + q = 1$, e non necessariamente uguali dunque. Provate da soli a ragionare su questo caso più generale.

Come dobbiamo modificare la figura 13 per tener conto di questa nuova, più generale, ipotesi? Se riflettiamo bene le probabilità p e q che abbiamo indicato sono, in effetti due probabilità condizionate:

$$\mathbf{P}(OA|B) = p \text{ e } \mathbf{P}(OC|B) = q.$$

Dunque le modifiche che dobbiamo introdurre riguardano il rettangolo che rappresenta B : in esso la parte di OA dovrà essere un rettangolo di altezza p , e la parte di OC , il rettangolo complementare di altezza q .

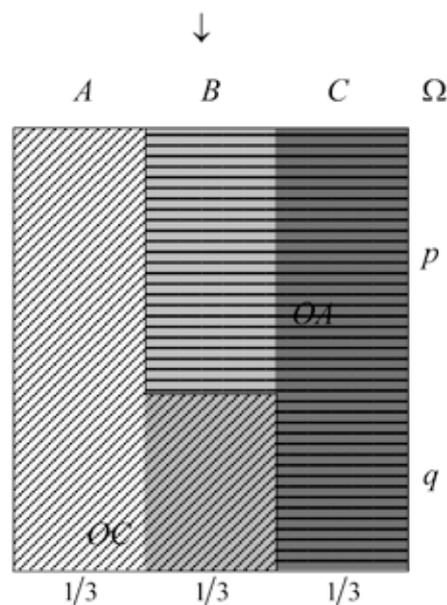


Figura 14

Se quindi calcolate le probabilità, in termini di rapporti di aree, troverete:

$$\mathbf{P}(A|OC) = \frac{\mathbf{P}(A \cap OC)}{\mathbf{P}(OC)} = \frac{\frac{1}{3} \cdot q}{\frac{1}{3} \cdot q + \frac{1}{3} \cdot 1} = \frac{q}{q+1},$$

$$\mathbf{P}(B|OC) = \frac{\mathbf{P}(B \cap OC)}{\mathbf{P}(OC)} = \frac{1}{q+1}.$$

Queste due probabilità non sono quindi, in generale, le stesse del caso iniziale, quando valeva $p = q = \frac{1}{2}$.

Per concludere, chiediamoci allora cosa succederebbe se, ad esempio, il nostro conduttore volesse impedire al concorrente di portarsi via la capretta che sta dietro la porta C. In questo caso egli aprirà certamente questa porta, che è come dire che $\mathbf{P}(OC|B) = q = 1$ e quindi che $\mathbf{P}(OA|B) = p = 0$. Se sostituiamo questi valori nelle espressioni precedenti ricaviamo:

$$\mathbf{P}(A|OC) = \frac{\mathbf{P}(A \cap OC)}{\mathbf{P}(OC)} = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2}$$

$$\mathbf{P}(B|OC) = \frac{\mathbf{P}(B \cap OC)}{\mathbf{P}(OC)} = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2}.$$

Dunque, l'unico caso in cui è davvero indifferente confermare la scelta iniziale o modificarla è proprio quello di essere di fronte a un conduttore che invece di comportarsi in modo aleatorio, scelga in modo deterministico quale porta aprire. Ma questo, generalmente, il concorrente non può saperlo.

NOTE

¹ Tra gli studiosi che hanno dato contributi decisivi a questi studi compare anche lo psicologo israeliano Daniel Kahneman che nel 2002 ha ricevuto il premio Nobel per l'economia proprio per le sue ricerche sulla teoria delle decisioni in condizioni d'incertezza.

² *Aggiornare* e non *correggere*, come si legge in alcuni manuali, poiché le probabilità iniziali non erano 'errate', bensì adeguate allo stato di informazione iniziale.

³ Nel suo libro, Massimo Piattelli Palmarini racconta di aver sottoposto il problema, nell'aprile del 1991 a Trieste, ad un consesso di «illustrissimi fisici», e che tutti siano cascati nel «tranello».

⁴ Paul Erdős, uno dei più geniali matematici del novecento, alla soluzione del dilemma illustratagli da un amico, reagì malissimo. Dopo aver dichiarato «No, è impossibile. Non può fare differenza», rimase solo per un'ora e al termine di questo tempo tornò dall'amico «irritatissimo», gridando «Non mi dici *perché* dovrei cambiare porta. Che cosa significa questo modo di fare?». Erdős si convinse della soluzione solo dopo che una simulazione col calcolatore gli confermò che la strategia del cambiare risulta vincente 2 contro 1. Vedi Hoffman, P., *Problemi di capre*, in [7].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baclawski, K., Cerasoli, M., Rota, G. C., *Introduzione alla probabilità*, U.M.I., Bologna 1984.
- [2] Castelnuovo, E., *Pentole, ombre, formiche*, La Nuova Italia, Firenze 1993.
- [3] Costantini, D., Monari, P. (a cura di), *Probabilità e giochi d'azzardo*, Muzzio, Padova 1996.
- [4] Costantini, D., *I fondamenti storico-filosofici delle discipline statistico-probabilistiche*, Bollati Boringhieri, Torino 2004.
- [5] De Finetti, B., *Il "saper vedere" in matematica*, Loescher, Torino 1967.
- [6] De Finetti, B., *Teoria delle probabilità*, Einaudi, Torino 1970.
- [7] Hoffmann, P., *L'uomo che amava solo i numeri*, Mondadori, Milano 1999.
- [8] Piattelli Palmarini, M., *L'illusione di sapere*, Mondadori, Milano 1993.
- [9] Piattelli Palmarini, M., *Psicologia ed economia delle scelte*, Codice, Torino 2005.
- [10] Ruelle, D., *Caso e caos*, Bollati Boringhieri, Torino 1992.

IL NUMERO e^*

ALESSANDRA DEL PICCOLO

Progetto Polymath, Torino

1. Come diventare milionari

Su una tavoletta babilonese del 1700 a.C., ora conservata al Museo Louvre di Parigi, un anonimo autore ha formulato un problema che in termini moderni può essere così tradotto: «dopo quanti anni raddoppio il capitale, se l'interesse annuale è del 20%?» La risposta più istintiva potrebbe essere cinque anni, visto che ci dicono che il capitale aumenta di $1/5$ ogni anno, ma forse è meglio fare qualche calcolo. Supponiamo, quindi, che si siano investiti 100 € il primo gennaio 2010. Al 31 dicembre dello stesso anno potremo incassare 20 € di interessi maturati. Il primo gennaio 2011, potremo così investire 120 € che, allo stesso tasso di interesse, frutteranno 24 € a fine anno. Il primo gennaio 2012 il nostro capitale sarà di 144 € e ammonterà a 172,80 € all'inizio dell'anno successivo. Infine, il 31 dicembre 2013 potremo disporre di un capitale di 207,40 euro. In definitiva, occorrono meno di tre anni affinché il capitale iniziale raddoppi.

I Babilonesi avevano trovato la soluzione approssimata, ma non avevano certo gli strumenti matematici per generalizzare il problema. Si chiama *matematica finanziaria* quella parte della matematica che viene applicata allo studio dei problemi concernenti la finanza e che vede nella legge seguente uno dei suoi capisaldi:

$$M = C(1+i)^t$$

dove M è il montante, ovvero l'ammontare del capitale al termine dell'investimento, C il capitale iniziale, i il tasso di interesse annuo e t il numero di anni di durata dell'investimento.

A questo punto è legittimo un dubbio: è meglio aspettare dodici mesi per incassare gli interessi o conviene incassare gli interessi dopo sei mesi e poi reinvestire per il resto dell'anno? Con un calcolo simile a quello precedente si può verificare che, suddividendo l'anno in n intervalli uguali su cui applicare l' n -esima parte dell'interesse annuo, il montante cresce al crescere di n , secondo la formula

$$M = C(1+i/n)^n$$

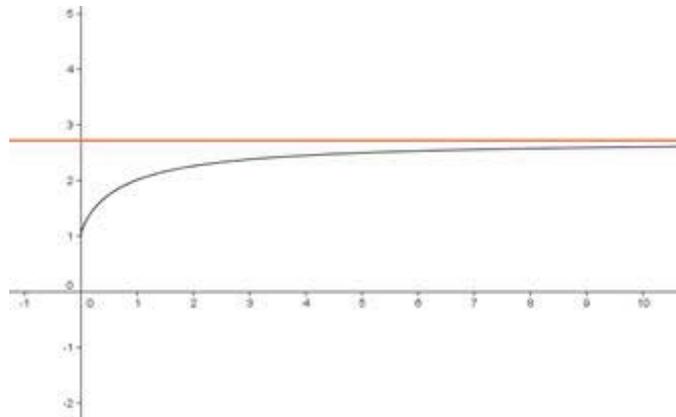
Immaginiamo, ora, di metterci nelle condizioni migliori possibili, ovvero pensiamo di disporre di un capitale $C = 1.000.000$ € e di poterlo investire con un tasso annuo $i = 1 = 100\%$. La tabella seguente illustra la crescita costante del capitale al crescere del

* Lezione tenuta il 12 novembre 2009 a Empoli, presso l'Istituto IIS Ferrari-Brunelleschi, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

numero di capitalizzazioni.

numero di capitalizzazioni	capitale finale	
1	2000000	annuale
2	2250000	semestrale
3	2370370	quadrimestrale
4	2441406	trimestrale
6	2521626	bimestrale
12	2613035	mensile
365	2714567	giornaliera
8760	2718127	oraria
525600	2718279	al minuto
31536000	2718282	al secondo

Risulta evidente che la crescita del capitale tende a rallentare: che cosa sta succedendo? In effetti, rappresentando sul piano (n, M) la legge precedente, si ottiene una curva che tende ad avvicinarsi sempre di più a un valore che, però, non riesce a raggiungere.



Il valore è quello che possiamo ottenere pensando di capitalizzare e reinvestire ogni istante, ovvero in ogni frazione di tempo così piccola da poter essere contenuta un numero infinito di volte nel nostro anno. Si può dimostrare¹ che:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2,718281828459045\dots = e$$

In conclusione, disponendo di un tasso annuale del 100% e passando ogni istante dell'anno a investire, incassare l'interesse maturato, reinvestire e nuovamente incassare, riusciremo al massimo ad aumentare il nostro capitale di e volte e non di più. L'importante è sapersi accontentare.

2. L'uomo che duplicò la vita agli astronomi

Durante il XVI e il XVII sec. i progressi scientifici erano tumultuosi in ogni campo: fisici e astronomi del calibro di Copernico, Galilei, Keplero, Brahe ridisegnavano le mappe del cielo togliendo la Terra dal centro dell'Universo, mentre navigatori e cartografi quali Magellano e Mercatore ridisegnavano la mappa della Terra stessa. La matematica giocava un ruolo centrale nella scienza come strumento indispensabile e come chiave interpretativa della natura stessa.

In questo clima così vivace nasce nel 1550, presso Edimburgo, John Nepair, meglio noto come Nepero. Scarse le notizie biografiche, al punto che vi sono dei dubbi anche sull'effettiva trascrizione del cognome: Nepair, Neper oppure Nappier. Di lui sono note le nobili origini e una profonda fede protestante: studente di teologia all'università, pubblica nel 1593 un'invettiva contro Papa Clemente VIII, che ritiene essere l'Anticristo, e predice la fine del mondo tra il 1688 e il 1700. Ha dodici figli, di cui dieci dalla seconda moglie; come proprietario terriero si occupa di agricoltura con efficiente razionalità e progetta numerose macchine militari che, però, non realizza.

Uomo di cultura, sia umanistica che scientifica, Nepero è ben consapevole che «eseguire calcoli è operazione difficile e lenta e spesso la noia che ne deriva è la causa principale della disaffezione che la maggioranza della gente prova nei confronti della matematica» [3].

In quel periodo gli strumenti matematici più utilizzati da scienziati, astronomi e navigatori erano quelli che erano stati sviluppati all'interno della trigonometria. Proprio le formule di prostaferesi e le ben più recenti proprietà delle potenze² offrono a Nepero lo spunto per quella che sarà un'idea geniale. Osserviamo, ad esempio, le formule seguenti

$$\operatorname{sen}\alpha \cdot \operatorname{sen}\beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$a^m : a^n = a^{m-n}$$

In ognuna di esse vi è la stessa filosofia di base, ovvero la possibilità di passare da un'operazione più complessa (la moltiplicazione o la divisione) ad una più semplice (l'addizione o la sottrazione). Ovviamente la semplificazione è più efficace di fronte a numeri con tante cifre: si pensi, ad esempio, di dover eseguire il prodotto tra 123456789 e 987654321, oppure la loro somma, disponendo solo di carta e matita!

Nepero intuisce che se si trasformasse ogni numero in una potenza di base opportuna, i calcoli più complessi si ridurrebbero a operazioni semplici sui loro esponenti. Il vero problema diventa quindi individuare la base che deve essere un numero di poco più piccolo di 1, in modo da avere potenze con una decrescita molto lenta. Dopo numerosi tentativi Nepero giunge alla conclusione che il numero ottimale – che chiama «proporzione» – è $0,9999999 = 1 - 10^{-7}$, molto probabilmente ispirandosi alla scelta

che già era stata fatta per compilare le tavole trigonometriche, in cui il raggio unitario veniva suddiviso in 10^7 parti.

È il 1594 e per i successivi vent'anni Nepero passa il tempo a sviluppare la sua idea e a compilare tavole numeriche in cui calcola le quantità

$$10^7 \cdot (1 - 10^{-7})^n \text{ per } n = 0, 1, 2, \dots, 100$$

$$10^7 \cdot (1 - 10^{-5})^n \text{ per } n = 0, 1, 2, \dots, 50$$

... e così via, progressivamente sottraendo a ogni numero la sua decimilionesima parte, poi la centomillesima ..., partendo da 10.000.000 fino ad arrivare a 4.998.609 (all'incirca la metà del primo). Finalmente, nel 1614, Nepero pubblica «la descrizione della meravigliosa regola dei logaritmi», ovvero *Mirifici logarithmorum canonis descriptio* in cui, per la prima volta, compare la parola *logaritmo* con la quale Nepero indica l'esponente da assegnare alla *proporzione* per ottenere un determinato numero N :

$$N = 10^7 \cdot (1 - 10^{-7})^L \Leftrightarrow L = N \log N^3$$

Si possono contare sulle dita di una mano contributi matematici che sin dal loro primo apparire ebbero un'accoglienza così entusiastica come accadde per i logaritmi: da subito gli studiosi e gli scienziati compresero come il nuovo strumento matematico potesse sveltire notevolmente i calcoli più complessi. In particolare, Henry Briggs, professore di geometria al Gresham College⁴ di Londra, raggiunge Nepero a Edimburgo e discute con lui alcune modifiche che perfezionano l'idea originale e le danno l'aspetto noto ancora oggi. Briggs suggerisce di definire il logaritmo come esponente da assegnare alla base 10 per ottenere un numero N noto

$$N = 10^L \Leftrightarrow L = \log_{10} N$$

Si devono a Briggs i concetti di *base*, *caratteristica* e *mantissa*⁵. Sarà lui a sviluppare queste idee e a pubblicare, nel 1624, *Arithmetica logarithmica*⁶, una nuova serie di tavole logaritmiche che decreteranno il successo definitivo dell'invenzione. Grazie a matematici e scienziati del calibro di Keplero, Cavalieri e Wright i logaritmi si diffondono con una rapidità incredibile in Germania, in Italia, in Inghilterra fino ad arrivare in Cina. Ancora due secoli dopo, Pierre-Simon Laplace dirà: «Abbreviando i calcoli, l'invenzione dei logaritmi ha duplicato la vita degli astronomi» [3].

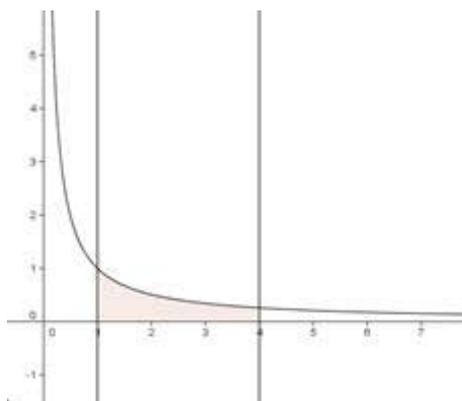
Quasi contemporaneamente, l'invenzione dei logaritmi stimola la realizzazione di strumenti meccanici che facilitino i calcoli, quali il *regolo calcolatore* di Gunter e di Oughtred del 1620, a cui segue la *pascalina* di Blaise Pascal, apparsa una ventina di anni dopo. Nel 1821, infine, Charles Babbage mette a punto la *macchina differenziale* e, successivamente, la *macchina analitica*, veri e propri precursori degli attuali computer che, di fatto, decretano la morte dei logaritmi.

A questo punto non ci rimane che scoprire la relazione intercorente tra e e i logaritmi, argomento che sarà oggetto del prossimo paragrafo e che ci obbligherà a fare un passo indietro nel tempo.

3. Iperboliche considerazioni

Quadrare una figura significa determinare il quadrato equivalente alla figura data, ovvero il quadrato avente la stessa area della figura data. I Greci avevano affrontato il problema con un approccio operativo che si basava su costruzioni con riga e compasso. Negli *Elementi* di Euclide si trova la dimostrazione del teorema che afferma l'equivalenza tra ogni poligono a n lati e un opportuno quadrato. Rimanevano in sospeso, però, le *sezioni coniche*, ovvero la parabola, la circonferenza, l'ellisse e l'iperbole. Queste curve erano state studiate da Apollonio di Perga attorno al 200 a.C. e definite come intersezione di un cono con un piano avente inclinazioni opportune. Archimede di Siracusa, con il metodo di esaustione, era riuscito a quadrare segmenti di parabola e aveva determinato la lunghezza di una circonferenza⁷ con un'approssimazione incredibilmente accurata, visti gli strumenti matematici a sua disposizione, ma rimaneva ancora in sospeso l'iperbole.

Con Renè Descartes e la sua geometria analitica si aprono nuovi orizzonti di indagine: le sezioni coniche diventano equazioni di II grado con coefficienti opportuni da trattare con i metodi dell'algebra. In particolare, l'equazione dell'iperbole equilatera è

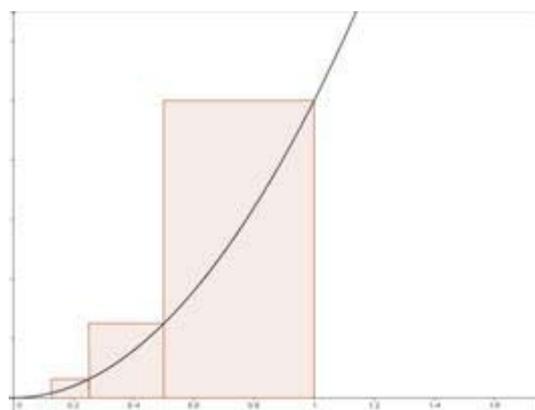


$$xy = 1 \Leftrightarrow y = \frac{1}{x}$$

$$x \neq 0$$

Il problema della quadratura dell'iperbole diventa ora quello di determinare l'area della parte di piano compresa tra il grafico dell'iperbole, l'asse delle x , la retta $x = 1$ e la retta $x = t$. È possibile determinare una formula che esprima l'area come funzione di t , ovvero $A = A(t)$?

Durante il XVII secolo si susseguono diversi tentativi indipendenti. Il più significativo è quello del "principe dei dilettanti" Pierre de Fermat che si occupa della quadratura della famiglia di curve di equazione:



$$y = x^n$$

Utilizzando una serie di rettangoli le cui basi

$$a, ar, ar^2, ar^3, ar^4, \dots \text{ con } r < 1$$

formano una progressione geometrica decrescente, Fermat giunge a un risultato che anticipa di trent'anni gli straordinari risultati del calcolo differenziale di Newton e Leibniz. Fermat dimostra che:

$$A(r) = \frac{a^{n+1}(1-r)}{1-r^{n+1}} = \frac{a^{n+1} \cancel{(1-r)}}{\cancel{(1-r)}(1+r+r^2+\dots+r^n)} \xrightarrow{r \rightarrow 1} \frac{a^{n+1}}{n+1}$$

formula che vale anche se $n < 0$, ma che perde di significato proprio per $n = -1$.

Sarà il gesuita belga Gregorius de Saint-Vincent il primo a notare che, nel caso particolare $n = -1$, i rettangoli usati per l'approssimazione dell'area sottesa dall'iperbole mantengono costante la loro area: a una crescita *geometrica* della distanza dall'origine corrisponde una crescita aritmetica delle aree corrispondenti. Questo significa che l'area sottesa dall'iperbole si può calcolare usando la recente invenzione di Nepero, cioè

$$A(t) = \log t$$

per

$$x \in [1, t]$$

Il logaritmo diventa così una funzione, non più solo uno strumento di calcolo, ma il problema non può dirsi risolto se non si determina quale base utilizzare. I tempi, però, sono ormai maturi per il calcolo infinitesimale, per la cui paternità passarono decenni a lottare tra loro due tra le menti più prolifiche di tutti i tempi: Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz. Il calcolo infinitesimale vede nel "teorema fondamentale del calcolo integrale" lo stupefacente collegamento tra il calcolo dell'*area* sottesa da una funzione e il calcolo delle *tangenti* alla stessa funzione:

$$A = \int y dx \Leftrightarrow \frac{dA}{dx} = y.$$

4. La vita in una funzione

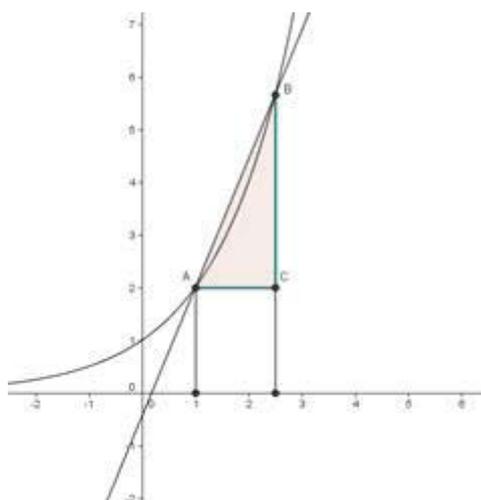
Il calcolo differenziale venne dapprima applicato con successo alle funzioni algebriche, ma nelle applicazioni pratiche spesso si incontravano funzioni, che Leibniz definì *trascendenti*, di cui le funzioni esponenziali costituivano l'esempio più interessante a causa della loro crescita incredibilmente veloce.

La leggenda narra che l'inventore degli scacchi chiese al re, come ricompensa per la sua invenzione, un chicco di riso sulla prima casella, due chicchi di riso sulla seconda, quattro sulla terza, otto sulla quarta e così via fino all'ultima. Il re acconsentì, stupito per la modestia della richiesta e ordinò ai servi di portare un sacco di riso e iniziare a contare i chicchi. Ben presto si accorsero che non solo non sarebbe bastato il sacco, ma nemmeno tutti i sacchi del regno, perché il numero di chicchi dell'ultima casella era

$$2^{63} = 9.223.372.036.854.775.808 \approx 10^{19}$$

cui si dovevano sommare tutti i chicchi delle 63 caselle precedenti! Messi in fila, i chicchi avrebbero coperto una distanza pari a circa due anni luce, quasi metà della distanza tra la Terra e Alpha Centauri, il sistema stellare più vicino a noi.

In generale una funzione esponenziale è una funzione



$$y = b^x, \text{ dove } b > 0 \text{ e}$$

$$x \in \mathbb{R}$$

Si può capire l'andamento di una qualsiasi funzione attraverso l'analisi della pendenza di una retta passante per due punti appartenenti alla funzione sufficientemente vicini tra loro. Meglio ancora se, invece di una retta secante, si valuta la pendenza della retta tangente in un punto assegnato.

$$\lim_{AC \rightarrow 0} \frac{BC}{AC} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

La funzione esponenziale è tale per cui la crescita della pendenza delle tangenti è proporzionale alla crescita della funzione stessa.

$$\lim_{k \rightarrow 0} \frac{b^{x+k} - b^x}{k} = b^x \cdot \lim_{k \rightarrow 0} \frac{b^k - 1}{k}$$

Si può dimostrare che la costante di proporzionalità vale 1 se la base è uguale a e . Infatti,

$$\text{se } \lim_{k \rightarrow 0} \frac{b^k - 1}{k} = 1, \text{ allora } b = \lim_{k \rightarrow 0} (1+k)^{\frac{1}{k}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e$$

In altre parole, la funzione esponenziale di base e è l'unica funzione che coincide con la propria derivata:

$$y = e^x \Leftrightarrow \frac{dy}{dx} = y = e^x$$

Ricordiamo che il *logaritmo briggsiano* è quell'esponente x da assegnare alla base 10 per ottenere il numero dato y , ovvero

$$y = 10^x \Leftrightarrow x = \log_{10} y.$$

Analogamente definiamo *logaritmo naturale* l'esponente x da assegnare alla base e per ottenere y :

$$y = e^x \Leftrightarrow x = \ln y \xrightarrow[\substack{x \rightarrow y \\ y \rightarrow x}]{} y = \ln x$$

La funzione logaritmo è quindi la funzione inversa della funzione esponenziale e viceversa. Inoltre è sempre Leibniz a dimostrare che la derivata della funzione inversa è uguale al reciproco della derivata della funzione diretta, quindi

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{\frac{dy}{dx}} = \frac{1}{e^x} = \frac{1}{y}$$

Poiché $x = \ln y$

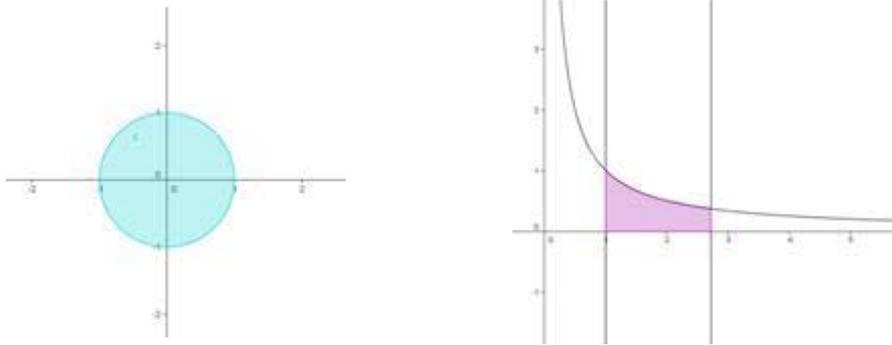
allora

$$\frac{d(\ln y)}{dy} = \frac{1}{y} \xrightarrow{y \rightarrow x} \frac{d(\ln x)}{dx} = \frac{1}{x}$$

che equivale a dire che

$$\ln x = \int_1^x \frac{1}{t} dt.$$

Si risolve così il problema che Saint-Vincent aveva lasciato in sospeso: la base corretta per il logaritmo è e . In questo modo, usando la lettera A come iniziale di area, si arriva alla seguente analogia:



$$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi \Leftrightarrow r = 1$$

cerchio

$$A = \ln x \rightarrow A = 1 \Leftrightarrow x = e$$

iperbole

La funzione esponenziale permette di descrivere tutti quei fenomeni in cui la variazione di una certa quantità è proporzionale alla quantità stessa, mediante una costante a che esprime il tasso di cambiamento ($a > 0$ aumento; $a < 0$ diminuzione). La soluzione è una funzione $y = C e^{ax}$, dove C è una costante arbitraria che dipende dalle condizioni iniziali del sistema (il valore assunto dalla funzione per $x = 0$).

Si utilizza una funzione esponenziale decrescente se si vuol descrivere

- il processo di *decadimento radioattivo*, in ogni istante proporzionale al numero di atomi presenti nella sostanza: $\frac{dN}{dt} = -\lambda N \rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$;
- la *diminuzione di temperatura* di un corpo messo in un ambiente a temperatura inferiore, pensata costante; essa è proporzionale alla differenza di temperatura tra il corpo e l'ambiente: $\frac{dT}{dt} = -\alpha(T - T_1) \rightarrow T = T_1 + (T_0 - T_1)e^{-\alpha t}$;
- la *diminuzione dell'intensità di un'onda sonora* in un mezzo in relazione allo spazio percorso, proporzionale all'intensità stessa dell'onda: $\frac{dI}{dx} = -aI \rightarrow I = I_0 e^{-ax}$.

Si utilizza, invece, una funzione esponenziale crescente per calcolare, ad esempio:

- il montante M in *capitalizzazione continua* $M = C e^{rt}$;
- l'accrescimento di una colonia di batteri o delle prime cellule di una nuova vita⁸.

Molto stretto è quindi il legame tra i logaritmi di Nepero e il numero e ; ed è giusto concludere citando il matematico che ha introdotto questo stesso simbolo. Si tratta di Leonhard Euler, di certo il matematico più prolifico di tutti i tempi. I risultati che portano il suo nome non si contano e spaziano in tutti i campi della scienza. A Euler si deve l'introduzione della lettera π per indicare il rapporto tra la lunghezza della circonferenza e del suo diametro, così come si deve a lui la definizione moderna di logaritmo $N = b^L \Leftrightarrow L = \log_b N$ apparsa nel 1728 e, vent'anni dopo, l'introduzione di e .

Caso particolare di quella che viene detta *equazione di Eulero* è la seguente identità, universalmente riconosciuta come una delle più belle formule della matematica:

$$e^{ix} + 1 = 0$$

In effetti, in un'unica scrittura sono contenute le operazioni fondamentali – addizione e moltiplicazione – e i numeri più significativi o particolari della matematica: per l'aritmetica lo 0 e l'1, per l'analisi e , per la geometria π e per l'algebra i . Benjamin Pierce, matematico americano, docente all'università di Harvard, riscoprì per caso l'equazione e disse ai suoi studenti:

Signori, questa formula è paradossale; non la possiamo capire e non sappiamo che cosa significhi. Ma l'abbiamo dimostrata e quindi sappiamo che deve essere la verità. [3]

NOTE

¹ L'uguaglianza si dimostra utilizzando la formula binomiale di Newton

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[1 + 1 + \frac{1 - \frac{1}{n}}{2!} + \frac{(1 - \frac{1}{n})(1 - \frac{2}{n})}{3!} + \dots + \left(\frac{1}{n}\right)^n\right] = 1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \dots = e$$

Da notare che la successione delle serie parziali è monotona e rapidamente convergente: sono sufficienti 16 termini per avere un'approssimazione di e corretta fino alla 14-esima cifra.

² Nel 1544 M. Stiefel pubblica *Aritmetica integra* in cui, studiando la progressione geometrica, ricava le cosiddette proprietà delle potenze aventi ugual base.

³ Dalla definizione segue che $N = 10^Z \Leftrightarrow L = 0$. È importante ricordare che Nepero non definisce operazioni con i logaritmi e non scopre e .

⁴ Il Gresham College fu inaugurato nel 1597 dopo un cospicuo lascito alla città di Londra da parte di Sir Thomas Gresham. Il college era amministrato dalla Compagnia dei Mercanti che fecero dell'istituto un luogo dove insegnare gratuitamente agli adulti a partire non dal commento di testi, ma dalla pratica su strumenti e questioni di vita quotidiana. Sette le cattedre attivate, in latino e in inglese: teologia, diritto, retorica, musica, medicina, geometria e astronomia.

⁵ Ad esempio, se $N = 3,456$, allora 3 è la caratteristica mentre 0,456 è la mantissa di N . Il termine "mantissa" è di origine etrusca e significa "complemento del peso".

⁶ H. Briggs compila le tavole logaritmiche dei numeri da 1 a 20.000 e da 90.000 a 100.000 con 14 cifre decimali. Le tavole logaritmiche furono completate nel 1949!

⁷ Costruire con riga e compasso un quadrato equivalente a un cerchio di raggio assegnato non ammette soluzione, ma ci sono voluti duemila anni prima di dimostrarlo. Si deve al matematico F. von Lindemann la dimostrazione, nel 1882, della trascendenza di π .

⁸ A partire dalla fine dell'Ottocento anche la crescita demografica a livello mondiale ha iniziato a seguire un andamento esponenziale, con tutti i problemi che questo comporta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Boyer, C., *Storia della matematica*, Mondadori, Milano 1990.
- [2] Coolidge, J. L., The number e , *Amer. Math. Monthly*, 57, 1950, pp. 591-602.
- [3] Maor, E., *e: the story of a number*, Princeton University Press, Princeton 1994.

CODICI SEGRETI: L'ANTICA ARTE DELLA CRITTOGRAFIA

DIVENTA UNA SCIENZA MODERNA*

RENATO BETTI

Dipartimento di Matematica, Politecnico di Milano

1. Introduzione

Verso la fine degli anni Sessanta del Novecento, sotto l'influenza dei rapidi sviluppi dei sistemi di calcolo automatico, le vecchie macchine cifranti elettromeccaniche usate per scopi di crittografia – vale a dire per trasmettere messaggi al riparo da possibili, indesiderate, intercettazioni – vennero progressivamente sostituite da dispositivi elettronici che, oltretutto, garantivano maggiore velocità, maggiore sicurezza e risparmio economico. Allo stesso tempo, il grande pubblico venne a conoscenza di alcuni successi crittografici di notevole rilievo che, fino ad allora, erano noti ai soli specialisti di questioni militari, diplomatiche o commerciali. L'immaginazione fu colpita soprattutto da vicende belliche relative alla Seconda Guerra Mondiale, nella quale si intrecciano spionaggio, cultura meccanica e capacità di addentrarsi nelle strutture logiche e combinatorie più intricate, come nel caso della macchina Enigma, da parte delle forze alleate in Europa, della decrittazione del codice giapponese Purple durante la guerra nel Pacifico, o quella, resa nota in tempi più recenti, della sistematica lettura della tedesca Geheimschreiber da parte del controspionaggio svedese. Fu in questo contesto problematico e tecnologico che, nel 1976, due scienziati americani, Whitfield Diffie e Martin Hellman diedero vita al nuovo settore della *crittografia a chiave pubblica*, il quale, solo due anni più tardi ricevette una concreta implementazione nel sistema detto RSA dal nome dei suoi ideatori: Ronald Rivest, Adi Shamir e Leonard Adleman¹.

L'uso di metodi crittografici è vecchio di migliaia di anni e lo sviluppo concettuale e pratico di numerose procedure è da sempre corso in parallelo con l'applicazione di strutture formali. Ora, sotto le nuove esigenze di riservatezza che caratterizzano le necessità operative moderne, questi metodi stavano manifestandosi sempre più connessi e dipendenti dall'autentica ricerca scientifica, in particolare matematica. È l'esigenza di nuove, più sicure e generali, modalità di trasmissione dei dati. Se, fino ad un certo punto dello sviluppo, le esigenze di riservatezza sono rimaste confinate a problemi di carattere diplomatico o militare – e quindi all'occultamento di informazioni trasmesse lungo linee poco sicure – oggi è pressante la necessità di proteggere la grande quantità

* Lezione tenuta il 20 ottobre 2009 presso l'Auditorium del Consiglio regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

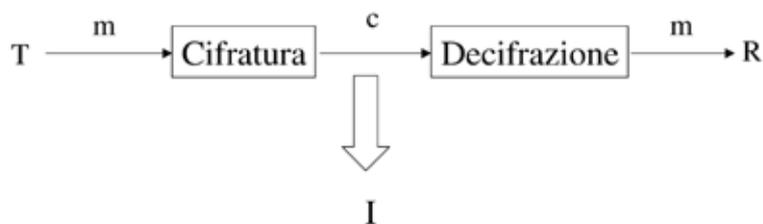
di dati che vengono elaborati dai grossi sistemi di calcolo. Con la crescita del commercio on-line, della posta elettronica, delle transazioni bancarie a distanza etc. un accesso illegittimo alle informazioni costituisce un pericolo enorme per la società.

Con uno slogan che chiarisce il sottotitolo di questo intervento: la *chiave pubblica* sta provvedendo a trasformare la crittografia da un'antica 'arte' in una scienza moderna, in grado di affrontare adeguatamente questi problemi. Ciò avviene grazie all'incontro della pratica millenaria della crittografia, dotata soprattutto di regole empiriche, con una scienza formale rigorosa – la *teoria dei numeri* – che, nella concezione di Gauss è la “regina della matematica” (che a sua volta, sempre nella sua concezione, è la “regina della scienza”).

Qui intendiamo fornire qualche elemento per accostarsi all'incontro appena accennato. In particolare, con l'intenzione di dare un'idea della nozione di *chiave pubblica* e di *canale asimmetrico* lungo il quale è possibile trasmettere con buona sicurezza le informazioni riservate, chiarire il meccanismo di base del sistema stesso e mettere in luce altre notevoli applicazioni (quali la firma digitale o il sorteggio a distanza). A questo scopo, occorrerà ricordare gli aspetti matematici essenziali della *aritmetica modulare*, sulla cui base avviene l'implementazione del sistema RSA. Naturalmente sarà necessario anche introdurre alcuni elementi di carattere storico-concettuale, allo scopo di ambientare propriamente il discorso nel suo sviluppo reale.

2. Il principio di Kerckhoffs

Lo schema essenziale del problema crittografico è il seguente:



Un *trasmettitore* T intende mandare al *ricevitore* R il messaggio riservato “m”, al riparo dalla lettura di un “intercettatore” I. A questo scopo lo *cifra* secondo qualche regola nota solo a lui ed al suo interlocutore, in modo che questi sia in grado di *decifrare* il messaggio cifrato “c” e ricostruire l’originale “m”. L’attesa è che l’intercettatore I, pur a conoscenza del messaggio cifrato “c”, non sia in grado di decifrarlo o, cosa che sarebbe peggiore, non sia in grado di *decrittare*, o *infrangere*, il sistema, vale a dire mettersi in condizione di leggere tutti i messaggi che vengono scambiati con quella procedura.

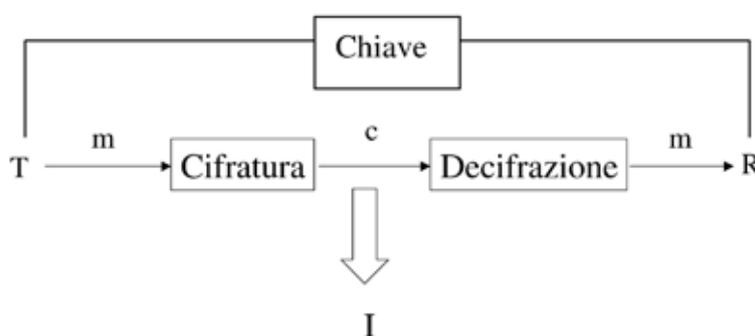
Il problema crittografico si può anche vedere come una forma di ‘competizione’ che si stabilisce fra la cifratura e la decrittazione², vale a dire fra la capacità di ideare sistemi sempre più sicuri ed efficienti e la disposizione a renderli leggibili a partire da qualche conoscenza a essi relativa (ad esempio avendo a disposizione alcuni esemplari cifrati e la loro espressione in chiaro).

Il nome del filologo olandese Auguste de Kerckhoffs (1835-1903) è legato a uno dei principi che viene riconosciuto da tutti. Nel suo lavoro *La cryptographie militaire*,³ che pure è relativamente recente rispetto al millenario sviluppo della crittografia, fra le altre richieste da fare ad un buon sistema, viene sottolineata l'importanza della *chiave crittografica*:

È necessario che non occorra il segreto e che [il sistema] possa senza danno cadere in mano nemica.... La chiave deve essere comunicata e conservata senza ricorrere a note scritte, ed essere cambiato o modificata a discrezione dei corrispondenti.

In sostanza, la sicurezza di un sistema crittografico dipende *solo* dalla segretezza di una informazione essenziale, la *chiave* – necessariamente condivisa dai corrispondenti – che deve evitare quanto possibile di essere incorporata in un supporto materiale per non cadere in mano nemica, giacché c'è da aspettarsi con grande probabilità che il sistema stesso possa essere noto a chi intercetta: quello che ne rende impossibile l'uso è allora la non conoscenza della chiave. Qui si concentra tutta la sicurezza del cifrario.

Allo scopo di scambiarsi la chiave e quando occorre modificarla, è necessario un *canale sicuro* che sia al riparo dalle intercettazioni: magari un canale temporaneo, o che forse si può stabilire in condizioni speciali, utile per brevi comunicazioni e comunque non disponibile per lunghi messaggi cifrati. Lo schema precedente si arricchisce con la presenza di questo nuovo canale e, soprattutto, l'idea di chiave è riconosciuta come l'elemento fondamentale del sistema crittografico. Vale la pena di mettere in evidenza il ruolo della chiave dal punto di vista di alcuni dei sistemi che sono stati sviluppati nel tempo.



Un'ulteriore osservazione, prima di entrare nel merito delle scritture cifrate, riguarda il fatto che, quando la matematica interviene a collaborare con qualche altra disciplina, inevitabilmente opera delle unificazioni grazie ai propri strumenti formali. In questo caso continuiamo a riferirci al problema della sicurezza di un messaggio cifrato, ma algoritmi basati su analoghi principi hanno il loro funzionamento anche in un'altra serie di problemi: firma digitale (riconoscimento del mittente), autenticità del testo, sorteggi a distanza, problemi a conoscenza zero (come convincere qualcuno che si possiede un segreto senza rivelarlo?) e altri, sui quali verrà accennato al termine.

3. Le prime scritture nascoste

La necessità di possedere metodi efficienti per comunicare in modo riservato è stata avvertita da sempre, soprattutto per motivi militari o diplomatici, o anche sentimentali. Già Erodoto, in relazione alle guerre fra Grecia e Persia nel V secolo a.C., racconta episodi importanti nei quali opportuni ordini militari vengono accuratamente celati in modo da non farli scoprire all'avversario. Il modo più istintivo è per l'appunto quello di nascondere il messaggio: in questo caso si parla propriamente di *steganografia*. Mentre quando non si nasconde il messaggio, bensì il suo contenuto – e risulta evidente a tutti che il vero messaggio non è il testo trasmesso – allora si ha a che fare con la *crittografia*, termine usato per la prima volta, a quanto sembra, nel 1641 da John Wilkins, uno dei fondatori della Royal Society, ma pratica antica quanto l'uomo.

Nel senso della crittografia, uno dei primi esempi documentati di messaggio cifrato viene fatto risalire a Giulio Cesare, che era solito ricorrervi nella guerra contro i Galli. Secondo la *Vita Caesarorum* di Svetonio (II secolo d.C.) il sistema cifrante consisteva nel “traslare circolarmente” l'alfabeto, sostituendo di conseguenza tutte le lettere del messaggio in chiaro. Ad esempio, con una traslazione di 2 unità dall'alfabeto in chiaro (riga superiore) si ottiene quello cifrato (riga inferiore):

A B C D E F G H I L M N O P Q R S T U V Z

C D E F G H I L M N O P Q R S T U V Z A B

Metodi di questo genere sono noti oggi come *cifrari di Cesare*. È chiaro che si hanno a disposizione solo 20 cifrari distinti di questo tipo, e la chiave cifrante, il segreto speciale, è il numero n (compreso fra 1 e 20) che specifica di quanto è necessario traslare l'alfabeto in chiaro per ottenere quello cifrato. Un numero molto esiguo di cifrari che si presta ad essere eluso con pochi tentativi. Una variazione che aumenta enormemente il numero di cifrari distinti consisterebbe nell'assumere una qualunque permutazione delle 21 lettere dell'alfabeto in chiaro invece di eseguire una semplice traslazione. I cifrari distinti diventano in questo caso $21!$ – un numero altissimo, dell'ordine di grandezza di 10^{18} – mettendosi al riparo da possibili decrittazioni dovute a qualche tentativo ben mirato. In questo caso la chiave cifrante è costituita proprio da tutta la permutazione. E si capisce allora che il metodo contravviene a una delle regole auree che saranno in seguito riconosciute da Kerckoffs: troppo difficile conservare a mente l'intera permutazione di 21 lettere e pericoloso registrarla su un supporto materiale allo scopo di ricordarla.

Come spesso avviene, si raggiunge un compromesso. Precisamente l'idea è quella di *generare* una permutazione con un meccanismo semplice, efficiente e facile da memorizzare: a questo punto la vera chiave è diventata il metodo generatore. Ad esempio, si può usare una parola chiave che non abbia lettere ripetute, come “domani”, oppure eliminare le ripetizioni da un termine scelto (ad esempio “ierlaltrò” diventa “ierlato”) e utilizzare la parola per indicizzare le permutazioni partendo da una posizione convenuta: la parola chiave viene usata a partire da quella posizione e, nel seguito, si procede

alfabeticamente, saltando ovviamente le lettere già usate. Ad esempio, la permutazione che si ottiene con la parola chiave “ierlaltro” a partire dalla posizione 4 è quella che segue:

A B C D E F G H I L M N O P Q R S T U V Z
U V Z I E R L A T O B C D F G H M N P Q S

La memorizzazione della chiave (ierlaltro, 4) è agevole per tutti e un cifrario di questo genere sembra al riparo da attacchi basati su tentativi ripetuti. Ma ...

Il crittoanalista, cioè colui che tenta di infrangere il cifrario, posto di fronte ad un testo cifrato abbastanza lungo, è a conoscenza del fatto che il testo in chiaro è scritto in italiano (o in inglese, o in russo ...) e che riguarda affari (o problemi diplomatici, militari, commerciali, sentimentali ...) e, soprattutto, conosce il *dizionario delle frequenze* con cui si ripetono le lettere nei discorsi del dato argomento. In altri termini, approfitta delle informazioni che, in ogni lingua e per ogni tipo di discorso, i linguisti e gli statistici hanno rilevato prendendo in esame campioni lunghi e articolati. Ad esempio, sa che in un dato contesto italiano le frequenze sono le seguenti⁴:

Lettera	%	Lettera	%	Lettera	%
a	11,8	h	1,5	q	0,5
b	0,9	i	11,3	r	6,4
c	4,5	l	6,5	s	5
d	3,7	m	2,5	t	5,6
e	11,8	n	6,9	u	3
f	1	o	9,8	v	2,1
g	1,7	p	3	z	0,5

Studiando le frequenze con cui compaiono le varie lettere nel testo trasmesso – che deve essere abbastanza lungo e significativo – si possono fare delle ipotesi attendibili riguardo al loro significato in chiaro. Altre informazioni si ottengono ad esempio dalla frequenza delle lettere ripetute, da particolari associazioni o dalla loro mancanza ... Con un certo numero di tentativi ben mirati è possibile infrangere ogni cifrario di quelli mostrati in precedenza⁵.

4. I cifrari polialfabetici

Analizzando i sistemi cifranti presi finora in considerazione, emerge il difetto che li rende immediatamente attaccabili: uno studio accurato delle frequenze. Il problema è che questi cifrari sono *monoalfabetici*, nel senso che una lettera viene cifrata *sempre* con lo stesso simbolo, mantenendo quindi nel testo cifrato le stesse frequenze del testo in chiaro. Come rendere uniformi le frequenze nel testo cifrato?

L'idea è quella di ricorrere ad un cifrario *polialfabetico*, vale a dire di associare ad ogni lettera in chiaro un simbolo cifrato in maniera *dipendente dal contesto* nel quale avviene la cifratura. Ad esempio, visto che in italiano la frequenza della lettera “a” è quasi del 12%, si potrebbero usare 12 simboli diversi X_1, X_2, \dots, X_{12} : il primo viene usato

la prima volta che compare la lettera “a” nel testo in chiaro, il secondo la seconda volta e così via, circolarmente. Analogamente per tutte le altre lettere, tenendo conto delle corrispondenti frequenze. È chiaro, che in questo modo, tutti i simboli cifranti – che devono essere in numero di 100 – ricorrono con la stessa frequenza.

Ma si capisce subito che anche questa idea è impraticabile. In contrasto con il principio di Kerckhoffs, bisognerebbe tenere a mente una tabella che ad ogni lettera dell’alfabeto italiano associa un certo numero di simboli. O registrarla da qualche parte. Niente da fare. Occorre cercare un altro compromesso allo scopo di generare, ancora una volta, in maniera semplice, l’alfabeto cifrante in dipendenza dal contesto nel quale ci si trova ad operare. Ed è qui che si sposta l’idea di chiave.

All’albo del Rinascimento, metodi polialfabetici, del genere di quelli che saranno descritti, sono sorti praticamente in ogni paese europeo. E ogni paese, spesso ogni regione o provincia, rivendica la priorità dell’idea. Questo fatto segnala forse che l’esigenza era sentita da molti e che le idee erano mature per essere realizzate. Uno dei primi esempi è legato al nome di Leon Battista Alberti, nella seconda metà del Quattrocento⁶.



L’idea dell’Alberti è quella di usare due dischi concentrici, in grado di ruotare l’uno rispetto all’altro, e contenenti l’alfabeto in chiaro (il disco esterno) e quello in cifra (il disco interno). Dopo la cifratura di una lettera, ottenuta facendo corrispondere le lettere dei due dischi che sono una sopra l’altra, il disco esterno viene ruotato di una *tacca*, e la corrispondenza fra le lettere cambia – di fatto cambia tutto l’alfabeto cifrante, che si ripete dopo un periodo lungo quanto sono le lettere che compaiono nei dischi. È chiaro che il congegno può cadere in mano nemica senza danno: la chiave crittografica in questo caso è data dall’assetto iniziale dei due dischi.

Vale la pena di osservare che su un simile principio funzionava anche la macchina cifrante Enigma usata dall’esercito tedesco durante la seconda guerra mondiale, e decrittata fin dal 1942 dalla *intelligence* inglese, con il contributo decisivo del matematico Alan Turing⁷: fra i vari congegni, un certo numero di dischi rotanti provvedeva alla cifratura mediante collegamenti elettrici. Dopo ogni lettera il primo disco ruotava con uno scatto e proponeva un nuovo collegamento, dopo tutto un giro lo scatto competeva al secondo disco rotante, e poi al terzo e così via, in sequenza, come adesso avviene con i moderni contachilometri meccanici.⁸

La priorità dell'Alberti compete senz'altro all'ideazione di un congegno meccanico per cifrare. Di fatto, il cifrario che, dal Rinascimento, rimase in uso per molti secoli e che in qualche modo costituì il paradigma di ogni metodo di cifratura polialfabetica è legato al nome del diplomatico francese Blaise de Vigenère (1523-1596). L'idea, contenuta nel suo *Traité des chiffres ou secrètes manières d'écrire* del 1586, è quella di utilizzare per ogni lettera un diverso alfabeto cifrante, il quale viene *indicizzato* da una parola chiave. Non è più necessario che la parola chiave sia priva di lettere ripetute. Nell'esempio seguente riprendiamo la chiave "ierlaltro", senza modifiche. Tutti i possibili 20 cifrari (*à la Cesare*) vengono riportati sotto l'alfabeto in chiaro come nello schema che segue:

ABCDEFGHILMNOPQRSTUVWXYZ
 BCDEFGHILMNOPQRSTUVWXYZA
 CDEFGHILMNOPQRSTUVWXYZAB
 DEFGHILMNOPQRSTUVWXYZABC
 EFGHILMNOPQRSTUVWXYZABCD
 FGHILMNOPQRSTUVWXYZABCDE
 GHILMNOPQRSTUVWXYZABCDEF
 HILMNOPQRSTUVWXYZABCDEFG
 ILMNOPQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 LMNOPQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 MNOPQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 NOPQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 OPQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 PQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 QQRSTUVWXYZABCDEFGHI
 RSTUVWXYZABCDEFGHI
 STUVWXYZABCDEFGHI
 TUVWXYZABCDEFGHI
 UVWXYZABCDEFGHI
 VWXYZABCDEFGHI
 WXYZABCDEFGHI

Il testo da cifrare sia "NEL MEZZO DEL CAMMIN DI NOSTRA VITA....". Per mantenerlo segreto lo cifriamo con la chiave "IERLALTRO". Sovrapponiamo la chiave tanto quanto basta:

NELMEZZODELCAMMIN DINOSTRAVITA
 IERLALTROI ER L A L TROI ER L A L TROI E

La cifratura della prima lettera ("N") avviene con l'alfabeto che comincia con "I", la

quale si trova immediatamente sotto la “N” in chiaro – dunque, all’incrocio della riga “I” con la colonna “N” si ottiene “V” – similmente la “E” viene cifrata a partire con l’alfabeto che comincia con “E”, la “L” dalla “R” e così via, ottenendo:

VIDVEISGROP.....

Si continui per esercizio e si osservi che le prime tre lettere “E” sono cifrate ordinatamente con “I”, “E” e “O”, viceversa, due “V” del messaggio cifrato corrispondono rispettivamente ad “N” ed “M”: ecco in funzione un cifrario polialfabetico!

Sembra di essere al riparo degli attacchi statistici. Ma in realtà questi iniziarono fin dall’inizio, in maniera poco sistematica, ma efficiente, ad opera soprattutto dello scienziato e filosofo Giovan Battista della Porta, che viene considerato uno dei principali crittografi del Rinascimento.⁹ Dagli attacchi sporadici, spesso legati anche a conoscenze degli autori e dei possibili messaggi, delle abitudini personali e delle mode, si passa progressivamente a trovare un metodo. Il primo attacco sistematico naturalmente viene portato alla *lunghezza della chiave*, trovata la quale tutto si ripete e si può considerare di lavorare con *spezzoni* monoalfabetici.

Il merito di aver escogitato un metodo generale per attaccare con successo i cifrari polialfabetici spetta ad un ufficiale dell’esercito prussiano, Friedrich W. Kasiski, il quale trovò una regola per determinare la lunghezza della chiave e la pubblicò in un lavoro del 1863: *Die Geheimschriften und die Dechiffirkunst*. Intorno all’inizio del Novecento era ormai generalmente accettata la vulnerabilità dei sistemi polialfabetici ed i sistemi à la *Vigènere* persero progressivamente interesse. La cosa divenne maggiormente evidente nel 1925 in seguito alla scoperta del cosiddetto *indice di coincidenza* – una tecnica di conteggio delle coincidenze di termini nel testo in chiaro ed in quello cifrato – messo a punto dallo statistico militare americano William F. Friedman (1891-1969).

Ormai, intorno all’inizio del Novecento, i cifrari polialfabetici erano superati. Ma nel frattempo siamo arrivati al periodo dell’elaborazione automatica: avanzano le macchine cifranti e con esse avanzano nuove idee.

5. I cifrari perfetti

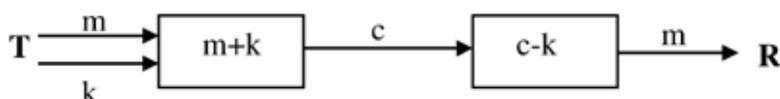
Nel contesto dei sistemi meccanici di calcolo, fin dall’inizio del Novecento, sorge l’idea che si possa costruire un *cifrario perfetto*, vale a dire un cifrario che non può essere infranto. La prima realizzazione risale al 1917 e porta il nome dell’ingegnere americano delle comunicazioni Gilbert Vernam, il quale si rende conto che a questo scopo è necessario che la chiave cifrante abbia tanta informazione quanto i possibili messaggi da cifrare. Un’apparente contraddizione che tuttavia, come è successo altre volte nel corso del tempo, serve solo a spostare il livello al quale si deve tener conto della chiave.

Il messaggio, ormai, a questo punto dello sviluppo tecnologico, è una successione di *bit*, una stringa numerica binaria, e la chiave è un’altrettanto lunga sequenza di *bit* generata in modo casuale e custodita in un libro delle chiavi – detto *one-time pad*, per intendere che deve essere usato una sola volta giacché l’uso ripetuto delle chiavi mette a rischio tutto il complesso. Il sistema non è decrittabile con metodi statistici, poiché

ogni carattere in chiaro può essere rappresentato con la stessa probabilità da un qualunque carattere cifrato, e non esistono più modelli perché la scelta della chiave avviene in modo casuale.

Oltre a qualche aspetto particolare, spesso legato al messaggio corrente ed alla scelta dell'operatore, come ad esempio il punto nel quale interviene la chiave, il vero segreto è ormai racchiuso nel metodo di generazione della chiave.

Lo schema è il seguente:



Qui, k rappresenta la chiave e le operazioni di somma e sottrazione sulle cifre binarie del messaggio e della chiave sono proprio, almeno nella prima applicazione, le operazioni di somma e sottrazione *binarie*, le quali si eseguono nello stesso modo, con il vantaggio che il meccanismo per cifrare coincide con quello per decifrare:

\pm	0	1
0	0	1
1	1	0

Il sistema è sicuro. Ma la gestione dei libri delle chiavi, spesso ingombranti, che devono essere noti sia al trasmettitore che al ricevitore, i metodi della loro generazione e della loro diffusione, le particolarità legate alle scelte dell'operatore, la non ripetibilità delle chiavi ... tutto ciò rappresenta altrettanti punti critici che invitano a cercare nuove modalità per la sicurezza dei sistemi.

L'ostacolo della gestione dei libri delle chiavi si aggira spesso aumentando a dismisura la complessità dell' algoritmo cifrante, pur di riportare la chiave a una dimensione molto alta ma più facilmente gestibile. Così, nella seconda metà del Novecento, si ricorre in maniera massiccia a macchine da calcolo veloce sempre più potenti: ad esempio, lo *standard* normativo per la crittografia commerciale che l'amministrazione degli Stati Uniti fissa a partire dal 1977 allo scopo di evitare il proliferare incontrollato di sistemi cifranti incompatibili l'uno con l'altro – il Des, *Data Encryption Standard* – riposa su una chiave di 48 *bit* più 8 *bit* di controllo, gestibile solo da un grosso elaboratore.

La crittografia è diventata il dominio della 'forza bruta' – da calcolo naturalmente. E, com'era inevitabile, il Des viene decrittato nel 1998.

6. L'idea della chiave pubblica

I problemi precedenti vengono accresciuti di molto dagli usi moderni: basta pensare alla necessità che un *centro* debba rimanere in collegamento riservato con migliaia di utenti, come può accadere ad esempio nel caso di una banca e dei suoi clienti, intenzionati ad operare da casa o da uno sportello automatico. Il problema di distribuire a cia-

scuno una chiave particolare – da riconoscere nel momento opportuno – pone enormi problemi gestionali. Ora, l'idea è di mettere a disposizione di ogni utente una chiave personale, segreta, che lo identifica e che, solo a lui, permette di decifrare i messaggi che gli sono indirizzati. Gli enormi problemi di gestione e distribuzione delle chiavi del sistema *one-time pad* sono virtualmente scomparsi.

A questo scopo, occorre fare ricorso a nuovi principi, e tanto vale usare in maniera sistematica macchine da calcolo sofisticate e potenti. Questa è l'idea della *chiave pubblica*, in quanto opposta alla *chiave condivisa*, segreta, da sempre utilizzata nei cifrari. La chiave pubblica sarà nota a tutti, perché è utile per cifrare i messaggi... ma non per decifrarli. Sarà a conoscenza anche del famigerato intercettatore. La sicurezza di questi sistemi non dipende dalla complessità dell'algoritmo cifrante e non si misura dall'incertezza statistica, ma dalla scoperta e dall'uso di funzioni 'a trabocchetto'¹⁰, che sono funzioni invertibili – giacché devono servire sia per cifrare che per decifrare – facili da calcolare in una direzione ma estremamente difficili da calcolare in senso inverso¹¹... a meno che non sia nota qualche informazione supplementare. La cifratura del messaggio avviene con una di queste funzioni, la decifratura con la funzione inversa (che è nota solo a chi riceve il messaggio).

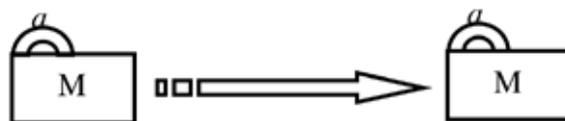
In questi casi si dice anche che il canale lungo il quale avviene la trasmissione è *asimmetrico*, per intendere che il messaggio può muoversi in una sola direzione, contrariamente alla simmetria implicita fra trasmettitore e ricevitore che si ha nel caso della chiave condivisa, posseduta da entrambi e usata sia per cifrare che per decifrare.

La sicurezza del sistema è ormai racchiusa in questa informazione supplementare, che sarà conservata in maniera segreta da chi intende ricevere messaggi riservati, in quanto permette a lui solo di costruire in maniera facile la chiave che inverte la funzione cifrante. In particolare, neppure il trasmettitore, che usa la funzione cifrante a trabocchetto indicatagli dal ricevitore, sarebbe in grado di decifrare il messaggio che ha mandato (ma peraltro non ne ha bisogno).

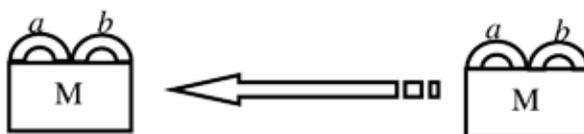
Fra le funzioni a trabocchetto che sono state escogitate, quella più nota – e utilizzata nel sistema RSA – si basa sulla difficoltà pratica nella scomposizione di un intero in fattori primi: se il numero dato ha molte cifre decimali, anche le tecniche più raffinate e i calcolatori più veloci risultano inefficaci. Una stima attendibile, che mette il tempo di fattorizzazione in dipendenza dal numero di cifre, è la seguente (anche se risalente a molti anni fa, risulta ancora molto indicativa):

n° cifre	tempo
20	24 min.
50	4 ore
100	74 anni
200	$4 \cdot 10^9$ anni
1000	$3 \cdot 10^{43}$ anni

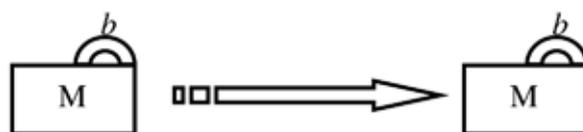
Un paradigma di come sia possibile che ciascuno sia in possesso della propria chiave, individuale, e tuttavia il sistema possa funzionare – nel senso di permettere una trasmissione sicura – si ottiene con il seguente schema:



Il messaggio M viene ‘chiuso’ in un recipiente mediante una chiave a e spedito al ricevitore R : durante il trasferimento è al sicuro, ma R non può entrarne in possesso perché non conosce la chiave. Allora, a sua volta, R applica una propria chiave b al recipiente e lo rispedisce al trasmettitore T :



A questo punto, neanche T è in grado di aprire il contenitore (ma non gli interessa, conosce già il contenuto). Però può togliere la propria chiave, rispedito e, questa volta, mettere in condizione R di aprire il contenitore:



Sono occorsi tre passaggi, però in ogni caso il messaggio è transitato ogni volta al sicuro dalle intercettazioni.

7. Aritmetica modulare

Il crittosistema RSA implementa le idee della chiave pubblica mediante alcuni teoremi elementari di teoria dei numeri. Ecco gli elementi fondamentali, i quali costituiscono la base della cosiddetta *aritmetica modulare*, la quale riguarda essenzialmente le operazioni aritmetiche, rese modulari rispetto ad un intero assoluto n .

Nella sua grande opera *Disquisitiones arithmeticae* del 1801, Carl Friedrich Gauss formalizza la nozione di *congruenza modulo n* :

Definizione. Due interi (relativi) a e b si dicono congruenti modulo n (intero assoluto) se la loro differenza è un multiplo intero di n .

Si scrive così: $a \equiv b \pmod{n} \Leftrightarrow a - b = kn$ con $k \in \mathbb{Z}$.

È facile vedere che due interi sono congruenti modulo n esattamente quando hanno lo stesso resto rispetto alla divisione per n . Inoltre, la relazione di congruenza modulo n è una relazione di equivalenza (vale a dire soddisfa le proprietà: riflessiva, simmetrica

e transitiva) dunque permette di suddividere l'insieme Z degli interi relativi in classi di equivalenza, rappresentate, ciascuna dal resto rispetto alla divisione per n . Con Z_n indichiamo l'insieme delle *classi di resti* modulo n :

$$Z_n = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$$

È chiaro che ogni intero relativo appartiene ad una ed una sola classe di resti.

L'aritmetica modulare è l'aritmetica dell'insieme numerico Z_n , possibile grazie al fatto che la relazione di congruenza è stabile rispetto alle operazioni di somma e prodotto. In altri termini, la relazione di congruenza condivide con l'uguaglianza le relazioni fondamentali:

$$\begin{cases} a \equiv b \\ c \equiv d \end{cases} \Rightarrow a+c \equiv b+d, \quad ac \equiv bd \pmod{n}$$

L'idea sottostante questa aritmetica è che, in molte considerazioni, quello che interessa non sono i numeri in sé, ma i loro resti della divisione per n . In Z_n si eseguono le operazioni aritmetiche modulo n (per la somma e il prodotto non ci sono difficoltà, per la divisione bisogna prestare qualche attenzione) e si dimostrano risultati teorici analoghi a quelli usuali. Il più immediato è il seguente:

Teorema. In Z_n l'equazione di primo grado $ax = 1$ ha un'unica soluzione se e solo se

$$\text{MCD}(a, n) = 1.$$

Così, per gli interi modulo n , ammettono inverso solo quelli che sono primi con n (vale a dire che non hanno divisori primi non banali in comune con n).

Meno immediato, ma di facile dimostrazione è il seguente risultato (noto come *piccolo teorema di Fermat*):¹²

Teorema. Se p è un numero primo che non divide a , allora $a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$.

In realtà, per implementare il metodo RSA, occorre una generalizzazione del piccolo teorema di Fermat, ottenuta un secolo dopo da Eulero e che utilizza una funzione particolare: la funzione *totiente* o funzione Φ di Eulero (1707-1783):

Definizione. $\Phi(n)$ è il numero di interi minori di n e primi con n .

I primi valori della Φ sono facili da calcolare:

$$\Phi(1) = 1, \Phi(2) = 1, \Phi(3) = 2, \Phi(4) = 2, \Phi(5) = 4, \Phi(6) = 2, \Phi(7) = 6, \dots$$

ma in generale il calcolo di $\Phi(n)$ ha la stessa complessità di calcolo della scomposizione di n in fattori primi. Infatti, è immediato calcolare $\Phi(p)$ quando p è un numero primo ($\Phi(p) = p-1$) ed è facile il calcolo di $\Phi(n)$ quando si conosce la scomposizione di n in fattori primi. Questo risulta dalla seguente proprietà di Φ di essere una *funzione moltiplicativa*.

Teorema. Se $\text{MCD}(m, n) = 1$, allora $\Phi(m \cdot n) = \Phi(m) \cdot \Phi(n)$.

Ecco ora la generalizzazione necessaria del piccolo teorema di Fermat:

Teorema (di Eulero-Fermat). Se $\text{MCD}(a, \Phi(n)) = 1$ allora $a^{\Phi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$.

Abbiamo ormai tutti gli elementi per introdurre il metodo RSA.

8. Il cifrario a chiave pubblica RSA

La chiave pubblica viene scelta da chi vuole ricevere messaggi riservati, diciamolo ancora R, e divulgata a tutti: è per l'appunto pubblica. A questo scopo, R sceglie e fa conoscere due numeri (e, n) in modo tale che e e $\Phi(n)$ siano primi fra di loro: $\text{MCD}(e, \Phi(n)) = 1$. Questa è l'unica informazione che comunica: (e, n) . Avrà avuto cura, per questioni di sicurezza, di scegliere n molto grande e in modo tale che per lui sia facile il calcolo di $\Phi(n)$: ad esempio scegliendo $n = p \cdot q$ prodotto di due numeri primi con molte cifre. In questo caso $\Phi(n) = (p-1) \cdot (q-1)$.

Poi, R calcola la propria chiave privata: quella che gli permetterà di decifrare i messaggi e che deve tenere rigorosamente segreta. Per ottenere questa chiave deve risolvere un'equazione in $Z_{\Phi(n)}$. Precisamente: $ex \equiv 1 \pmod{\Phi(n)}$. Si osservi che, per il primo teorema enunciato nel paragrafo precedente e per la maniera con cui R ha scelto la sua chiave pubblica (e, n) , si ha che questa congruenza ha un'unica soluzione in $Z_{\Phi(n)}$. Diciamo d questa soluzione: è la chiave privata di R la quale, per definizione, soddisfa la relazione $e \cdot d = k \cdot \Phi(n) + 1$ in relazione a qualche intero k .

Ora, il messaggio in chiaro m (un numero intero che supponiamo $< n$) che il trasmettitore T intende inviare in maniera cifrata a R verrà trasformato nel messaggio cifrato $c \equiv m^e \pmod{n}$. Si osservi che T usa esattamente l'informazione che ha ricevuto dalla chiave pubblica di R. E si consideri che, anche se n è un numero molto grande, questa operazione di cifratura non è per lui onerosa pur di avere a disposizione buoni strumenti di calcolo. Adesso il problema è il seguente: come può R ricostruire il messaggio in chiaro utilizzando la chiave privata d ? Basta che calcoli un'altra potenza: infatti un semplice conto, effettuato in Z_n , convince che $m \equiv c^d \pmod{n}$. Ecco il conto:

$$c^d \equiv (m^e)^d \equiv m^{ed} \equiv m^{k\Phi(n)+1} \equiv (m^{\Phi(n)})^k m \equiv m \pmod{n}$$

Perché $m^{\Phi(n)} \equiv 1$ per il teorema di Eulero-Fermat e quindi, per la stabilità della relazione di congruenza rispetto al prodotto, vale anche $(m^{\Phi(n)})^k \equiv 1 \pmod{n}$.

In questo modo R ricostruisce il messaggio in chiaro. E si capisce che è l'unico che può farlo, a meno che qualcun altro sia stato così abile da trovare la chiave privata d partendo dalla chiave pubblica (e, n) : ma sappiamo che per fare questo avrebbe dovuto scomporre n in fattori primi: e questa operazione è inaccessibile.

9. Firma digitale, autenticità del mittente, sorteggio

Il procedimento che porta alla firma digitale ribalta in un certo senso quello precedente. Chi vuole 'firmare' il proprio messaggio, sia ad esempio R, userà a questo scopo la propria chiave segreta d , ben sapendo che il destinatario, questa volta T, è a conoscenza della sua chiave pubblica (e, n) . Non è detto che il messaggio m (che supponiamo ancora un numero $< n$), sia da mantenere segreto. Allora, R in realtà spedisce una coppia di informazioni mod n , precisamente (m, m^d) : il messaggio, in chiaro, e la componente m^d , grazie alla quale T può sincerarsi che il mittente non può che essere R.

Infatti, con lo stesso calcolo appena fatto nel caso della sicurezza della trasmissione,

T ricava $m \equiv (m^d)^e \pmod{n}$. Si osservi che, rispetto alla pratica corrente di uso della firma, quella digitale è *contestuale*: la firma dipende anche dal documento che viene firmato.

Una variante di questo procedimento permette di operare in sicurezza a chi abbia una grande quantità di interlocutori che deve saper riconoscere. Sia B, ad esempio, un ente i cui interlocutori sono i *clienti* C_1, C_2, \dots, C_k (che possiamo pensare siano dei numeri che tengono il posto dei nomi). Allora, B sceglie come prima un intero n in maniera opportuna: ad esempio come prodotto $n = p \cdot q$ di due numeri primi molto grandi. Quindi genera una chiave pubblica e_i per ogni C_i (con la sola condizione che sia un numero primo con n : $\text{MCD}(n, e_i) = 1$). Risolvendo come si è visto in precedenza una congruenza di primo grado, genera inoltre la chiave privata d_i – che invia a C_i e della quale è bene che si disinteressi subito, per non lasciare traccia che possa collegare d_i all'interlocutore C_i .

A questo punto il messaggio di C_i può essere mandato in chiaro e firmato $C_i^{d_i} \pmod{n}$ affinché sia riconosciuto il mittente da parte di B.

Altro problema. Come è possibile effettuare un sorteggio a distanza? Questo significa che ciascuno dei due contendenti A e B deve avere le stesse probabilità di successo (50%) ed essere sicuro che non ci siano imbrogli da parte dell'altro.

In questo caso, ancora, una funzione a trabocchetto permette di avere successo. Un esempio: A sceglie un intero n come prodotto di h fattori primi: $n = p_1 p_2 \dots p_h$ e lo comunica a B, ma non gli comunica i fattori, né tantomeno quanti sono. Anzi gli chiede se n si può scomporre in un numero pari o in un numero dispari di fattori primi. Il problema è ben posto: è noto infatti che, per il cosiddetto *teorema fondamentale dell'aritmetica*, ogni intero ammette, a meno dell'ordine, una scomposizione *unica* in fattori primi.

Chiaramente B ha due possibilità di risposta, pari o dispari, ciascuna con le stesse probabilità di essere vera: vince il sorteggio se indovina la *parità* di n . È chiaro che B non può affidarsi al calcolo, che coinvolge ancora una fattorizzazione e quindi è computazionalmente inaccessibile. Allo stesso tempo, può controllare di non essere imbrogliato, in quanto dopo la risposta, A è tenuto ad esibire i fattori primi e, se loro prodotto fornisce proprio n , si ha la testimonianza che il sorteggio si è svolto correttamente.

10. Conclusione

Ormai la crittografia non si occupa più soltanto di spie e di generali, ma riguarda tutte le persone che svolgono ogni giorno operazioni a distanza che vogliono mantenere riservate: ad esempio transazioni on line o altre comunicazioni. La crittografia è uscita da un campo, importante ma limitato, che rimane solitamente al di fuori della consapevolezza delle persone. Oggi coinvolge problemi di grande interesse economico, sociale e politico, investe la libertà di espressione di ciascuno e pone problematiche nuove nel campo del diritto.

È presente così un complicato intreccio di applicazioni, nel quale risultano difficili da distinguere le componenti funzionali da quelle propriamente tecniche, gli aspetti operativi di carattere generale da quelli applicativi relativi ad un settore specifico, le valenze ideali da quelle pratiche. Oltretutto, la materia ha una evoluzione così rapida – al passo con le moderne tecniche di comunicazione e di elaborazione dell'informazione – che risulta sempre più difficile sciogliere il groviglio delle competenze e riuscire ad analizzarla in parti separate.

Tutto ciò si riflette, naturalmente, in campo scientifico. Attualmente, la crittografia è un potente settore di ricerca nel quale si intrecciano conoscenze diverse e dai profili irregolari: la teoria dei numeri, sicuramente, ma anche l'algebra astratta delle strutture, e poi argomenti sofisticati di complessità computazionale, statistica e probabilità, le tecniche più raffinate dell'informatica moderna, così come altri settori emergenti e dai contorni non ancora ben definiti e, proprio per questo, nella convinzione di chi scrive, più interessanti. Ma vengono alla mente anche due aspetti importanti che sembrano, ma non sono, ai margini delle considerazioni applicative e scientifiche. Da un parte il fatto che spesso i sistemi crittografici sono posti sotto controllo da parte di qualche autorità che ne decreta il possesso esclusivo, equiparandoli addirittura, talvolta, a strumenti bellici o di assoluta importanza strategica. E così, il campo militare, dal quale la crittografia sembra voler fuoriuscire, tenta di riprendere in molti casi il predominio della situazione. Dall'altra parte, senz'altro più soddisfacente per chi scrive, rimane la convinzione che, alla fine, il fattore umano riesce a prevalere sul mondo tecnico degli automatismi che in molti campi sembra dominarci. Rimane il ricordo che, nel corso della seconda guerra mondiale, un sistema crittografico particolare non è stato decrittato: il linguaggio naturale della tribù *navajo*, usato nella guerra del Pacifico.

NOTE

¹ Si vedano [4] e [11]. Sulla decrittazione della Geheim-Schreiber da parte della *Intelligence* svedese, si può vedere [2].

² Si tende a considerare ‘legittimo’ il comportamento di chi vuole comunicare in maniera riservata il proprio messaggio, e quindi a biasimare l’intercettatore. Ma non esiste, a questo riguardo, alcuna motivazione di carattere “morale” fra chi vuole trasmettere e chi intercetta: si tratta di una sfida a costruire sistemi sempre più sicuri da una parte ed a trovare la maniera di rendere leggibili tutti i messaggi dall’altra.

³ Pubblicato sui numeri di gennaio e febbraio del *Journal des Sciences Militaires* del 1883. Attualmente reperibile in rete: http://www.petitcolas.net/fabien/kerckhoffs/la_cryptographie_militaire_i.htm

⁴ La tabella è assolutamente indicativa. Ho arrotondato per semplicità tutti i valori.

⁵ Secondo Singh [15], il più antico documento conosciuto nel quale si parla esplicitamente di frequenze allo scopo di decifrare i testi risale ad al-Kindi, filosofo arabo del IX secolo.

⁶ È inutile ricordare come l’Alberti, architetto, matematico, poeta, filosofo e linguista, fosse un autentico ‘uomo del Rinascimento’. La descrizione del sistema cifrante è contenuta nella sua opera *De Cifris* del 1466.

⁷ Per la decrittazione di Enigma fu utilizzato in particolare un complesso elettromeccanico di calcolo, detto *Colossus*. Molti dei ricercatori che vi lavoravano, fra cui Turing, forse ispirati dal progetto, saranno poi all’origine della problematica della *Intelligenza artificiale*. Una descrizione esauriente del sistema Enigma e delle vicende che hanno portato alla sua decrittazione è contenuta, ad esempio, nel libro di Simon Singh [15] e nella biografia di Turing scritta da Alan Hodges [7].

⁸ Oltre a ciò, altre permutazioni dei cavi di collegamento, variate di tempo in tempo, ed altre scelte nell’assetto iniziale della macchina, a discrezione dell’operatore e quindi variabili in ciascun messaggio che veniva trasmesso, rendevano il numero delle possibili configurazioni altissimo ed impossibile da controllare anche con un sistema di calcolo automatico.

⁹ Uno dei primi accenni sistematici a un sistema crittografico polialfabetico è contenuto nella sua opera *De furtivis literarum notis, vulgo de ziferis* del 1563.

¹⁰ La terminologia di lingua inglese usa il termine funzioni *trapdoor*.

¹¹ Secondo le convenzioni stabilite dalla teoria della complessità computazionale, una funzione è facile da calcolare se esiste un algoritmo che impiega un numero di passi che è una funzione polinomiale delle dimensioni dell’*input*. Altrimenti è intrattabile.

¹² Pierre de Fermat, magistrato di professione, è considerato l’iniziatore della moderna “teoria dei numeri”. Più noto di questo è il *Grande teorema*, da lui enunciato ma dimostrato solo nel 1995 da Andrew Wiles.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bauer, F. L., *Decrypted secrets. Methods and maxims of cryptology*, Springer, Berlino 1997.
- [2] Beckman, B., *Codici cifrati (Arne Beurling e la crittografia nella II guerra mondiale)*, Springer Italia, Milano 2005 (ed. originale *Codebreakers: Arne Beurling and the Swedish crypto-program during World War II*, AMS, Providence RI 2002).
- [3] Berardi, L., Beutelspacher, A., *Crittologia*, Franco Angeli, Milano 1996.
- [4] Diffie, W., Hellman, M. E., New directions in cryptography, *IEEE Trans. Inf. Theory*, 22(6), 1976, pp. 644-654.
- [5] Ferragina, P., Luccio, F., *Crittografia. Principi, algoritmi, applicazioni*, Bollati Boringhieri, Torino 2001.
- [6] Giustozzi, C., Monti, A., Zimuel, E., *Segreti, spie, codici cifrati*, Apogeo, Milano 1999.
- [7] Hodges, A., *Storia di un enigma: vita di Alan Turing*, Bollati Boringhieri, Torino 1991 (ed. originale *Enigma*, Simon and Schuster, New York 1983).
- [8] Koblitz, N., *A course in number theory and cryptography*, Springer, New York 1987.
- [9] Leonesi, S., Toffalori, C., *Numeri e crittografia*, Springer Italia, Milano 2006.
- [10] Pomerance, C. (a cura di), *Cryptology and computational number theory*, AMS, Providence RI 1990.
- [11] Rivest, R., Shamir, A., Adleman, L., A method for obtaining digital signatures and public key cryptosystems, *Comm. ACM*, 1978, pp. 120-126.
- [12] Salomaa, A., *Public-key cryptography*, Springer, Berlin 1990.
- [13] Sgarro, A., *Crittografia*, Muzzio, Padova 1985.
- [14] Shannon, C., Communication theory of secrecy systems, *Bell Systems Techn. J.*, 28(4), 1949, pp. 656-715.
- [15] Singh, S., *Codici e segreti*, Rizzoli, Milano 1997 (ed. originale *The code Book*, Doubleday, New York 1999).

DA PITAGORA A KNUTH*

GIUSEPPE PIRILLO

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Unità di Firenze

Dipartimento di Matematica Ulisse Dini

Università de Marne-la-Vallée

Si dicono grandezze commensurabili quelle che sono misurate da una stessa misura, ed incommensurabili quelle di cui non può esistere nessuna misura comune.

Euclide (*Elementi, Libro X*)

1. Introduzione

In questo articolo cercheremo di sottolineare il rapporto, molto stretto, esistente fra alcuni risultati classici della Scuola pitagorica ed alcuni argomenti oggi studiati dagli informatici ed in particolare da Donald E. Knuth. Da diversi anni suggeriamo che i numeri irrazionali, trattati sia in modo classico sia con il linguaggio dell'odierna informatica teorica, debbano trovare un posto adeguato nei programmi di matematica della scuola secondaria italiana.

Siamo convinti che il linguaggio moderno dell'informatica teorica (e delle parole Sturmiane in particolare) possa fornire agli studenti dei licei uno strumento in più per apprendere con chiarezza le idee di numero razionale e di numero irrazionale. Gli studenti avrebbero a disposizione anche immagini molto efficaci per distinguere fra concetti delicati. A questo proposito, ad esempio, il legame tra la razionalità di un numero e la periodicità della sua *rappresentazione sturmiana* è molto interessante ed è da sottolineare.

Pitagora è un personaggio del quale praticamente non si sa nulla. Al contrario, l'esistenza della Scuola pitagorica (nel seguito, per brevità, scriveremo semplicemente Scuola), attiva a Crotona (nell'odierna Calabria) dal VI al IV secolo a.C., è sufficientemente documentata.

Possiamo considerare fondate le seguenti affermazioni, condivise da molti studiosi di storia della matematica e della filosofia:

- il livello scientifico raggiunto dalla Scuola era molto più elevato di quello delle scuole precedenti;
- la Scuola, legata al partito aristocratico, ebbe una notevole influenza nella vita politica della città di Crotona;
- la Scuola era organizzata in modo molto rigoroso e prevedeva lunghi periodi di studio;

* Il presente articolo è solo una prima schematica stesura di uno più ampio al quale stiamo lavorando. Lezione tenuta a Empoli nell'ambito dell'edizione 2008 di *Pianeta Galileo* e a Montevarchi nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

- nella Scuola esisteva una netta divisione fra *acusmatici*, cioè uditori (ascoltatori), e *matematici*, cioè partecipi degli insegnamenti più profondi;
- nella Scuola erano ammesse anche le donne.

Nella Scuola era profondamente radicata l'idea della matematica come strumento indispensabile per l'indagine del mondo reale. Fortunatamente, questa idea, pur avendo più volte rischiato di essere completamente abbandonata, in realtà è spesso ricomparsa potenziata. A questo proposito, non possiamo non ricordare la celebre frase di Galileo (*Il Saggiatore*, cap. VI):

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'Universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente in un oscuro laberinto.

Donald E. Knuth, Professore Emerito presso la Stanford University, è autore di numerosi libri, fra i quali il famosissimo *The art of computer programming*. Ha scritto insieme con Ronald L. Graham ed Oren Patashnik *Concrete mathematics*. Ci piace ricordare anche *3:16 Bible texts illuminated*, un libro che suggerisce una lettura singolare ma interessantissima della Bibbia e che ci presenta un uomo di scienza che ha il dono della fede.

È membro di numerose Accademie e ha ricevuto moltissimi premi e medaglie. Si può tranquillamente parlare di gara fra Università per conferirgli una *laurea honoris causa*. In rappresentanza dell'Università di Firenze, abbiamo avuto l'onore e il privilegio di far parte della commissione che ha consegnato il *dottorato honoris causa* a Donald E. Knuth presso l'Université de Marne-la-Vallée. Il ricordo di quella bellissima giornata ha il potere di suscitare in noi una profonda emozione ancora oggi!

The art of computer programming è un libro famosissimo, sebbene ancora... incompiuto, nel quale Knuth presenta in modo organico praticamente tutto ciò che è noto nello sterminato dominio dei metodi informatici.

Knuth è il 'padre' dell'*analisi degli algoritmi*, ha introdotto diversi nuovi corsi universitari e ha diretto la tesi di dottorato di numerosissimi *excellent students*.

Per quel che riguarda il suo lavoro di programmatore, ci limitiamo solo a ricordare TeX, che ha milioni di utenti, soprattutto matematici, in tutto il mondo¹.

2. Incommensurabilità

I due seguenti enunciati sono ben noti, ma sempre più raramente sono oggetto di insegnamento nella nostra scuola secondaria (e spesso sono ignorati anche nell'insegnamento universitario):

Proposizione 1. Lato e diagonale del quadrato sono incommensurabili.

Proposizione 2. Lato e diagonale del pentagono regolare sono incommensurabili.

L'attribuzione dei due precedenti teoremi alla Scuola non è però accettata da tutti. La letteratura è vastissima. Si vedano, ad esempio, Acerbi [1], Boyer [2], Citrini [3], Geymonat [6], Russo [11], von Fritz [12] e Zellini [13-14].

Sia Φ il rapporto fra diagonale e lato del pentagono regolare. Possiamo supporre che la Scuola avesse notato la relazione $\Phi = 1 + 1/\Phi$. Possiamo ritenere anche che i Pitagorici avessero dimostrato alcuni elementari risultati di aritmetica riguardanti la somma e il prodotto di due interi (per esempio, «la somma di due numeri dispari è pari e il prodotto di due numeri dispari è dispari»). Sulla base di questi presupposti, riteniamo che la Scuola avrebbe potuto fornire la seguente dimostrazione dell'irrazionalità di Φ .

Supponiamo, per assurdo, che Φ sia il rapporto fra due interi, cioè che sia $\Phi = \frac{a}{b}$ con $a > b > 0$ ed a e b interi. Si può facilmente escludere il caso che a e b siano entrambi pari. Restano il caso a e b dispari e il caso a e b con parità diversa.

Si ha comunque $\frac{a}{b} = 1 + \frac{b}{a}$ e quindi $a^2 - b^2 = ab$.

Caso a e b dispari. Si ha che $a^2 - b^2$ è pari mentre ab è dispari. Contraddizione.

Caso a e b con parità diverse. Si ha che $a^2 - b^2$ è dispari mentre ab è pari. Contraddizione.

Dunque Φ non è della forma $\frac{a}{b}$ con a e b interi ed è pertanto un numero irrazionale (o, se si preferisce, lato e diagonale del pentagono regolare sono incommensurabili).

3. Il metodo sturmiano

Questo metodo, che cercheremo di chiarire qui di seguito, è molto utile e, a nostro parere, è il più adatto per presentare oggi agli studenti di liceo i numeri reali.

Per chiarezza espositiva, cominciamo con due esempi relativi alle rette $y = \frac{3}{2}x$ e $y = \Phi x$ dove $\Phi = \frac{\sqrt{5}+1}{2}$.

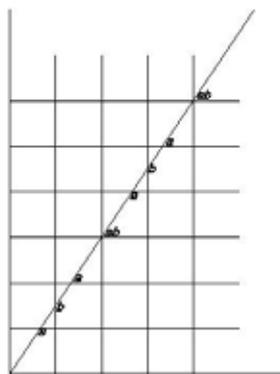


Figura 1.

Caso $y = \frac{3}{2}x$. Si scelga il punto P di coordinate $(1, \frac{3}{2})$, che è nel primo quadrante e sulla retta $x=1$. La retta $y = \frac{3}{2}x$ passa da O e anche da P .

Si osservi la Figura 1 nella quale, oltre alla retta $y = \frac{3}{2}x$, sono disegnate alcune rette orizzontali di equazione $y=b$ con b intero e alcune rette verticali di equazione $x=k$ con

k intero. Si immagini un osservatore che parta *poco dopo* l'origine e, sempre restando sulla retta $y = \frac{3}{2}x$, proceda verso l'infinito prendendo accuratamente nota, come indicato in Figura 1, della successione delle rette orizzontali (l'osservatore scrive a) e verticali (l'osservatore scrive b) che via via incontra. Chiaramente la retta $y = \frac{3}{2}x$ passa anche per il punto $(2,3)$. Questo punto non è l'unico a coordinate intere, diverso dall'origine, per il quale passa $y = \frac{3}{2}x$. Infatti gli infiniti punti $(2n, 3n)$, $n \geq 1$, appartengono tutti a $y = \frac{3}{2}x$. La parola scritta dall'osservatore *alla fine* del suo viaggio è una *parola infinita periodica* o, più precisamente, una *parola sturmiana periodica*. Infatti la retta $y = \frac{3}{2}x$ attraversa infiniti rettangoli tutti uguali a quello delimitato dai vertici $(0,0)$, $(2,0)$, $(2,3)$, $(0,3)$ e ciò che annota l'osservatore in ciascuno di questi infiniti rettangoli è sempre la stessa parola finita che pertanto verrà ripetuta infinite volte. C'è una precisazione da fare. Per i primi tre punti di intersezione la scelta fra a e b non pone alcun problema. Ma cosa deve scrivere l'osservatore quando si trova nel punto $(2,3)$? Dal momento che sta attraversando nello stesso istante sia una retta orizzontale ($y=2$) sia una retta verticale ($x=3$) deve scrivere certamente una parola di due lettere. Ma quale deve scegliere, ab oppure ba ? Se sceglie ab dovrà nel seguito coerentemente continuare a scegliere ab in tutti gli infiniti punti $(2n, 3n)$ che incontrerà in seguito. Ugualmente dovrà continuare a scegliere nel seguito sempre ba in tutti gli infiniti punti $(2n, 3n)$ se questa è stata la sua scelta nel punto $(2,3)$. Il nostro osservatore scriverà $abaxy.abaxy.abaxy\dots$, cioè infinite volte $abaxy$ dove xy è ab oppure ba . In altri termini il nostro osservatore scriverà $abaab.abaaab\dots$ oppure $ababa.ababa.ababa\dots$ ².

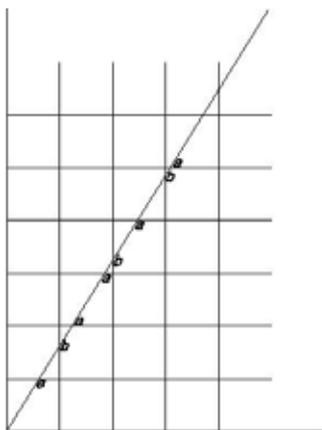


Figura 2.

Caso $y = \Phi x$. Si scelga ora il punto P di coordinate $(1, \Phi)$ che è nel primo quadrante e sulla retta $x=1$. Si veda la Figura 2. La retta $y = \Phi x$ passa da O e anche da P . Si immagini ancora un osservatore che parta poco dopo l'origine e, sempre restando sulla retta $y = \Phi x$, proceda verso l'infinito prendendo accuratamente nota, come nel caso precedente,

della successione delle rette orizzontali (l'osservatore scrive a) e verticali (l'osservatore scrive b) che via via incontra. Chiaramente $y = \Phi x$ non passa per altri punti a coordinate intere diversi dall'origine (questa affermazione è una conseguenza dell'irrazionalità di Φ , già dimostrata). La parola, diciamo f , scritta dall'osservatore alla fine del suo viaggio è una parola che non è più periodica. Infatti è una parola sturmiana propria con una struttura più complessa di quella delle parole periodiche. Il nostro osservatore scriverà $abaababaabaab\dots$, e più precisamente, scriverà la parola di Fibonacci f che vedremo fra poco presentata in modo diverso.

Così come abbiamo fatto nei casi particolari del numero razionale $\frac{3}{2}$ e del numero irrazionale Φ , possiamo associare a ogni numero reale α una parola sturmiana (periodica o propria).

Più precisamente ai punti $(1, \alpha)$ con α razionale corrisponde una parola sturmiana periodica, cioè una parola infinita del tipo $wabwabwab\dots$ mentre ai punti $(1, \alpha)$ con α irrazionale corrisponde una parola sturmiana propria (la parola di Fibonacci è l'esempio più conosciuto).

Le parole sturmiane sono, dunque, particolari rappresentazioni di un numero reale. I numeri razionali hanno una rappresentazione periodica, i numeri irrazionali hanno una rappresentazione aperiodica. Queste due rappresentazioni (così diverse!) insieme con le immagini delle *cutting sequence* possono aiutare lo studente a 'vedere' la differenza tra *razionale* ed *irrazionale*.

Segnaliamo infine Prodi [10] che contiene un interessante esercizio che è in stretta relazione con la nozione di parola sturmiana propria.

4. I numeri di Fibonacci

Nel *Liber abaci*, Fibonacci (Leonardo Pisano, detto anche Bigollo) proponeva, insieme con problemi utili per le attività di un mercante medioevale, anche una serie di esercizi aventi carattere più teorico o ricreativo. Uno di questi, introdotto dalla famosa domanda «Quante coppie di conigli saranno generati in un anno [a partire] da una sola...», conduce alla successione F_n dei numeri di Fibonacci $1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377\dots$.

L'importanza della successione F_n è enorme in matematica e, in particolare, in informatica teorica. Ricordiamo, per esempio, che il limite per n che tende all'infinito del rapporto fra F_{n+1} ed F_n è esattamente Φ .

5. La parola infinita di Fibonacci

È studiata in *The art of computer programming* [4] e in [5]. Consideriamo un *alfabeto* di due sole lettere $\{a, b\}$ e chiamiamo *parole* le sequenze (finite) di elementi di $\{a, b\}$. Abbiamo già visto la parola di Fibonacci come caso particolare di parola sturmiana propria. Vediamo ora altri due modi di definirla.

Le *parole finite* di Fibonacci si ottengono partendo da a e da ab . Un nuovo elemento è il prodotto dell'ultima e della penultima parola già ottenuta. Più esplicitamente si hanno le seguenti uguaglianze:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= a \\
 f_2 &= ab \\
 f_3 &= aba \\
 f_4 &= abaab \\
 f_5 &= abaababa \\
 f_6 &= abaababaabaab,
 \end{aligned}$$

...

Formalmente, in analogia con i numeri, si ha

$$f_{n+2} = f_{n+1} f_n.$$

La *parola infinita* di Fibonacci f , cioè il limite delle parole finite di Fibonacci f_n , $n \geq 1$, è

$$f = abaababaabaababaabaababaabaababaabaababa...$$

Possiamo anche procedere sostituendo la a con ab e la b con a . Se iniziamo con $f_1 = a$, al passo successivo otteniamo $f_2 = ab$, poi $f_3 = aba$ e così via e, infine, passando al limite otteniamo sempre la parola infinita di Fibonacci già vista.

Notiamo che, per ogni intero n , la lunghezza di f_n è l' n -simo elemento F_n della successione dei numeri di Fibonacci $1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, \dots$.

Per ogni $n \geq 3$, denotiamo con g_n il prodotto $f_{n-2} f_{n-1}$ e denotiamo con h_n il più lungo fattore sinistro comune ad f_n ed a g_n . In particolare, abbiamo:

$$\begin{aligned}
 g_3 &= aab \\
 g_4 &= ababa \\
 g_5 &= abaabaab,
 \end{aligned}$$

...

e

$$\begin{aligned}
 h_3 &= a \\
 h_4 &= aba \\
 h_5 &= abaaba,
 \end{aligned}$$

...

Siano $w_1, w_2, \dots, w_{n-1}, w_n$ lettere e sia w la parola $w_1 w_2 \dots w_{n-1} w_n$. La parola $w_n w_{n-1} \dots w_2 w_1$ è detta *immagine speculare* di w . Una parola che coincida con la sua immagine speculare è una parola *palindroma*.

La seguente *near commutative property* è dovuta a Knuth. In generale, il prodotto di due parole non è commutativo. Per esempio, i due possibili prodotti di a e di b (cioè ab e ba) sono diversi e i due possibili prodotti di a e di ab (cioè aab e aba) sono diversi

mentre i due possibili prodotti di ab e di $abab$ coincidono (infatti sono entrambi $abab$). Le parole finite di Fibonacci forniscono un interessante esempio di parole che *quasi commutano* nel senso che stiamo per precisare.

6. Near commutative property

Per ogni $n \geq 1$, le parole f_n ed f_{n+1} quasi commutano nel senso che i loro due possibili prodotti $f_{n+2} = f_{n+1}f_n$ e $g_{n+2} = f_n f_{n+1}$ hanno h_{n+2} di lunghezza $F_{n+2}-2$, come prefisso comune e terminano l'uno con ab e l'altro con ba .

È utile soffermarsi sui casi particolari di f_3 e g_3 , di f_4 e g_4 , prima di fare la dimostrazione (facile) nel caso generale.

La parola infinita di Fibonacci ha moltissime altre proprietà che, come la *near commutative property*, possono essere spiegate in modo elementare. Per esempio: h_n è una parola palindroma; h_n è un prefisso (e anche un suffisso) comune a tutte le parole h_m tali che $m \geq n$; se in f troviamo un fattore u allora troviamo in f anche l'immagine speculare di u e, infine, la parola di Fibonacci è ricorrente (ciò significa che ogni fattore di f ha infinite occorrenze in f).

Il professore che abbia accuratamente presentato in classe la *near commutative property* può altrettanto accuratamente spiegare l'importanza che questa proprietà ha per l'algoritmo di Knuth, Morris e Pratt [5] di ricerca di una parola data in un testo dato. Sarebbe una buona occasione per chiarire concretamente i concetti di algoritmo e di efficienza di un algoritmo.

7. Brevissima annotazione sui codici

Riportiamo la consueta definizione di codice: «Sia A un alfabeto. Un insieme di parole non vuote X su A è un codice se per ogni $n, m \geq 1$ e per ogni $x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m$ in X la condizione $x_1 \dots x_n = y_1 \dots y_m$ implica $n=m$ e, per ogni i in $\{1, \dots, n\}$, $x_i = y_i$ ».

Questa nozione può essere ben spiegata a studenti di liceo. Inoltre, l'esigenza, che spesso si ha, di trasmettere messaggi in modo discreto costituisce, specialmente per gli adolescenti, un'ottima motivazione per apprendere una delle nozioni fondamentali dell'informatica teorica.

Alcune relazioni tra parola di Fibonacci e teoria dei codici sono presentate in [9].

8. Nuove coppie di segmenti incommensurabili

Introduciamo le seguenti definizioni:

- diciamo diagonali *medie* di un ottagono regolare quelle che lo dividono in un trapezio e in un esagono;
- diciamo diagonali *corte* di un decagono regolare quelle che lo dividono in un trapezio e in un ottagono;
- diciamo diagonali *corte* di un dodecagono regolare quelle che lo dividono in un trapezio e in un decagono;
- diciamo diagonali *lunghe* di un dodecagono regolare quelle che lo dividono in

un esagono e in un ottagono.

Le intersezioni delle diagonali medie di un ottagono individuano i vertici di un altro ottagono (Figura 3) che diremo *generato* dalle diagonali medie. Analogamente per il decagono regolare (Figura 4) costruiamo un decagono regolare generato dalle sue diagonali corte e per il dodecagono regolare costruiamo un dodecagono regolare generato dalle sue diagonali corte (Figura 5) e un dodecagono regolare generato dalle sue diagonali lunghe (Figura 6).

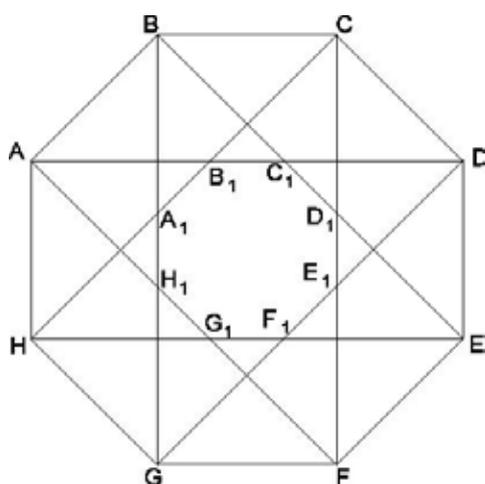


Figura 3.

Proposizione 3. «Sia Ot un ottagono regolare e sia Ot' l'ottagono che si ottiene tracciando le sue diagonali medie. Allora i lati di Ot e di Ot' sono incommensurabili»

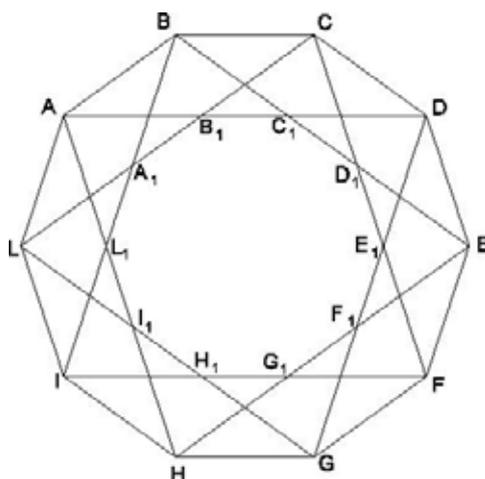


Figura 4.

Proposizione 4. «Sia De un decagono regolare e sia De' il decagono che si ottiene tracciando le sue diagonali corte. Allora i lati di De e di De' sono incommensurabili»

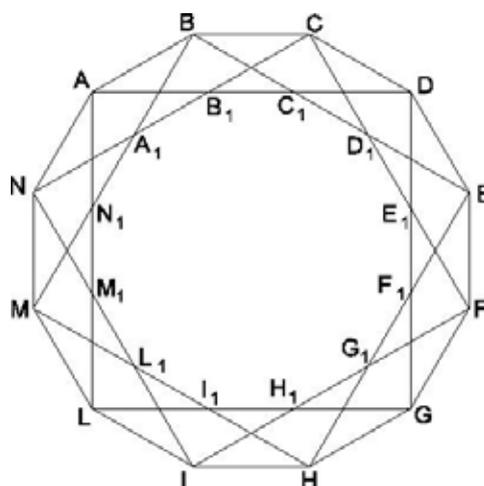


Figura 5.

Proposizione 5. «Sia Do un dodecagono regolare e sia Do' il dodecagono che si ottiene tracciando le sue diagonali corte. Allora i lati di Do e di Do' sono incommensurabili»

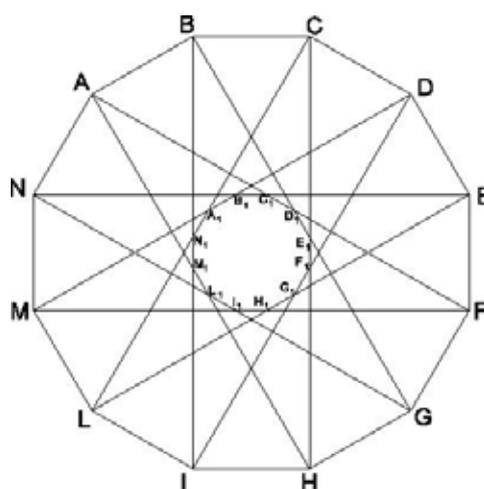


Figura 6.

Proposizione 6. «Sia Do un dodecagono regolare e sia Do' il dodecagono che si ottiene tracciando le sue diagonali lunghe. Allora i lati di Do e di Do' sono incommensurabili»

Le *Proposizioni* 3, 4, 5 e 6 sono dimostrate in [7].

Anche in questa breve versione preliminare non può mancare un riferimento alle *frazioni continue*. Questo tema e quello delle *equazioni diofantee* saranno più adeguatamente sviluppati nella versione definitiva.

9. Frazioni continue

In generale una *frazione continua aritmetica* o, semplicemente, *frazione continua* è un'espressione del tipo

$$a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \frac{1}{a_4 + \dots}}}}$$

che possiamo anche scrivere $[a_0; a_1, a_2, a_3, \dots]$.

In [8] abbiamo visto che l'argomento che conduce alla dimostrazione dell'incommensurabilità di BC e B_1C_1 (Figura 3) è anche utile per trovare lo sviluppo in frazione continua di $\sqrt{2}$. I rapporti fra numeri consecutivi di Fibonacci forniscono approssimazioni di Φ . Più precisamente, al crescere dei valori di n il rapporto tra F_{n+1} ed F_n approssima sempre meglio Φ che in frazioni continue è $[1; 1, 1, 1, \dots]$.

NOTE

¹ Questo articolo... era scritto in TeX.

² La necessità di essere coerenti nella scelta di ab o ba nei punti a coordinate intere può essere spiegata... con un piccolo spostamento della retta $y = \frac{3}{2}x$ verso il basso (ba) o verso l'alto (ab)!

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Dipartimento di Matematica Ulisse Dini per la generosa ospitalità che mi concede.
Ringrazio J. Justin per le utilissime conversazioni.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Acerbi, F., *Euclide (Tutte le Opere)*, Bompiani, Milano 2008.
- [2] Boyer, C.B., *A history of mathematics*, Wiley and Sons, New York 1968.
- [3] Citrini, C., *Da Pitagora a Borges (Discussioni in rete sull'infinito)*, Bruno Mondadori, Milano 2004.
- [4] Knuth, D.E., *The art of computer programming*, Addison-Wesley, Reading Massachusetts 1968.
- [5] Knuth, D.E., Morris, J.H., Pratt, V.R., Fast pattern matching in strings, *SIAM J. Comput.*, 6, 1977, pp. 323-350.
- [6] Geymonat, L., *Storia del pensiero filosofico e scientifico, Volume Primo, L'antichità - Il Medioevo*, Garzanti Editore, Milano 1970.
- [7] Pirillo, G., Numeri irrazionali e segmenti incommensurabili, *Nuova Secondaria*, 7, 2005, pp. 97-103.
- [8] Pirillo, G., Sulla frazione continua di $\sqrt{2}$, *Archimede*, 4, 2005, pp. 197-198.
- [9] Pirillo, G., Some factorizations of the Fibonacci word, *Algebra Colloq.*, 6, 1999, 4, pp. 361-368.
- [10] Prodi, G., Spunti didattici tratti dalla geometria dei numeri, Atti del Quindicesimo Convegno sull'insegnamento della matematica, *Notiziario Unione Matematica Italiana*, Supplemento n. 5, Maggio 1993.
- [11] Russo, L., *La rivoluzione dimenticata*, Feltrinelli, Milano 2001.
- [12] Von Fritz, K., The discovery of incommensurability by Hippasus of Metapontum, *Ann. of Math.*, 46 (n. 2), 1945, pp. 242-264.
- [13] Zellini, P., *Breve storia dell'infinito*, Adelphi, Milano 1993.
- [14] Zellini, P., *Gnomon*, Adelphi, Milano 1999.

LA MATEMATICA DEI VIDEOGIOCHI*

MARCO FRANCIOSI

Dipartimento di Matematica Applicata, Università di Pisa

1. Introduzione

Il mondo contemporaneo è cambiato negli ultimi venti anni con una rapidità che non ha eguali nella storia dell'umanità. I telefoni cellulari, i computer, Internet hanno cambiato il nostro modo di comunicare, di conoscere e di percepire tutto ciò che ci circonda. Le nuove tecnologie si evolvono giorno per giorno e nuovi scenari si presentano per le generazioni future. Per i giovani è sempre più importante riuscire a gestire i nuovi dispositivi e le nuove tecniche in modo attivo e non passivo, magari con l'idea di recitare un ruolo non marginale nel nuovo millennio. In particolare è di fondamentale importanza riuscire a raccogliere la sfida globale che nasce quotidianamente dalla scoperta e dallo sviluppo di nuovi strumenti tecnologici. Si sostituiscono nuove figure professionali alle vecchie e si vengono a creare spazi per nuovi tipi di lavoro, che spesso risultano essere interessanti e stimolanti. Essere pronti e preparati a inserirsi nei nuovi contesti è una scelta cardine per affrontare il futuro. Secondo molti esperti di economia un modo per affrontare la crisi economica consiste proprio nell'investire in programmi di ricerca e di sviluppo, creando nuovi posti di lavoro e con l'autentico auspicio di risolvere alcune delle questioni cardine della società contemporanea.

2. Videogiochi: non solo un gioco da ragazzi

Un'opportunità di sviluppo viene dal mondo dei videogiochi. Poter lavorare nell'industria dei videogame non è un'eventualità così remota. Lavorare allo sviluppo di un nuovo software interattivo richiede competenze specifiche, ma anche fantasia e capacità comunicativa e può essere ricco di grandi soddisfazioni.

Dal punto di vista economico vale la pena sottolineare che, a partire dal 2002, il fatturato dell'industria americana di videogame ha superato il fatturato dell'industria cinematografica. Inoltre la crescita annua delle vendite di videogiochi negli ultimi anni è stata superiore al 30%. Per quantificare l'entità del giro economico, si noti che il fatturato previsto negli USA nel 2009 è di 57 miliardi di dollari, mentre in Giappone la Nintendo è seconda solamente alla Toyota! È quindi un mercato in forte espansione che promette nuove e interessante possibilità di lavoro. Attualmente vi è infatti una carenza mondiale di sviluppatori; i paesi anglosassoni e il Giappone stanno

* Lezione tenuta a Volterra il 25 novembre 2009 presso l'Istituto Giosuè Carducci, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

organizzando scuole specializzate per far fronte all'esigenza di queste nuove figure professionali.

È inoltre interessante osservare che i costi per le case produttrici sono in una buona parte dedicati alla pubblicità dei loro prodotti e per il resto investiti in ricerca e sviluppo. La percentuale di guadagno per gli sviluppatori di software è mediamente del 20%. Infine una nota di carattere sociale: la figura del genio informatico chiuso nella cantina di casa che crea software geniali ormai è obsoleta. In California nella seconda metà degli anni Novanta gli sviluppatori di videogiochi si sono organizzati in un sindacato e hanno cominciato a rivendicare i loro diritti riuscendo ad ottenere uno stipendio minimo di 75.000 dollari annui (lordi). In conclusione lo sviluppatore di videogiochi è a mio giudizio un interessante lavoro ed un'importante opportunità.

3. Grafica di un videogioco

Nella realizzazione di un videogioco sono fondamentali i seguenti elementi.

- Storia: trama, dinamica degli eventi;
- Grafica dell'ambiente: paesaggio, architettura, ecc.;
- Grafica dei personaggi: espressività, verosimiglianza e rapidità di adattamento ai cambiamenti (comandi del giocatore, punti di vista, ecc.).

In effetti, in molte riviste e in molti siti specializzati i videogiochi vengono giudicati con punteggi diversi per la storia e per la grafica e quest'ultima viene analizzata in ogni dettaglio. La realizzazione grafica dei personaggi e dell'ambiente assume un ruolo fondamentale per rendere gradevole il gioco. Per un matematico queste problematiche sono interessanti e gratificanti. Infatti tutte le soluzioni ai problemi legati alla grafica si basano su teorie matematiche e fisiche (più o meno classiche), quali ad esempio la prospettiva, l'interpolazione polinomiale, la fluidodinamica, la cinematica. In questo contesto, la geometria e l'algebra hanno un ruolo fondamentale per poter realizzare i software necessari.





Figura 1. *Acqua e fuoco.*

Tra le questioni che non sono state ancora completamente risolte e che sono oggetto di studio e di sperimentazione vale la pena citare le problematiche relative alla realizzazione dell'acqua e del fuoco (fig. 1), della dinamica dei materiali (ad esempio un muro che crolla, fig. 2) e soprattutto delle facce umane.

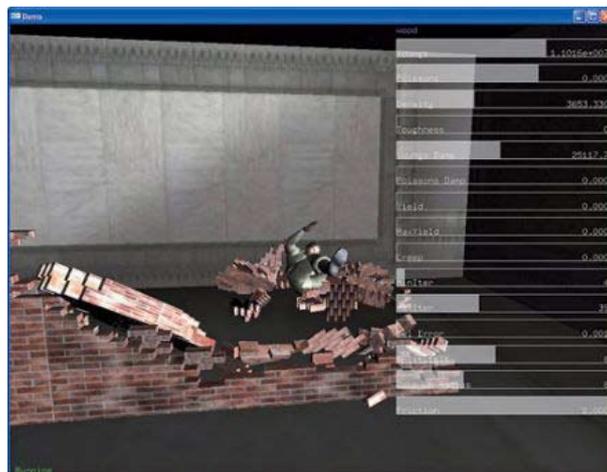


Figura 2. *Dinamica dei materiali e facce umane.*

Per affrontare problemi di questo tipo non è sufficiente fare affidamento su computer sempre più potenti. Le nuove capacità di calcolo devono essere sfruttate ad esempio per migliorare la realizzazione degli ambienti e la velocità dei movimenti dei personaggi. Occorre introdurre concetti matematici e sviluppare nuovi modi di fare i calcoli. Lo

schermo è fatto di pixel, ovvero è suddiviso in piccolissimi quadratini. Per una rappresentazione efficace non si può imporre al computer di tener conto di ciascun singolo pixel, separatamente dagli altri. È necessario introdurre equazioni capaci di legare i vari pixel e di adattarsi ai cambiamenti. Ad esempio, se si cambia il punto di vista il paesaggio deve cambiare immediatamente. Analogamente il protagonista del gioco deve essere in grado di rispondere rapidamente agli stimoli del giocatore.

Le teorie fondamentali, capaci di creare i presupposti per un'efficace realizzazione grafica, sono, a mio avviso, l'*interpolazione polinomiale* e la *geometria proiettiva*.

4. Interpolazione polinomiale

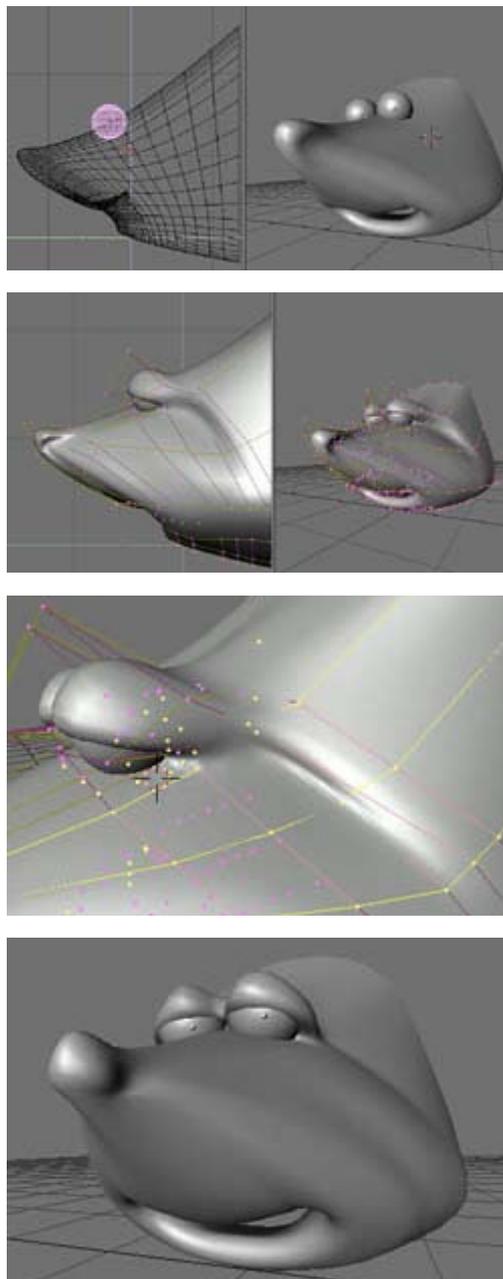


Figura 3. Costruzione di un personaggio tridimensionale.

L'interpolazione polinomiale è un metodo per disegnare curve o superfici (che corrispondono a equazioni polinomiali) capaci di approssimare una determinata forma, passando per un certo numero di punti predeterminati. Il loro utilizzo permette al computer di memorizzare solamente le equazioni date e con velocissimi calcoli realizzare le curve o le superfici necessarie per costruire l'immagine con una precisione che può essere cambiata di volta in volta.

Nelle figure 3 e 4 sono illustrate due applicazioni della teoria delle superfici interpolanti. Nel primo esempio si mostra come costruire un personaggio tridimensionale partendo da un certo numero di punti (detti punti di controllo) e di figure semplici (quali la sfera). Il computer riesce a costruire la superficie richiesta partendo da una semplice griglia. Per modificare la superficie si muovono semplicemente i punti colorati. Nel secondo esempio si mostra come utilizzare queste tecniche per progettare aeromobili. Il particolare mostrato illustra come incollare l'ala dell'aereo alla fusoliera secondo condizioni di "continuità" e "liscezza" necessarie per garantirne la stabilità in volo.

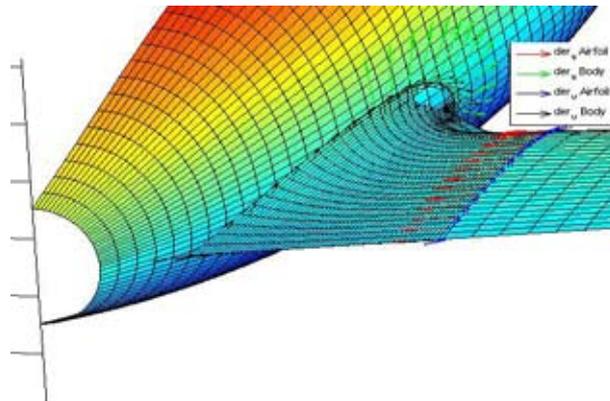


Figura 4. Particolare di un progetto di aeromobile.

Le idee matematiche che stanno alla base di questa teoria sono semplici e possono essere facilmente comprese dagli studenti delle scuole superiori. Il vantaggio nell'utilizzo dei polinomi risiede nella relativa facilità con cui il computer esegue i calcoli necessari nel loro utilizzo.

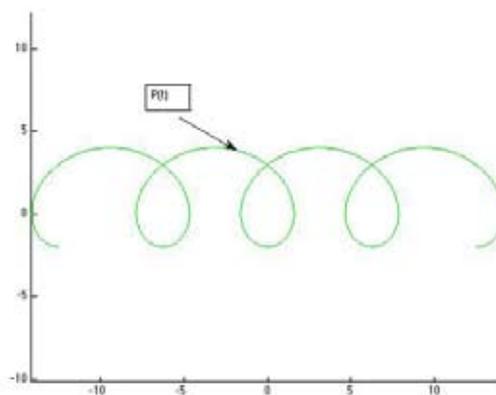


Figura 5. Parametrizzazione di una curva chiamata cicloide.

Il punto di partenza per poter sviluppare tali idee si basa sulla nozione fondamentale di *parametrizzazione*. Parametrizzare una curva significa descriverla mediante l'utilizzo di un parametro esterno. Ad esempio se si considera il percorso di una nave che si muove da un porto all'altro, la traiettoria percorsa può essere descritta mediante l'utilizzo del parametro tempo t : ad ogni istante possiamo individuare la latitudine e la longitudine della nave stessa e poi possiamo disegnare il tragitto percorso segnando volta per volta le coordinate. Ovvero parametrizzare una curva corrisponde a disegnarne l'evoluzione al variare di un parametro t .

Per capire come si arriva a sviluppare i primi esempi di interpolazione cominciamo mostrando come si può descrivere un segmento mediante l'uso di un parametro t . Consideriamo nel piano Cartesiano il punto P di coordinate (1,2) e il punto Q di coordinate (3,6)

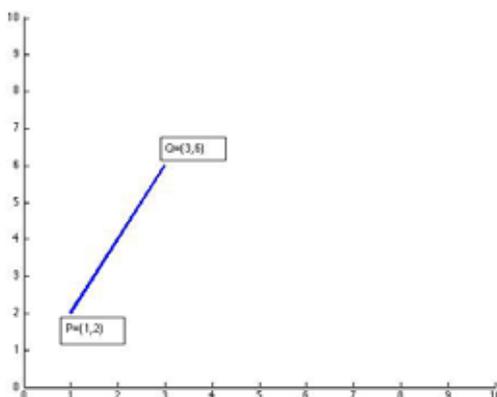


Figura 6. Un segmento.

Usando la notazione vettoriale il segmento PQ può essere descritto come il cammino di un punto materiale che parte da P e si muove con velocità costante data dal vettore differenza Q-P. Si ha pertanto la seguente la seguente descrizione parametrica del segmento

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} + t \cdot \left[\begin{pmatrix} 3 \\ 6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \right] \quad \text{con } 0 \leq t \leq 1$$

OVVERO

$$\overline{PQ} = (1-t) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 3 \\ 6 \end{pmatrix} \quad \text{con } 0 \leq t \leq 1$$

Figura 7. Equazione parametrica del segmento.

In coordinate x, y
se $P = (1, 2), Q = (3, 6)$ otteniamo

$$\begin{cases} x = (1-t) \cdot 1 + t \cdot 3 \\ y = (1-t) \cdot 2 + t \cdot 6 \\ 0 \leq t \leq 1 \end{cases}$$

Figura 8. Equazione parametrica del segmento in coordinate.

Consideriamo adesso un terzo punto R di coordinata (4,8) e la spezzata generata P, Q e R, ovvero l'unione dei due segmenti PQ e QR.

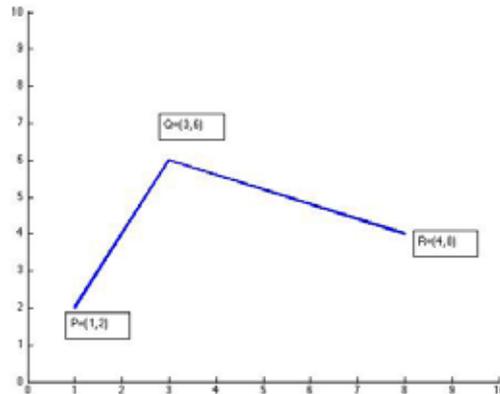


Figura 9. Spezzata generata dai tre punti.

Per costruire una curva liscia capace di approssimare la spezzata PQR iteriamo la costruzione precedente utilizzando un punto P(t) sul primo segmento e un punto Q(t) sul secondo.

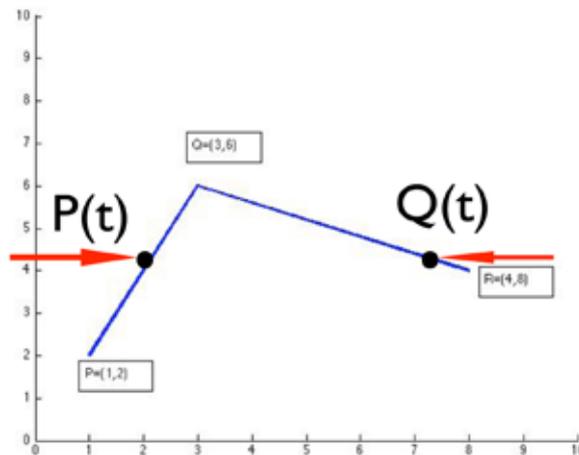


Figura 10. Punti sui due rami della spezzata.

Dal punto di vista algebrico otteniamo

$$\begin{aligned}
 (1-t) \cdot P(t) + t \cdot Q(t) &= \\
 (1-t)[(1-t)P + tQ] + t[(1-t)Q + tR] &= \\
 (1-t)^2 \cdot P + 2t(1-t) \cdot Q + t^2 \cdot R &
 \end{aligned}$$

Figura 11. Equazione della curva interpolante.

In coordinate x, y
 se $P = (1, 2), Q = (3, 6), R = (4, 8)$ otteniamo

$$\begin{cases} x = (1-t)^2 \cdot 1 + 2t(1-t) \cdot 3 + t^2 \cdot 4 \\ y = (1-t)^2 \cdot 2 + 2t(1-t) \cdot 6 + t^2 \cdot 8 \\ 0 \leq t \leq 1 \end{cases}$$

Figura 12.

Il disegno della curva ottenuta è il seguente:

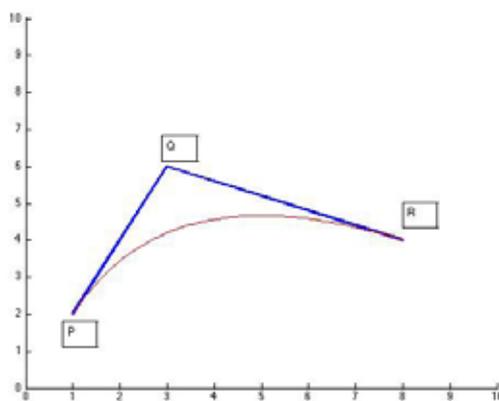


Figura 13. Curva che approssima la spezzata PQR.

La curva ottenuta segue il profilo della spezzata e negli estremi è tangente ai due segmenti. Se abbiamo invece un quarto punto S, iteriamo nuovamente il precedente argomento e otteniamo la seguente curva:

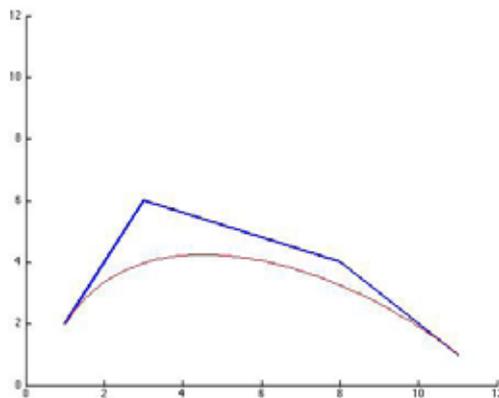


Figura 14. Curva che approssima la spezzata PQRS.

Riepilogando la curva che approssima la spezzata PQR è data dall'equazione (vettoriale):

$$(1-t)^2 \cdot P + 2t(1-t) \cdot Q + t^2 \cdot R$$

Figura 15.

mentre la curva che approssima la spezzata PQRS è data dall'equazione (vettoriale):

$$(1-t)^3 \cdot P + 3t(1-t)^2 \cdot Q + 3t^2(1-t) \cdot R + t^3 \cdot S$$

Figura 16.

Le equazioni così ottenute sono determinate da polinomi fissati moltiplicati per i coefficienti dati dalle coordinate dei punti. Se si sposta un punto basta cambiare i corrispondenti coefficienti e si ottiene la nuova curva. Pertanto queste curve si prestano molto bene a essere manipolate mediante trasformazioni (affini) del piano. Il computer per trasformarle ha bisogno solamente di avere le informazioni relative alle coordinate dei punti: attraverso un piccolo database che raccoglie le equazioni dei polinomi di base può ridisegnare la nuova curva in una frazione di secondo.

Per chi è appassionato di algebra vale la pena sottolineare come nascono i polinomi usati nelle equazioni. Si tratta semplicemente di considerare lo sviluppo delle potenze del binomio $(t + (1-t))$:

$$((1-t) + t)^2 = (1-t)^2 + 2t(1-t) + t^2$$

$$((1-t) + t)^3 = (1-t)^3 + 3t(1-t)^2 + 3t^2(1-t) + t^3$$

Figura 17.

(si noti che per qualsiasi valore di t il risultato è sempre 1).

In generale, i monomi ottenuti dallo sviluppo della potenza ennesima del binomio sono i polinomi utilizzati per creare una curva interpolante $n+1$ punti. Questa semplice osservazione permette di considerare tali monomi come i mattoni fondamentali per sviluppare una teoria completa e di facile applicazione.

5. Geometria proiettiva

La prospettiva nasce dalla necessità di rappresentare in modo coerente lo spazio usuale (tridimensionale) su un dipinto o in generale su una superficie piana (bidimensionale). È noto l'uso della prospettiva già in quadri del Medioevo e soprattutto nelle opere dei maestri rinascimentali. Senza voler inserire parametri di gradimento, nei primi il tentativo di dare profondità all'ambiente e corpo ai personaggi fallisce drasticamente, sintomo della necessità di una teoria rigorosa per riuscire a realizzare ambienti complessi e strutturati. Invece, in alcuni dipinti rinascimentali si nota un'estrema precisione nelle proporzioni che va ben al di là della sensibilità dell'occhio umano, sinonimo della volontà di espressione di regole ben precise riguardanti la teoria della rappresentazione.

Possiamo indicare il XV secolo come momento significativo per indicare la nascita (o la rinascita secondo alcuni storici) della prospettiva: Filippo Brunelleschi la esemplifica nelle tavolette (perdute) rappresentative del Battistero di Firenze, finché Leon Battista Alberti con il trattato *De pictura* e, successivamente, Piero della Francesca con il *De prospectiva pingendi* la codificano in modo sistematico. Nella pratica pittorica suggerita da questi maestri,

le rette parallele che si allontanano dall'osservatore si vedono convergere in un punto (detto punto all'infinito), come se in quel 'dove' dovessero di fatto incontrarsi. L'insieme di tutti questi 'dove' viene rappresentato sulla tela del pittore dalla cosiddetta retta all'infinito.

Partendo da queste costruzioni geometriche il matematico francese Gerard Desargues, contemporaneo di Cartesio, costruisce e sviluppa la geometria proiettiva, la quale è descritta al pari della geometria euclidea in maniera puramente sintetica e nella quale l'infinito trova una sua ben precisa collocazione. Le potenzialità di questa nuova teoria appaiono immediatamente a Desargues, che ne mostra immediatamente le applicazioni teoriche (vedi il trattato sulle coniche) e quelle pratiche (vedi il trattato sul taglio delle pietre). Tuttavia, come spesso accade nella scienza, le sue idee rimangono 'sommerse' nei due secoli successivi, per poi tornare prepotentemente alla ribalta nell'Ottocento. La geometria proiettiva diventa il punto di partenza di una nuova teoria, la geometria algebrica, che si sviluppa nel mondo con il contributo fondamentale dei matematici italiani. Vale la pena ricordare la figura di Luigi Cremona, considerato il fondatore della cosiddetta Scuola italiana di Geometria e, tra gli esponenti di punta, Federigo Enriques, Guido Castelnuovo e Francesco Severi. Attraverso il loro contributo viene resa esplicita la relazione profonda che sussiste tra l'algebra e la geometria e le numerose implicazioni che si hanno nello studio della geometria proiettiva.

I moderni software, dedicati all'analisi e allo sviluppo di immagini, e soprattutto i videogiochi, sono basati in parte sulle idee esposte da Piero della Francesca e trattate dai grandi geometri italiani nei primi anni del secolo scorso. L'idea di fondo di questa teoria nasce dalla necessità di esplicitare gli aspetti matematici che stanno alla base della prospettiva lineare.

Per prospettiva lineare si intende la rappresentazione su un piano ottenuta come intersezione dello stesso piano con il cono che ha il vertice nell'occhio e la base nell'oggetto da raffigurare. Se consideriamo una fotografia appare evidente come essa non sia altro che una rappresentazione bidimensionale di un soggetto tridimensionale. Per codificare tale rappresentazione l'osservazione fondamentale è che la macchina fotografica non vede i punti nello spazio dove realmente essi sono, ma vede solamente la luce che essi proiettano. Pertanto la macchina fotografica identifica tutti i punti che stanno su una retta passante per l'obiettivo (che consideriamo puntiforme).

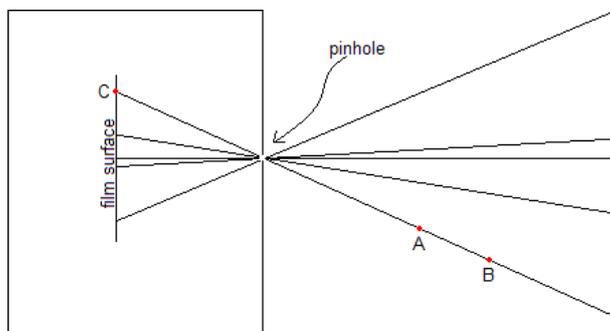


Figura 18.

Nella figura 18 i punti A e B vengono rappresentati dallo stesso punto C sulla pellicola della macchina fotografica. Il pittore che vuole rappresentare fedelmente quello che vede procede in maniera del tutto analoga. Questa semplice idea racchiude in se tutti i concetti sufficienti per costruire un modello algebrico del piano proiettivo. L'oggetto che nasce non è nient'altro che una sorta di espansione del piano che rappresenta la pellicola.

Poniamo coordinate (x,y,z) nello spazio e l'occhio della fotocamera (o del pittore) nell'origine $O = (0,0,0)$. Una retta passante per O e per un punto P di coordinate (a,b,c) può essere descritta parametricamente dalle equazioni:

$$x = ta$$

$$y = tb$$

$$z = tc$$

Nel nostro modello tutti i punti che giacciono sulla retta vengono rappresentati dallo stesso punto sulla superficie della pellicola. Pertanto l'idea naturale è quella di identificare tutti i punti che stanno su una retta passante per l'origine, ovvero di identificare un punto di coordinate (a,b,c) con un punto di coordinate (ta,tb,tc) . Ad esempio le terne $(1,2,3)$ e $(3,6,9)$ rappresentano lo stesso punto del piano proiettivo.

Così come nel piano Cartesiano l'insieme delle coppie di numeri reali (x,y) permette di descrivere tutti i punti del piano euclideo, in questo modo possiamo descrivere tutti i punti del piano proiettivo mediante terne di numeri reali (x,y,z) con la condizione che non siano tutti e tre nulli e con l'identificazione $(x,y,z) \sim (tx,ty,tz)$. Queste coordinate si chiamano coordinate omogenee.

Il modello che abbiamo costruito rappresenta una sorta di 'espansione' del piano euclideo nel senso che tutti i punti di coordinate $(x,y,1)$ possono venire identificati con i punti del piano Cartesiano di coordinate (x,y) .

Cosa succede ai punti che sono a 90 gradi rispetto all'occhio del fotografo? Questi punti non possono essere identificati con alcun punto del piano Cartesiano, poiché la retta passante per l'occhio del fotografo non interseca il piano dell'immagine. L'insieme di tutti questi punti costituisce quella che si chiama *retta all'infinito*. I punti sulla retta all'infinito hanno coordinate $(x,y,0)$.

In questo modo possiamo pensare al piano proiettivo come l'unione dei punti 'al finito', descritti dalle coordinate $(x,y,1)$, con i punti 'all'infinito', descritti dalle coordinate $(x,y,0)$. Un punto all'infinito corrisponde al punto di intersezione di due rette parallele.

Una visualizzazione parziale del piano proiettivo può essere la seguente (occorre identificare i punti antipodali che stanno sul bordo per ottenere il piano proiettivo).

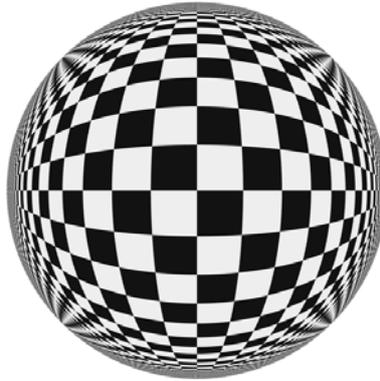


Figura 19. Visualizzazione (parziale) del piano proiettivo.

Il vantaggio nell'utilizzo delle coordinate omogenee risiede da un lato nella semplificazione delle procedure di calcolo necessarie per realizzare le trasformazioni del piano, e dall'altro nell'interpretazione dei punti del piano come immagine dei punti dello spazio. Infatti un punto nello spazio di coordinate (x, y, z) lo possiamo proiettare nel piano nel punto di coordinate $(x/z, y/z, 1)$. Ovvero nella tela del pittore, o ancor di più nello schermo del computer, il punto di coordinate $(x/z, y/z)$ rappresenta l'immagine del punto dello spazio 3 dimensionale di coordinate (x, y, z) .

Le trasformazioni dei punti nello spazio, quali ad esempio traslazioni o rotazioni (movimenti tipici di un corpo rigido che si muove) vengono lette come semplici trasformazioni dei punti del piano, facilmente calcolabili con qualsiasi tipo di computer. Analogamente, il cambiamento di punto di vista non è nient'altro che una trasformazione lineare dello spazio tridimensionale che può essere facilmente scritta mediante le coordinate (omogenee) del piano attraverso l'utilizzo di matrici.

6. Parametrizzazioni nel piano proiettivo

È possibile creare curve di interpolazione nel piano proiettivo attraverso l'uso delle coordinate omogenee. Si può pensare a una curva di questo tipo come immagine sul piano di una curva nello spazio tridimensionale. Infatti, considerando nello spazio 3D una curva espressa mediante le equazioni:

$$x=p(t)$$

$$y=q(t)$$

$$z=r(t)$$

(dove $p(t)$, $q(t)$, $r(t)$ sono polinomi nella variabile t), è facile vedere che la sua immagine nel piano è descritta dai punti di coordinate $(x/z, y/z, 1) = (p(t)/r(t), q(t)/r(t), 1)$. Ovvero, identificando tali punti con i punti del piano otteniamo una parametrizzazione espressa mediante funzioni razionali (cioè frazioni di polinomi) del parametro t .

Considerando il piano come una porzione del piano proiettivo possiamo utilizzare le coordinate omogenee. Il vantaggio delle coordinate omogenee risiede nel fatto che posso moltiplicare per il denominatore comune tutti e tre i valori delle coordinate e quindi espri-

mere tale punto nella forma più facilmente computabile $(p(t), q(t), r(t))$. Dal punto di vista computazionale è la stessa parametrizzazione della curva nello spazio, però rappresenta una curva nel piano proiettivo. Questa forma è più maneggevole dal punto di vista dei calcoli.

In effetti, è possibile compiere operazioni mediante l'utilizzo di matrici ottenendo con rapidità una curva del tipo $p'(t), q'(t), r'(t)$. posso, infatti, pensare una trasformazione della curva del piano proiettivo come immagine di una trasformazione della curva nello spazio.

Per rappresentarla nel piano è quindi sufficiente compiere l'operazione inversa, ovvero disegnare i punti della forma $(p'(t)/r'(t), q'(t)/r'(t), 1)$.

In questo modo i calcoli si fanno utilizzando tutte e tre le coordinate. Solamente alla fine si effettua la divisione per la terza coordinata, ottenendo una curva che possiamo rappresentare sullo schermo del computer.

Per capire meglio questi concetti vediamo come nel piano si parametrizza la circonferenza con centro nell'origine e raggio 1. Tale circonferenza ha equazione

$$x^2 + y^2 = 1$$

Figura 20.

Per parametrizzarla consideriamo un fascio di rette passanti per il punto $Q = (0, -1)$.

Usiamo t come parametro per descrivere il coefficiente angolare delle rette del fascio. Ogni retta del fascio interseca la circonferenza nel punto Q e in un altro punto $P(t)$ che dipende dal coefficiente angolare t :

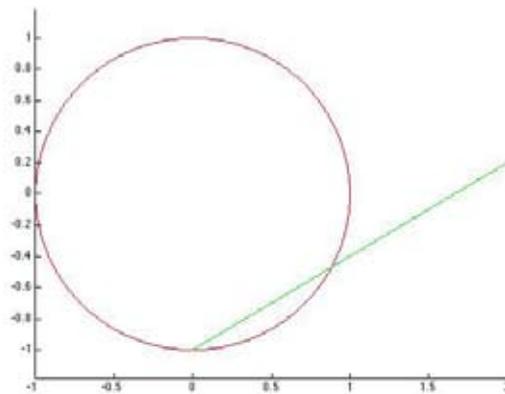


Figura 21.

Con facili calcoli si ottiene che le coordinate x e y del punto $P(t)$ sono espresse dalle seguenti espressioni:

$$\begin{cases} x = \frac{2t}{1+t^2} \\ y = \frac{t^2-1}{1+t^2} \end{cases}$$

Figura 22.

In questo modo otteniamo una parametrizzazione razionale della circonferenza (senza il punto U di coordinate (0,1) che corrisponde all'intersezione con una retta parallela all'asse delle y).

In coordinate omogenee si legge

$$\begin{cases} x = 2t \\ y = t^2 - 1 \\ z = 1 + t^2 \end{cases}$$

Figura 23.

In conclusione, mediante l'utilizzo di funzioni razionali (cioè di frazioni di polinomi), è possibile migliorare il livello di approssimazione di una curva interpolante e disegnare curve fondamentali come circonferenze e ellissi.

Si continua a utilizzare polinomi, che permettono di realizzare i calcoli rapidamente, ma si riesce a realizzare un maggior numero di figure. Inoltre le parametrizzazioni in coordinate omogenee sono facilmente computabili ed è altrettanto facile modificarle mediante trasformazioni del piano.

Pertanto, tali curve si prestano con molta facilità a essere manipolate da programmi di grafica e permettono di realizzare videogiochi in cui l'immagine nello schermo si adatta immediatamente ai comandi del giocatore.

7. Conclusioni

Nei moderni programmi di grafica si utilizzano le curve NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Le curve NURBS si ottengono mediante raffinamenti delle tecniche illustrate precedentemente. Per realizzare queste curve, due ulteriori passi si aggiungono a quelli già indicati. Partendo dalla curva spezzata originale, in primo luogo vengono assegnati dei pesi, eventualmente diversi, ai vertici della spezzata. Un peso grande significa una maggiore capacità di attrazione della curva verso un dato vertice. In secondo luogo, per ottimizzare il calcolo del computer si percorre la curva con velocità alta nei tratti che non danno preoccupazioni (ad esempio percorsi quasi rettilinei), mentre si rallenta nei tratti in cui si ha un cambio di direzione o una curvatura alta. Questo risultato si ottiene suddividendo l'intervallo di tempo $[0,1]$ in piccoli intervalli ciascuno di lunghezza diversa, a seconda del grado di accuratezza necessario per realizzare la porzione di curva voluta, e percorrendo tale intervallo con velocità inversamente proporzionale alla sua lunghezza.

Le idee che stanno alla base di tali procedimenti sono le stesse utilizzate da Piero della Francesca per realizzare i suoi quadri e da Castelnuovo ed Enriques per studiare le curve e le superfici algebriche. Questo a mio giudizio è un buon esempio per evidenziare l'importanza di una solida base scientifica e culturale capace di fornire gli strumenti per affrontare le moderne tecnologie.

Dalla fisica ai fisici

SIMMETRIA E FISICA*

ELENA CASTELLANI

Dipartimento di Filosofia, Università di Firenze

1. Il concetto di simmetria

La simmetria ha oggi una posizione del tutto centrale nella descrizione, spiegazione e previsione dei fenomeni naturali. Dalla chimica alla biologia, dalla fisica microscopica alla cosmologia, la ricerca scientifica ricorre in modo rilevante a considerazioni, principi e metodi basati su proprietà di simmetria. Nella fisica delle particelle elementari, in particolare, l'applicazione di principi di simmetria e il correlato uso delle tecniche della teoria dei gruppi di simmetria hanno raggiunto una tale rilevanza che le teorie fisiche fondamentali possono essere considerate come vere e proprie "teorie di simmetria".

Ma in che senso, innanzitutto, la simmetria è usata oggi nella scienza? Il termine *simmetria* può essere inteso in diversi modi. Nel linguaggio ordinario, il termine è normalmente usato per indicare una certa "armonia di proporzioni" oppure una determinata "relazione d'uguaglianza" tra più elementi. Queste due accezioni comuni rispecchiano, di fatto, l'esistenza di due principali nozioni di simmetria: una *nozione antica*, che è quella dei Greci e dei Latini ed è strettamente legata ai concetti di proporzione e armonia; e una *nozione moderna*, che comincia a definirsi all'inizio del XVII secolo a partire dal concetto di distribuzione regolare di elementi uguali nello spazio: dal primo significato di "rapporto d'uguaglianza tra parti contrapposte", a quello di "invarianza rispetto a operazioni di scambio tra parti uguali", per arrivare, infine, alla definizione più generale di "invarianza rispetto a un gruppo di trasformazioni"¹. Quest'ultima definizione in termini gruppali è alla base della particolare rilevanza assunta dalla simmetria nella scienza contemporanea. La natura grupale della simmetria – più precisamente, il fatto che le operazioni di simmetria formano un *gruppo di trasformazioni* – ha infatti reso possibile l'estensione dei risultati e delle tecniche della teoria dei gruppi alle considerazioni relative a situazioni di simmetria: uno sviluppo che si è rivelato straordinariamente fecondo nella scienza e in particolare nell'indagine fisica del nostro secolo.

Nel senso di invarianza rispetto a un gruppo di trasformazioni, la simmetria può essere riferita sia a configurazioni familiari come le figure dello spazio ordinario, sia a configurazioni più astratte come le relazioni ed espressioni di natura matematica. Nella fisica, è come proprietà di "oggetti" di questo secondo genere, e più precisamente come proprietà delle equazioni fondamentali delle teorie fisiche – le equazioni dinamiche co-

* Lezione/incontro tenuta a Firenze il 18 novembre 2009, presso l'Auditorium del Consiglio Regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

munemente note come “leggi della natura” – che la simmetria è diventata un concetto fondamentale. Sulle simmetrie delle leggi fisiche, o semplicemente *simmetrie fisiche*, si fonda in buona parte l’attuale visione del mondo fisico e dei suoi ultimi costituenti: sono queste le simmetrie la cui presenza nella nostra descrizione della natura richiede una spiegazione o, se si vuole, una interpretazione.

2. I diversi tipi di simmetrie fisiche

Nella fisica contemporanea, le proprietà d’invarianza delle leggi fisiche sono postulate attraverso *principi*, noti comunemente come “principi di simmetria” o “principi d’invarianza”. Il primo principio a essere stato esplicitamente formulato come principio d’invarianza è il *principio della relatività speciale*, attraverso il quale Einstein stabiliva, nel 1905, l’invarianza delle leggi fisiche rispetto a cambiamenti di sistemi di riferimento inerziali, vale a dire rispetto alle trasformazioni del cosiddetto “gruppo di Lorentz inhomogeneo” (noto anche come “gruppo di Poincaré”). Dai primi lavori di Einstein sulla relatività alle più recenti teorie quantistiche dei campi, la storia dell’applicazione dei principi di simmetria all’indagine fisica coincide in larga parte con la storia della stessa fisica teorica: basti pensare alla formulazione della *relatività generale*, all’introduzione delle *simmetrie quantistiche* (in seguito all’estensione della teoria dei gruppi di simmetria all’ambito della meccanica quantistica), e all’elaborazione delle *teorie di gauge*, le teorie di campo fondate sulle cosiddette “simmetrie di gauge” e attraverso le quali si descrivono, oggi, le particelle fondamentali e le loro interazioni.

Allo stato attuale della conoscenza fisica, le simmetrie utilizzate nelle teorie fondamentali sono dei seguenti tipi:

- le simmetrie *spazio-temporali*: simmetrie spazio-temporali di tipo “continuo”, come quelle postulate nella teoria della relatività, e simmetrie dello spazio e del tempo “discrete”, come la simmetria di *riflessione spaziale* (o *parità*) e la simmetria di *inversione temporale*;
- la simmetria di *coniugazione di carica* o simmetria tra particelle e antiparticelle;
- la *simmetria di scambio* tra particelle dello stesso tipo (le cosiddette “particelle identiche”), collegata alle statistiche quantistiche di Bose-Einstein e Fermi-Dirac;
- le *simmetrie interne unitarie*: simmetrie relative a spazi “interni” (cioè di natura diversa dallo spazio-tempo), descritte nei termini dei gruppi SU(N) di trasformazioni unitarie, di natura globale o locale (le simmetrie interne locali sono note anche come *simmetrie di gauge*);
- la *supersimmetria*, o simmetria di scambio tra particelle bosoniche e particelle fermioniche, la cui versione locale è nota come *supergravità*;
- le *simmetrie di dualità*, al cuore delle teorie di stringa.

Le simmetrie spazio-temporali continue hanno radici lontane nel pensiero scientifico: l'omogeneità (simmetria di traslazione) e l'isotropia (simmetria di rotazione) dello spazio, al pari dell'uniformità del tempo (simmetria di traslazione temporale), sono proprietà presupposte in molte delle teorie sulla natura elaborate dal XVII secolo in poi; le osservazioni di Galileo sull'equivalenza, per le esperienze di meccanica, tra gli stati di quiete e gli stati di moto uniforme non sono altro che una prima formulazione dell'invarianza delle leggi della fisica rispetto alle trasformazioni di velocità uniforme. Le simmetrie spazio-temporali hanno inoltre un carattere universale, nel senso che valgono (o devono valere) per tutte le leggi della natura; il che è anche connesso al fatto che queste simmetrie delle leggi fisiche sono allo stesso tempo simmetrie della struttura spazio-temporale degli eventi fisici.

Non hanno invece un carattere così generale gli altri tipi di simmetrie successivamente postulate nella fisica contemporanea. Si tratta di simmetrie senza precedenti nella storia della fisica, introdotte nell'ambito dell'indagine sul mondo atomico e subatomico essenzialmente ai fini della spiegazione di determinati fenomeni e, spesso, sulla base di analogie esistenti con situazioni di simmetria già note. Sono per la maggior parte simmetrie che valgono solo per specifiche forme d'interazione fisica, e per questo chiamate *simmetrie dinamiche*, secondo la denominazione proposta da Eugene Wigner per distinguerle dalle simmetrie dello spazio-tempo o *simmetrie geometriche* [7, pp. 17-27, 31-36, 42-45].

Tutte queste forme di simmetria hanno un determinato significato e uno specifico ruolo nei contesti fisici in cui sono applicate. Ciò non implica, tuttavia, che non si possano individuare degli aspetti comuni – in particolare, delle *funzioni* comuni – nella loro applicazione all'indagine dei fenomeni naturali.

3. Le funzioni delle simmetrie fisiche

Tra le funzioni delle simmetrie fisiche, la più evidente e conosciuta è senz'altro la *funzione classificatoria*. La simmetria, nel suo senso moderno, è strettamente legata a nozioni come quelle di equivalenza, classe e gruppo. La possibilità che ne deriva di classificare oggetti sulla base delle loro proprietà di simmetria è all'origine delle prime forme di applicazione esplicita della nozione nella scienza moderna: dalle classificazioni delle forme dei cristalli – gli oggetti naturali che più si distinguono per l'evidenza e la ricchezza delle loro proprietà di simmetria – allo sviluppo di una vera e propria “teoria della simmetria”, come può essere chiamato la classificazione sistematica di tutti i possibili tipi di configurazioni simmetriche².

Per quanto riguarda le simmetrie fisiche, un esempio paradigmatico di questa funzione classificatoria è rappresentato dalla classificazione delle *particelle elementari* attraverso lo studio delle *rappresentazioni irriducibili* dei gruppi di simmetria fondamentali (dove il carattere irriducibile delle rappresentazioni corrisponde a quello elementare delle particelle). Come venne dimostrato dal fisico Eugene Wigner in un suo noto lavoro del 1939, le particelle elementari possono essere poste in corrispondenza con

le rappresentazioni irriducibili dei gruppi di simmetria delle teorie che ne descrivono il comportamento: con la conseguente possibilità di derivare, in questo modo, le proprietà che caratterizzano in modo essenziale il tipo (o la classe) di particelle considerate, cioè quelle proprietà invarianti o “intrinseche” come la massa, lo spin o la carica elettrica, che nel formalismo quantistico sono espresse dai “numeri quantici”.

Quando la classificazione, in base a simmetrie, è tale da includere tutte le proprietà essenziali per caratterizzare un certo tipo di oggetto fisico (per esempio, tutti i numeri quantici necessari per caratterizzare un certo tipo di particella), si può anche parlare di una *funzione definitoria* delle simmetrie fisiche. Non si tratta, in sostanza, di nient'altro che della possibilità di definire entità sulla base di come si trasformano sotto l'azione di determinati gruppi, una procedura molto comune in campo matematico. Tale funzione definitoria si rivela di particolare utilità nel caso di oggetti come le particelle della microfisica, cioè oggetti che sono lontani dalla nostra esperienza quotidiana e ai quali non si applica la concezione classica di oggetto fisico.

Le simmetrie sono spesso usate come vincoli nelle teorie fisiche, e in questo senso possono svolgere una *funzione normativa*. L'assunzione di principi di simmetria comporta infatti condizioni molto forti sulla descrizione dei sistemi fisici e del loro comportamento: dalle restrizioni sulla forma delle equazioni dinamiche alle «regole di selezione» (come sono chiamati i vincoli sulle possibili transizioni tra stati), ai vincoli sulle modalità di trasformazioni degli stessi enti fisici. Questa funzione normativa si rivela particolarmente utile quando ad essere soggette a tali vincoli siano ‘entità’ ancora da determinare: le condizioni di simmetria, in tal caso, ci permettono di ricavare quali sono, tra tutte le possibili, le entità permesse (quali sono, per esempio, le transizioni permesse o le forme consentite delle equazioni dinamiche). In alcune situazioni si arriva addirittura a una *funzione determinante* delle simmetrie fisiche, nel senso che è possibile determinare del tutto la forma di un'equazione sulla base dei soli vincoli di simmetria: come succede, per esempio, nel caso di sistemi fisici che non sono soggetti a interazione.

Le numerose e significative conseguenze che derivano dall'assunzione di principi di simmetria offrono una chiave di spiegazione per molti fenomeni fisici. Le stesse condizioni di simmetria sopra ricordate – condizioni sulle equazioni dinamiche e sulle loro soluzioni – forniscono già un esempio in questo senso: la presenza di vincoli dovuti a simmetrie fornisce una spiegazione del perché certi fenomeni possono (o non possono) accadere. Il risultato di maggior rilievo su cui si fonda questa *funzione esplicativa* delle simmetrie fisiche è la connessione che può essere stabilita tra le simmetrie delle equazioni dinamiche e le *leggi di conservazione* della fisica³. Sulla base di questo risultato e altri “strumenti concettuali” come il *principio di gauge*, il meccanismo della *rottura spontanea della simmetria* e le tecniche di *unificazione* dei gruppi di simmetria, le simmetrie fisiche acquistano un grande potere esplicativo: basti pensare che la struttura della tavola periodica degli elementi, la forma degli spettri atomici e nucleari e le stesse modalità d'interazione degli ultimi componenti della materia possono essere tutti spiegati, in un certo senso, come conseguenze di principi di simmetria.

Il trattamento “gruppale” delle simmetrie fisiche, con la conseguente possibilità di un’unificazione di simmetrie diverse tramite l’unificazione dei corrispondenti gruppi di trasformazioni, fornisce un adeguato supporto tecnico a un’importante funzione che da sempre ha accompagnato l’uso delle simmetrie nella descrizione della natura e cioè la *funzione unificatrice*. Questa funzione, alla quale è generalmente legata anche una *funzione semplificatrice* delle simmetrie, si esplica sia sul piano della “metafisica influente” delle teorie sia sul piano della elaborazione formale. Ciò è ben illustrato da uno dei programmi dominanti dell’attuale ricerca fisica: il programma di unificazione delle forze della natura attraverso l’unificazione dei corrispondenti gruppi di simmetria, che si fonda appunto sulla possibilità d’interpretare tutte le teorie d’interazione fisica come teorie di simmetria locale. L’antica idea dell’unità della natura viene così riproposta, con gli strumenti della teoria dei gruppi e nel linguaggio della teoria dei campi, nella forma di una descrizione unitaria dei fenomeni fisici fondamentali, la cosiddetta «Teoria del Tutto».

Le simmetrie fisiche possono assumere, in vari casi, un valore decisamente euristico. Si è visto come, sulla base di considerazioni di simmetria, sia possibile prevedere l’occorrenza o meno di certi fenomeni e, più in generale, l’evolversi di determinate situazioni fisiche; e come, di conseguenza, gli stessi principi di simmetria assumano una funzione di guida per la formulazione di nuove equazioni dinamiche o leggi fisiche. Ma la *funzione euristica* delle simmetrie fisiche non si esaurisce qui: si pensi alla possibilità di prevedere l’esistenza di nuovi oggetti fisici – particelle che compongono la materia e campi d’interazione – che segue, in qualche modo, dall’assunzione di simmetrie nella descrizione fisica. L’esistenza di nuove particelle può essere inferita, per esempio, dalla presenza di posti vacanti negli schemi di classificazione fondati su proprietà di simmetria, come successe nel 1962 con la previsione della particella Ω^- a partire dallo schema di classificazione per gli adroni noto come *Via dell’Ottetto*. Questa stessa classificazione adronica, inoltre, è all’origine della famosa ipotesi dell’esistenza dei *quark*. Oltre alle classificazioni, alla possibilità di prevedere nuove entità fisiche hanno condotto anche sviluppi teorici fondati sulle simmetrie fisiche come, per esempio, l’interpretazione delle teorie d’interazione come *teorie di gauge* (con la conseguente introduzione di nuovi campi di gauge per mediare certe tipi d’interazione) e il conseguente programma di unificazione delle forze della natura: come illustra in modo esemplare la previsione nel 1967 delle particelle W e Z^0 (poi effettivamente osservate nel 1983) nel contesto della teoria di gauge proposta per l’unificazione delle interazioni debole ed elettromagnetica e nota come *modello di Weinberg e Salam*.

Infine, per la rilevanza che hanno assunto nelle teorie fisiche contemporanee, le simmetrie consentono un nuovo punto di vista per discutere tradizionali problemi della riflessione filosofica sulla scienza. Questioni come quelle relative alla struttura delle teorie fisiche, alle relazioni tra teorie e alla natura del progresso scientifico possono essere tutte riformulate, in parte, prendendo in considerazione il ruolo dei gruppi di simmetria e dei rapporti inter-gruppali.

4. L'interpretazione delle simmetrie fisiche

Le diverse e importanti funzioni descritte testimoniano la rilevanza assunta dalla simmetria nella fisica contemporanea. Ma perché la simmetria può occupare una posizione così centrale nella nostra descrizione della natura? La rilevanza delle simmetrie fisiche sembra richiedere una spiegazione. La simmetria non è altro che una suggestiva idea, che ricorre nel pensiero scientifico e che grazie agli strumenti della teoria dei gruppi ha trovato la sua adeguata traduzione nel formalismo matematico delle teorie fisiche, o c'è qualcosa di più? L'efficacia delle "tecniche di simmetria" nella fisica è dovuta solo alla potenza dei metodi e strumenti della teoria dei gruppi, o riposa anche su altre ragioni?

Nella letteratura, si trovano due principali gruppi di risposte a questo genere di domande: a) risposte di natura fisico-matematica, come quelle che giustificano il successo dei metodi di simmetria sulla base di puri risultati matematici, o quelle che spiegano le simmetrie delle equazioni dinamiche come conseguenze di altri aspetti delle leggi fisiche; e b) risposte di natura più generale, che prendono in considerazione anche gli aspetti filosofici del problema dell'interpretazione delle simmetrie fisiche. Da questo punto di vista più generale, la domanda che si pone in relazione alle simmetrie fisiche è in sostanza la seguente: le simmetrie sono proprietà che si trovano nel mondo fisico o si tratta solo di efficaci "strumenti concettuali" attraverso i quali ci orientiamo nello studio dei fenomeni naturali? In breve: le simmetrie fanno parte della natura o appartengono alle teorie? Corrispondentemente, si possono individuare due tipi principali di posizioni: le posizioni che attribuiscono le simmetrie al mondo fisico, che si possono chiamare *interpretazioni di tipo realistico*, e le posizioni secondo cui le simmetrie stanno dalla parte delle teorie, che si possono chiamare *interpretazioni di tipo epistemico*.

4.1 Le interpretazioni di tipo realistico

Secondo le interpretazioni di tipo realistico, le simmetrie fanno parte della natura, cioè rappresentano proprietà che si riscontrano effettivamente nel mondo fisico, e questa è la vera ragione del successo delle "teorie di simmetria" nella fisica contemporanea.

Una delle principali motivazioni per le posizioni di tipo realistico sulle simmetrie è la possibilità d'interpretare le invarianze delle leggi della natura come proprietà della struttura del mondo fisico. Ciò vale innanzitutto nel caso delle invarianze delle leggi fisiche rispetto alle trasformazioni spazio-temporali continue, cioè nel caso delle simmetrie postulate dalla teoria della relatività. Tali simmetrie delle leggi, infatti, possono essere tutte messe in corrispondenza con caratteristiche di simmetria della stessa struttura spazio-temporale del mondo fisico: si tratta, in altre parole, di proprietà della geometria del mondo fisico, e per questo chiamate "simmetrie geometriche"⁴. Di un'interpretazione geometrica in senso lato – tramite il ricorso a spazi di natura diversa dallo spazio-tempo o "spazio esterno" – possono essere suscettibili anche altri tipi di simmetrie, dalle simmetrie "discrete" a quelle "interne": ma al prezzo di una concezione della realtà fisica che è di un carattere sempre più astratto e lontano da quanto noi possiamo più o meno direttamente esperire.

Se le simmetrie fanno parte della natura, esiste una precisa ragione per questa loro presenza e per il fatto che noi arriviamo a conoscerle o scoprirle? I sostenitori di una posizione realistica devono fare i conti con tali questioni. Le risposte che vengono date più comunemente si fondano su argomenti di natura biologico-evoluzionistica: come l'argomento (basato sul molto controverso "principio antropico") in accordo al quale le simmetrie devono esserci in quanto sono necessarie per l'esistenza stessa dell'uomo che le osserva, o l'argomento per cui noi possiamo scoprire le simmetrie della natura perché a questo ha portato l'evoluzione del nostro cervello in un universo che obbedisce alle leggi fisiche.

4.2 Le interpretazioni di tipo epistemico

Secondo le interpretazioni di tipo epistemico, le simmetrie fisiche hanno essenzialmente che fare con le modalità della nostra conoscenza dei fenomeni naturali: a) come condizioni sulla natura o addirittura la possibilità di tale conoscenza, o b) come espressione di limiti inerenti al nostro modo di procedere nell'indagine dei fenomeni naturali.

a) L'interpretazione di tipo epistemico più comune è quella centrata sulla connessione tra *simmetria* e *oggettività*. Anche in questo caso, il punto di partenza è costituito da considerazioni relative alle simmetrie spazio-temporali. Nello spirito della teoria della relatività, l'invarianza delle leggi fisiche rispetto alle trasformazioni spazio-temporali esprime l'invarianza rispetto a cambiamenti dei sistemi di riferimento o osservatori. Su questa base, è piuttosto naturale porre le invarianze spazio-temporali in rapporto con un criterio di *oggettività* (nel senso ristretto di *validità intersoggettiva*) della descrizione fisica: le leggi attraverso cui descriviamo l'evoluzione dei sistemi fisici hanno valore oggettivo in quanto non cambiano da un osservatore all'altro. L'antica e comune idea che ciò che è oggettivo non debba dipendere da fattori contingenti (come, per esempio, la particolare prospettiva dell'osservatore) viene così ad essere riformulata nei seguenti termini: oggettivo è ciò che è invariante rispetto al gruppo di trasformazioni dei sistemi di riferimento, oppure, parafrasando il fisico e matematico Hermann Weyl, «oggettività significa invarianza rispetto al gruppo di simmetria dello spazio-tempo» [6, p. 136].

Le simmetrie spazio-temporali possono essere messe in rapporto con una condizione ancora più forte per quanto riguarda la conoscenza fisica. Secondo la concezione sviluppata in particolare da Wigner, le simmetrie spazio-temporali possono assumere il significato di prerequisiti per la possibilità stessa di conoscere le leggi della natura. Come Wigner sostiene a più riprese nelle sue riflessioni sulle simmetrie fisiche, se le correlazioni tra gli eventi fisici variassero a seconda della posizione o orientazione del sistema di riferimento, oppure da istante a istante, sarebbe impossibile la stessa fisica come *scienza* [5, p. 29]. I principi di simmetria acquistano così il significato di "superleggi", che forniscono «struttura e coerenza alle leggi della natura esattamente come le leggi della natura forniscono struttura e coerenza all'insieme degli eventi» [5, p. 17]. Questa struttura gerarchica della conoscenza fisica – dagli eventi alle leggi della natura e dalle leggi della natura ai principi d'invarianza – è per Wigner legata a un fattore

d'ignoranza: poiché non siamo onniscienti, ci serviamo di principi regolativi sia per gli eventi sia per le loro leggi. Mentre per Wigner il significato dei principi di simmetria come condizioni di possibilità per una descrizione del mondo fisico in termini di leggi è dunque *relativo* allo stato attuale della nostra conoscenza, non manca chi ha voluto conferire un valore *assoluto* a tale significato, attribuendo ai principi di simmetria spaziotemporali lo statuto di principi trascendentali o principi a priori della conoscenza fisica.

Che le simmetrie fisiche siano collegate a una condizione di validità intersoggettiva della conoscenza fisica o a un prerequisito per la possibilità stessa d'una descrizione fisica in termini di leggi, in entrambi i casi si tratta di posizioni fondate sull'equivalenza dei sistemi di riferimento spaziotemporali per la formulazione delle leggi della natura. Ma che senso vengono allora ad avere queste posizioni nel caso di simmetrie che non sono di natura spaziotemporale e che quindi non possono essere messe in relazione con l'equivalenza dei sistemi di riferimento?

b) Una interpretazione di tipo epistemico che, a differenza delle precedenti, può valere per tutte le diverse forme di simmetria è quella che riconduce le simmetrie fisiche alla presenza di *fattori irrilevanti* nella nostra descrizione della natura. All'origine di questa interpretazione è ancora la connessione tra le nozioni di simmetria ed equivalenza, ma intesa, questa volta, nel suo senso più generale. Infatti nella natura stessa della nozione di simmetria di esprimere una situazione di equivalenza (indistinguibilità, indifferenza) tra un dato numero di elementi: gli elementi di un insieme con proprietà di simmetria che sono trasformati l'uno nell'altro dalle operazioni di simmetria sono tra loro equivalenti (rispetto al contesto considerato). Nella fisica, è piuttosto usuale interpretare la presenza di elementi equivalenti corrispondente a una situazione di simmetria in termini di *irrilevanza*: per cui, ad esempio, l'equivalenza dei punti dello spazio (simmetria di traslazione spaziale) viene posta in relazione con l'irrilevanza, per la descrizione fisica, di una "posizione assoluta", oppure, per prendere un caso meno familiare, l'equivalenza tra particelle microscopiche dello stesso tipo (espressa dalla "simmetria di scambio") viene interpretata nel senso dell'irrilevanza, per la fisica quantistica, di una distinzione tra le cosiddette "particelle identiche". In quest'ottica, le simmetrie fisiche vengono quindi ad essere collegate ai limiti o alle peculiarità del nostro modo di procedere: nel descrivere il mondo fisico introduciamo – in genere per ignoranza – degli elementi irrilevanti (relativamente al contesto considerato), che poi, utilizzando le simmetrie e gli strumenti matematici ad esse legate, riusciamo a individuare come tali e ad eliminare dalle teorie. Come diceva il fisico Paul Adrien Maurice Dirac: «le leggi fondamentali [della natura] controllano un sostrato del quale non ci possiamo formare un'immagine mentale senza introdurre fattori irrilevanti. La formulazione di queste leggi richiede la matematica delle trasformazioni» [3, p. VII].

L'irrilevanza (per la descrizione fisica) di una distinzione tra gli elementi equivalenti di una situazione di simmetria può anche essere intesa nel senso della impossibilità di osservare, di fatto, una differenza tra gli elementi equivalenti. Da questo punto di

vista, la presenza di simmetrie viene ad essere posta in relazione al carattere *non osservabile* di determinate grandezze: simmetrie come per esempio quelle di traslazione e rotazione spaziale vengono a corrispondere all'impossibilità di osservare, nell'ordine, una posizione assoluta e una direzione assoluta; la simmetria di traslazione temporale viene a corrispondere all'impossibilità di osservare un istante assoluto; la simmetria di gauge dell'elettromagnetismo viene a corrispondere all'impossibilità di osservare la "fase" assoluta di un campo carico; e così via. Si arriva così all'interpretazione per cui «la radice di tutti i principi di simmetria consiste nell'assunzione dell'impossibilità di osservare determinate grandezze fondamentali», come afferma, per esempio, il fisico Lee [4, p. 178]. Corollario naturale di questa posizione è l'interpretazione della *rottura di simmetria* in termini di *osservabilità*: la scoperta della violazione (rottura) di una simmetria – come nel noto caso della scoperta della violazione della *parità* (simmetria destra-sinistra) da parte delle interazioni deboli sulla base di un lavoro del 1956 di Yang e dello stesso Lee – viene a indicare il fatto che un elemento prima ritenuto inosservabile può essere invece osservato.

Questa interpretazione in termini di (*non*) *osservabilità* ha il suo precedente storico nell'interpretazione della teoria della relatività come liberazione della fisica da entità non osservabili quali il moto, lo spazio e il tempo assoluti. L'idea di fondo è che gli elementi irrilevanti corrispondenti a una situazione di simmetria costituiscano una "struttura teorica superflua", la cui eliminazione non comporta differenze osservabili ed è quindi auspicabile. Tale concezione, per quanto possa sembrare naturale, si fonda tuttavia su una identificazione tra irrilevante e inosservabile che non è per nulla ovvia: una cosa è per esempio affermare che la particolare collocazione nello spazio del sistema di riferimento non è rilevante per la formulazione di una legge fisica, un'altra cosa è sostenere l'impossibilità di osservare, di fatto, una posizione assoluta.

5. Una questione aperta

Che cosa rappresentano, in definitiva, le simmetrie fisiche? Proprietà della natura, strumenti concettuali, l'espressione di condizioni di oggettività o di strutture teoriche superflue?

Come si è visto, nel riflettere sul ruolo e significato delle simmetrie nelle teorie fisiche contemporanee ci si trova a riflettere sulle metodologie, strategie e, in definitiva, sul significato stesso della scienza fisica. Da una parte, le simmetrie sono diventate uno degli ingredienti di base della ricerca fisica, acquistando una posizione centrale nell'elaborazione e controllo delle teorie fondamentali e fornendo lo strumento ideale per il programma di una progressiva unificazione teorica. Dall'altra parte, le simmetrie fisiche hanno anche un'importante funzione epistemologica. Sulla base del ruolo delle simmetrie, si aprono nuovi punti di vista per la discussione di tradizionali questioni della filosofia della scienza, come quelle dei rapporti tra le teorie o della natura degli oggetti fisici; ma, soprattutto, discutendo del significato delle simmetrie fisiche si arriva a trattare di questioni come la realtà o meno di ciò di cui parlano le teorie, i criteri di

oggettività e le condizioni di possibilità della conoscenza fisica, i limiti inerenti al nostro modo di procedere nella descrizione del mondo dei fenomeni e l'impossibilità di osservare determinate grandezze.

In definitiva: la questione interpretativa a cui danno origine le simmetrie fisiche non è facilmente risolvibile, ma questo perché coinvolge inevitabilmente una riflessione di carattere più generale sul significato e i metodi della stessa scienza fisica.

NOTE

¹ Per un'analisi più dettagliata di questi diversi significati assunti dal termine "simmetria" nel corso della sua storia, e in generale per una trattazione più approfondita degli argomenti presentati in questo lavoro mi permetto di rimandare a [1] e [2].

² Una notevole illustrazione di tutte le possibili classificazioni della teoria della simmetria è rappresentata da [5].

³ La connessione, sancita in forma esplicita nel 1918 da un noto teorema della matematica tedesca Emmy Noether, mette in rapporto le invarianze delle equazioni dinamiche rispetto a determinati gruppi di trasformazioni con la conservazione (invarianza nel tempo) di determinate grandezze: per cui, per esempio, all'invarianza dell'equazione dinamica rispetto alle traslazioni temporali è connessa la conservazione dell'energia, all'invarianza rispetto alle traslazioni spaziali è connessa la conservazioni dell'impulso, all'invarianza rispetto alle rotazioni è connessa la conservazioni del momento angolare.

⁴ Si pensi alla corrispondenza dell'invarianza delle leggi fisiche per traslazione delle coordinate spaziali con l'equivalenza di tutti i punti dello spazio (proprietà di omogeneità dello spazio), dell'invarianza delle leggi fisiche per rotazioni spaziali con l'equivalenza di tutte le direzioni (isotropia dello spazio), dell'invarianza per traslazioni temporali con l'equivalenza degli istanti di tempo (uniformità del tempo). Le trasformazioni di velocità uniforme possono anch'esse essere interpretate in termini geometrici, e precisamente come operazione di rotazione, ma in uno spazio quadridimensionale: lo spazio-tempo di Minkowski.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Brading, K., Castellani, E. (a cura di), *Symmetries in physics. Philosophical reflections*, Cambridge University Press, Cambridge 2003.
- [2] Castellani, E., *Simmetria e natura. Dall'armonia delle figure all'invarianza delle leggi*, Laterza, Roma-Bari 1999.
- [3] Dirac, P. A. M., *The Principles of quantum mechanics* [1930], Oxford University Press, Oxford 1958.
- [4] Lee, T. D., *Particle physics and introduction to field theory*, Harwood, New York 1988.
- [5] Shubnikov, A. V. , Koptsik, V. A., *Symmetry in science and art*, Plenum Press, London 1974.
- [6] Weyl, H., *La simmetria*, Feltrinelli, Milano 1962 (ed. originale *Symmetry*, Princeton University Press, Princeton 1952).
- [7] Wigner, E. P., *Symmetries and reflections*, Indiana University Press, Bloomington 1967.

LHC: I FISICI ITALIANI AL CERN DI GINEVRA*

ROBERTO CASALBUONI

Dipartimento di Fisica, Università di Firenze

1. Introduzione

Il 10 Settembre 2008 è stata ufficialmente inaugurata, al CERN di Ginevra, la più grande macchina acceleratrice di particelle mai realizzata. Si tratta del Large Hadron Collider (LHC), una macchina destinata a studiare le collisioni tra due fasci di protoni, ognuno dei quali è accelerato sino ad una energia di 7 TeV¹. Il CERN² è un centro europeo fondato nel 1954 a Ginevra, finanziato da venti paesi europei, con il compito di studiare la fisica delle particelle elementari. L'Italia si adoperò moltissimo per la costituzione del CERN, in particolare sotto la spinta di Edoardo Amaldi, fisico romano e collaboratore di Enrico Fermi. Il CERN ha una storia importante nella fisica delle particelle, perché moltissime scoperte sono state effettuate presso le varie macchine acceleratrici che si sono via via succedute nel tempo. Basti qui ricordare la scoperta dei mediatori delle interazioni deboli, i bosoni W e Z, da un team di fisici (tra cui molti italiani) guidati da Rubbia. La più recente macchina acceleratrice costruita al CERN è appunto il collisionatore LHC. Per capire le ragioni che hanno portato alla sua costruzione, inizieremo facendo una breve rassegna del modello che attualmente è considerato la base di questo tipo di fisica: il modello standard delle interazioni elettrodeboli. Come vedremo, questo modello non è completamente verificato sperimentalmente e inoltre presenta alcuni problemi che potrebbero essere risolti dagli esperimenti che verranno eseguiti a questa nuova macchina.

2. Il modello standard delle particelle elementari

Le ricerche moderne sulla struttura della materia iniziarono alla fine dell'Ottocento con la scoperta dell'elettrone. Successivamente fu stabilita la struttura dell'atomo, formata da un nucleo centrale di carica positiva circondato da elettroni in numero tale da rendere elettricamente neutro l'atomo. A sua volta il nucleo risulta composto da protoni, particelle di carica positiva e massa pari a quasi 2000 volte quella degli elettroni, e da neutroni, particelle neutre con massa quasi uguale a quella dei protoni. La carica dei protoni è esattamente uguale e opposta a quelle degli elettroni e quindi la neutralità dell'atomo è assicurata dall'aver ugual numero di elettroni e di protoni. A causa di

* Lezione tenuta a Carrara il 26 ottobre 2009 presso il Liceo scientifico Marconi e a Scandicci (Firenze) il 9 novembre 2009 presso l'Istituto Russell-Newton, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

questa relazione, torna utile usare come unità di misura della carica elettrica la carica del protone. Quindi il protone, in queste unità di misura, ha carica +1 e l'elettrone -1. Il neutrone ha invece carica 0.

Negli anni Settanta è stato poi scoperto (sebbene già supposto precedentemente per via teorica) che il protone e il neutrone sono composti da nuove particelle, i quark. I quark hanno carica frazionaria e sia il protone che il neutrone sono costituiti da tre quark. I quark costituenti sono di due tipi il tipo "up" (abbreviato u) e il tipo "down" (abbreviato d). Il quark u ha carica +2/3 mentre il d ha carica -1/3. Quindi il protone ha una struttura uud, mentre il neutrone ddu. Fin qui le particelle elementari sembrerebbero essere l'elettrone, il quark u ed il quark d. A queste andrebbe aggiunto il neutrino, la cui esistenza fu predetta da Pauli negli anni Trenta. Queste quattro particelle, che indicheremo con ν , per neutrino, e per elettrone, u e d per i quark, costituiscono quella che viene chiamata la prima famiglia delle particelle elementari, dato che nel corso degli anni gli esperimenti hanno portato alla scoperta di altre due famiglie, costituite da particelle del tutto simili a quelle della prima famiglia ma di massa via via crescente.

Leptoni	Massa(Gev/c ²) ³	Carica elettrica	Quark	Massa(Gev/c ²)	Carica elettrica
ν_e	<10 ⁻⁸	0	u	3x10 ⁻³	+2/3
E	5x10 ⁻⁴	-1	d	6x10 ⁻³	-1/3
ν_μ	<2x10 ⁻⁴	0	c	1.3	+2/3
μ	0.1	-1	s	0.1	-1/3
ν_τ	<0.02	0	t	175	+2/3
τ	1.8	-1	b	4.3	-1/3

Tavola 1. Le tre famiglie corrispondono alle righe orizzontali della tabella. Nella prima riga a sinistra ci sono l'elettrone, il suo neutrino ed i quark u e d. Analogamente per le altre due famiglie. Le particelle corrispondenti all'elettrone si chiamano muone (μ) e tau (τ). Le particelle corrispondenti ai quark u e d sono i quark charm (c) e strano (s) della seconda riga e top (t), bottom (b) della terza. Le particelle alla sinistra della riga centrale più spessa si chiamano leptoni (dal greco "lepton", che significa "sottile", "leggero") perché sono in genere più leggere di quelle sulla destra, mentre quelle sulla destra si chiamano genericamente quark.

Le particelle elementari fin qui scoperte sono illustrate nella Tavola 1. In particolare, la linea divisoria al centro della Tavola separa le particelle in due gruppi, a sinistra i leptoni ed a destra i quark.

3. Le interazioni fondamentali

Le forze conosciute in natura sono di quattro tipi.

- La prima è l'interazione *gravitazionale*, responsabile del moto dei pianeti e la cui manifestazione più nota è il fatto che tutti i corpi cadono.
- Ci sono poi le interazioni *elettromagnetiche*, cioè quelle che danno luogo alle forze elettriche e magnetiche;

- e le interazioni *forti*, responsabili del legame nucleare. Infatti, se non ci fosse una forza ulteriore, i protoni del nucleo si respingerebbero, dato che le interazioni elettriche sono enormemente più grandi di quelle gravitazionali (vedi oltre), e non si avrebbe dunque la stabilità nucleare. Quindi deve esistere un'altra forza, o interazione, detta interazione forte (perché deve essere più grande di quella elettromagnetica).
- Esistono infine le interazioni *deboli*, che sono le responsabili dei decadimenti radioattivi.

È interessante conoscere in quale rapporto stiano tra loro le varie forze. A questo scopo si può calcolare quanto valgono se le riferiamo a due protoni. Se facciamo uguale a uno la corrispondente forza elettromagnetica si ha:

$$\text{Forza elettromagnetica} = 1$$

$$\text{Forza forte} = 20$$

$$\text{Forza debole} = 10^{-7}$$

$$\text{Forza gravitazionale} = 10^{-36}$$

Come si vede, la forza gravitazionale è enormemente più piccola di tutte le altre e per questo motivo viene spesso ignorata quando si discutono le interazioni delle particelle elementari.

Nella descrizione classica le interazioni sono trattate in termini ondulatori. Pensiamo al lancio di un sasso in uno stagno. Il sasso entrando nell'acqua genera delle onde che si propagano nello stagno. Analogamente per il campo elettromagnetico, una carica oscillante produce un campo elettrico (con associato un campo magnetico) che si propaga nello spazio. L'interazione tra due cariche si genera perché ognuna delle due cariche emette un campo elettromagnetico che, arrivando sull'altra, carica genera una forza. Ovviamente le due forze sono uguali e opposte. Lo stesso meccanismo si applica a tutte le altre interazioni. La descrizione quantistica è alquanto diversa perché dipende dal tipo di osservazione che viene effettuata. Per esempio, quando un'onda viene assorbita da un sistema atomico non si comporta affatto come un'onda, come invece succede durante la sua propagazione. Quando viene assorbita si comporta come una particella, viene cioè assorbita tutta insieme, invece che un poco alla volta.

Si dice che a ogni onda è associato un quanto (o particella). I quanti associati alle interazioni elettromagnetiche sono i fotoni, mentre quelli associati alle interazioni gravitazionali vengono detti gravitoni. Quelli associati alle interazioni forti gluoni⁴ e infine i quanti delle interazioni deboli sono le particelle W (di cariche elettriche +1 e -1) e la particella Z di carica nulla. Queste ultime particelle furono scoperte al CERN dal gruppo di Rubbia a metà degli anni Ottanta. Le stranezze della meccanica quantistica non finiscono qui, perché in modo perfettamente simmetrico a ogni particella materiale, come i quark, viene associato un campo. Avremo dunque un campo associato all'elettrone, un altro campo associato al quark u, eccetera. Quindi la meccanica quantistica non fa una reale distinzione tra materia e interazioni, almeno dal punto di vista della loro de-

scrizione. Questi elementi, le particelle elementari di Tavola 1 e le tre interazioni, forte, elettromagnetica e debole, sono i pilastri su cui si basa il cosiddetto modello standard. Come vediamo l'interazione gravitazionale rimane fuori da questa descrizione.

Rispetto alle tre interazioni descritte dal modello standard – deboli, forti ed elettromagnetiche – i leptoni sono soggetti solo alle interazioni deboli ed elettromagnetiche. In particolare i neutrini, essendo neutri, risentono solo delle interazioni deboli. Dunque i leptoni non sono soggetti alle interazioni forti. Viceversa i quark subiscono tutti e tre i tipi di interazioni.

Il modello standard è stato verificato sperimentalmente con ottima precisione sia grazie all'acceleratore elettrone-positrone⁵ (chiamato LEP) al CERN di Ginevra, sia grazie all'acceleratore di Stanford in California, e fino a ora non ci sono evidenze sperimentali che lo smentiscano. Però ci sono dei seri dubbi teorici sul fatto che il modello standard possa rimanere valido allorché lo si vada a verificare a energie più grandi di quelle finora usate (circa 220 GeV al CERN). Vediamo di capire perché i teorici hanno un tale dubbio nonostante le evidenze sperimentali. Così come lo abbiamo presentato sino a questo momento, il modello standard non è completo, manca di un elemento fondamentale, la cosiddetta particella di Higgs. La formulazione precedente del modello standard, con le particelle elementari divise in quark e leptoni e le tre forze, è consistente da un punto di vista matematico solo se ci sono particolari relazioni tra le interazioni di una data forza con le varie particelle.

Come si dice, si devono avere delle particolari simmetrie, altrimenti la teoria non è matematicamente consistente. Si può però mostrare che affinché queste simmetrie siano operanti, tutte le particelle (quark, leptoni e i quanti delle interazioni) devono essere rigorosamente a massa nulla⁶. D'altra parte, sperimentalmente, tutti i quark e i leptoni (inclusi i neutrini) hanno massa diversa da zero così come i quanti delle interazioni deboli, W e Z. Le uniche particelle a massa nulla sono i gluoni e il fotone (al solito qui stiamo trascurando la gravitazione). Un certo numero di ricercatori, tra cui Higgs, hanno mostrato che è però possibile conservare queste simmetrie anche con masse non nulle, purché si introduca una particella speciale. Questa particella è stata appunto chiamata particella di Higgs. Dato che lo scopo di questa particella è di fornire un meccanismo con cui dare massa a tutte le altre, nella teoria viene introdotta una scala di massa che ha un valore di circa 250 GeV. Le masse di tutte le altre particelle sono allora proporzionali a questa massa fondamentale⁷.

4. I problemi del modello standard

Discutiamo adesso i motivi per cui il modello standard non può essere la teoria finale. Infatti, la gravità non è incorporata nel modello e, inoltre, i tentativi fin qui realizzati portano a risultati non coerenti. Quindi il modello standard si può al più considerare come una teoria effettiva/efficace?, sicuramente valida sino alle energie fin qui studiate (~200 GeV), ma a energie più elevate potrebbero emergere fatti nuovi. Il modello standard dovrà essere modificato e, se non succede nient'altro, ci aspettiamo che questa modifica debba necessariamente avvenire prima di quelle energie (o masse) a cui la gravità diventa importante per le particelle elementari.

A causa della piccolezza dell'interazione gravitazionale, questa diventa importante solo a scale di massa molto grandi e viene misurata attraverso la Massa di Planck, M_p , che vale circa 10^{19} GeV/ c^2 . Ciò non sarebbe necessariamente un problema, se non fosse che in una teoria effettiva di questo tipo, e in mancanza di situazioni particolari, le masse delle particelle devono essere tutte dell'ordine della massa sino alla quale la teoria è corretta. Per quark e leptoni questa situazione particolare è infatti presente. La simmetria che rende il modello consistente permette anche di controllare le masse e di poterle prenderle piccole a piacere. Ciò però non vale per la massa dell'Higgs, che dovrebbe quindi essere dell'ordine di M_p . Il punto è che la teoria dipende dal valore di questa massa e gli esperimenti fatti al CERN e a Stanford mostrano che, se il modello standard deve valere, allora la massa dell'Higgs deve essere dell'ordine della scala tipica del modello standard (~ 250 GeV). Quindi cadiamo in una palese contraddizione.

Il motivo principale, che ha spinto i fisici delle particelle a una impresa così importante come la costruzione di LHC, è appunto la possibilità di risolvere queste problematiche. Quello che ci aspettiamo da LHC è che porti alla scoperta del bosone di Higgs e delle sue caratteristiche. Questo ci permetterebbe di capire meglio la validità del modello standard. Inoltre, ci sono molti modelli che cercano di eliminare le difficoltà di cui abbiamo parlato, tramite l'introduzione, nella teoria, di nuove particelle. Quindi l'aspettativa dei fisici è che LHC sia in grado di suggerire come debba essere modificato il modello standard affinché possa diventare una teoria completamente coerente.

5. Come si osserva?

Per capire i meccanismi sui quali si basa una macchina come LHC per investigare le proprietà delle particelle subatomiche, iniziamo a discutere sul come facciamo a vedere un oggetto. Questo ci permetterà di esporre i principi generali dell'osservazione fisica. Il principio generale di osservazione è esemplificato nella Figura 1.

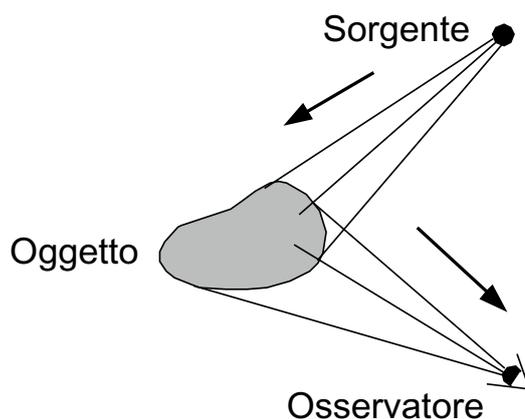


Figura 1. La luce emessa dalla sorgente viene riflessa dall'oggetto e assorbita dall'occhio dell'osservatore.

Per osservare l'oggetto abbiamo bisogno di una sorgente luminosa. I raggi della sorgente vengono riflessi dall'oggetto e vanno poi a colpire l'occhio dell'osservatore che 'vede'

in questo modo l'oggetto. Inoltre, al fine di una buona osservazione, è necessario che la lunghezza d'onda della luce sia molto più piccola dell'oggetto da esaminare. In Figura 2 viene mostrata un'onda marina, che incontra un bastone di dimensioni trasversali piccole rispetto alla lunghezza d'onda. Il risultato è che l'onda prosegue indisturbata e quindi, osservando l'onda uscente, non siamo in grado di dire se questa ha incontrato un oggetto oppure no. Se invece le dimensioni dell'oggetto incontrato sono grandi, per esempio uno scoglio, l'onda si infrange producendo risultati ben visibili da parte di un eventuale osservatore. Questo spiega perché in astronomia si usano diverse lunghezze d'onda a seconda del tipo di indagine si vuol fare.

$$\lambda = 1\text{m}$$

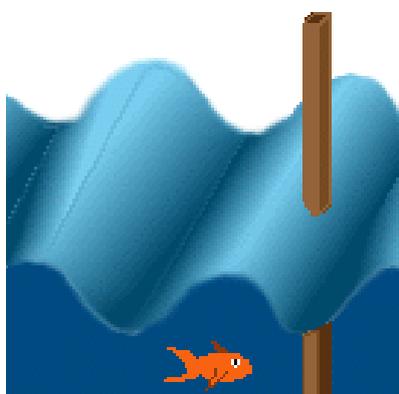


Figura 2. La figura rappresenta un'onda marina che incontra un ostacolo costituito da un bastone di dimensioni trasversali molto più piccole della lunghezza d'onda.

Un altro punto importante è che per la radiazione luminosa esiste una relazione precisa tra frequenza, ν , e lunghezza d'onda, λ , che è data da $\lambda = c/\nu$. Quindi, per vedere (o rivelare) oggetti piccoli, occorrono radiazioni di frequenza elevata (lunghezza d'onda piccola). È a questo punto che interviene la meccanica quantistica che ci dice che la radiazione luminosa è composta da corpuscoli (fotoni), la cui energia è legata alla frequenza dell'onda dalla relazione $E = h\nu$, dove h è la costante di Planck che vale 6.626×10^{-34} Joule per secondo.

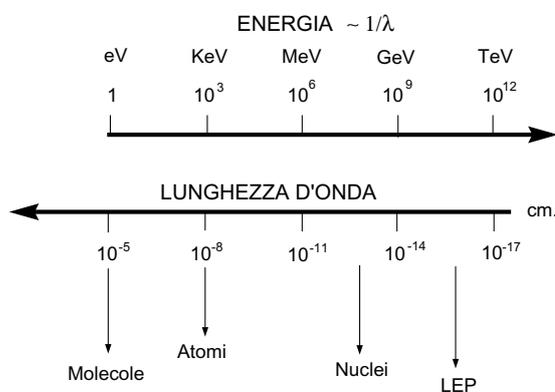


Figura 3. Corrispondenza tra scale di energia e di lunghezza.

Questo duplice aspetto corpuscolare-ondulatorio non è caratteristico della sola radiazione luminosa ma di tutte le particelle. Cioè, ad ogni particella come l'elettrone, i quark, ecc., è associata un'onda di frequenza pari a E/h , dove E è l'energia della particella. Dunque vediamo che, per esplorare le caratteristiche di oggetti molto piccoli, dobbiamo fare uso di particelle di grande energia, che quindi corrispondono a onde associate di piccola lunghezza d'onda. Questa corrispondenza tra scale di energia e scale di lunghezza è visualizzata in Figura 3. Quindi, l'energia necessaria per 'vedere' le molecole è dell'ordine dell'elettronvolt, mentre l'energia necessaria per vedere il nucleo è dell'ordine di un centinaio di MeV. Le energie raggiunte da LEP, che era la macchina del CERN preesistente a LHC, corrispondono a dimensioni di circa $10^{-15} - 10^{-16}$ cm. Con LHC (~ 10 TeV) si arriverà a dimensioni dell'ordine di 10^{-18} cm.

6. Gli acceleratori di particelle

Come abbiamo visto, per studiare distanze piccole occorrono grandi energie. A questo scopo si costruiscono delle macchine (acceleratori di particelle) che, tramite l'uso di campi elettrici, accelerano delle particelle (l'analogo della sorgente) elettricamente cariche, sino a fornirle dell'energia desiderata. A questo punto si fanno collidere con altre particelle (che costituiscono il bersaglio) e, tramite appositi rivelatori (l'analogo dell'occhio umano), si studiano le proprietà del bersaglio.

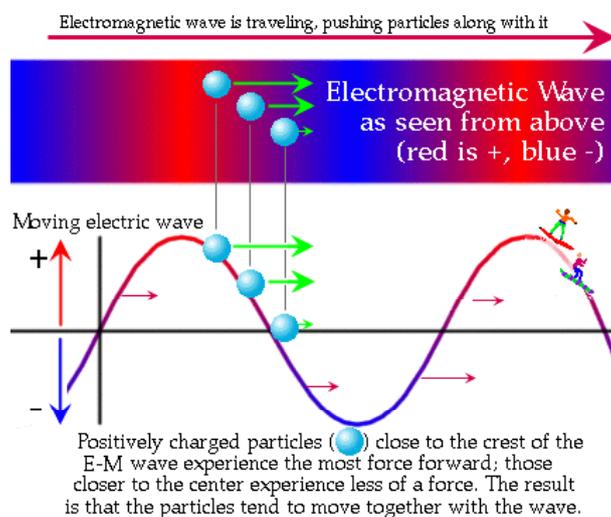


Figura 4. Illustrazione del principio di accelerazione coerente di un fascio di particelle.

La Figura 4 illustra come sia possibile accelerare in maniera coerente le particelle che stanno in un fascio e che hanno inizialmente velocità diverse. L'onda elettromagnetica, prodotta da un dispositivo a radiofrequenza, accelera maggiormente le particelle che stanno sulla sinistra (che quindi si muovevano più piano), rispetto a quelle più a destra che si muovevano più velocemente. L'effetto finale è che le particelle seguono in maniera coerente la cresta dell'onda così come fa un surfista. Gli acceleratori possono essere

lineari o circolari. In quest'ultimo caso le particelle vengono riaccelerate tutte le volte che percorrono la circonferenza, sino al momento in cui vengono 'estratte' per farle collidere sul bersaglio. Infine si distingue tra acceleratori a bersaglio fisso e acceleratori a bersaglio mobile. Gli acceleratori a bersaglio mobile (detti anche collisionatori) sono particolarmente interessanti perché si compongono di due fasci accelerati in direzioni opposte. Questo tipo di macchine acceleratrici si è sviluppato in Italia, a Frascati, nel 1960. Il primo prototipo fu costruito a Frascati su progetto di Bruno Toushek, un fisico austriaco che era venuto a lavorare nel nostro paese. Questo prototipo si chiamava AdA (Anello di Accumulazione) e i due fasci consistevano di elettroni e di positroni (le antiparticelle degli elettroni e quindi di carica positiva). Dato che la direzione del moto di una particella carica in un campo elettrico dipende dal segno della carica, i due fasci si muovono in direzione opposta usando un solo campo elettrico. Inoltre, il vantaggio di una macchina di questo tipo è che si sfrutta tutta l'energia dei due fasci per la collisione, mentre in una macchina a bersaglio fisso se ne sfrutta una parte più modesta. In conseguenza i consumi e le dimensioni dei collisionatori sono più piccoli di quelli degli acceleratori a bersaglio fisso.

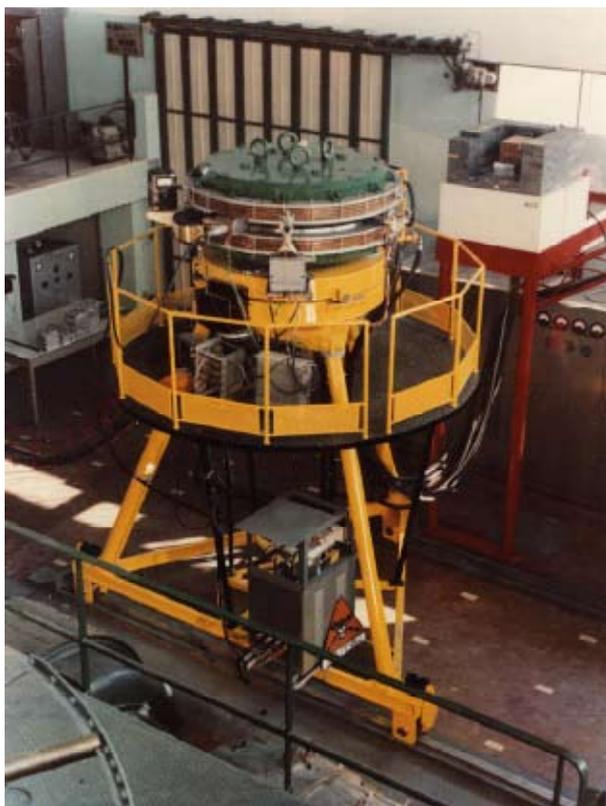


Figura 5. Il primo collisionatore elettrone-positrone (AdA) costruito nei Laboratori Nazionali di Frascati nel 1960. Le sue dimensioni sono dell'ordine di quelle di un normale tavolo.

Un ulteriore vantaggio dei collisionatori è che permettono la produzione di nuove particelle anche di massa superiori a quelle originarie, sfruttando la relazione massa-energia di

Einstein. Questo è illustrato in Figura 6 dove, se all'elettrone (e^-) ed al positrone (e^+) iniziali viene conferita una energia tale che l'energia della coppia sia superiore a $2 m_N c^2$ (con m_N abbiamo indicato la massa della particella N e della sua antiparticella N^*), è allora possibile produrre la coppia NN^* . Questo processo avviene tramite l'annichilazione della coppia elettrone-positrone in un fotone che poi si materializza in una coppia NN^* .

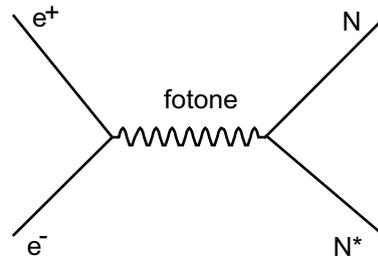


Figura 6. La creazione di una coppia di nuove particelle NN^* , tramite l'annichilazione della coppia elettrone-positrone che costituiscono i fasci del collisionatore.

7. Gli apparati di rivelazione (rivelatori)

Discuteremo qui la struttura degli apparati di rivelazione che vengono usati con i collisionatori. Si tratta in genere di grossi apparati inseriti lungo la linea dei fasci, con al centro la zona di collisione. In Figura 7 è rappresentato, in modo schematico, un tipico rivelatore.

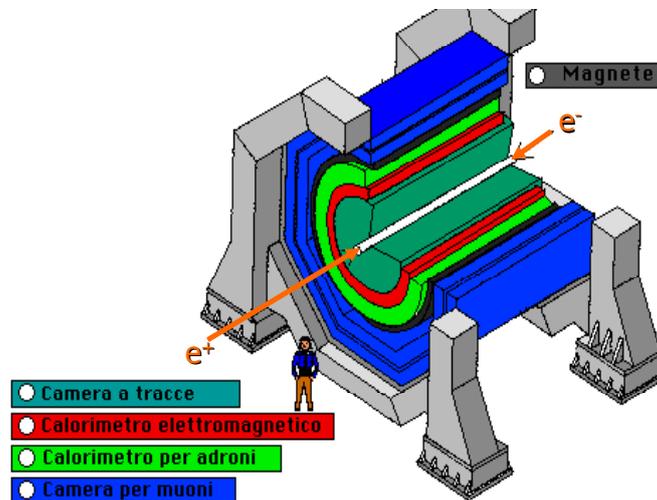


Figura 7. Un tipico rivelatore di particelle.

L'apparato è costituito da una serie di camere concentriche, ognuna con una sua propria funzione. A partire dal centro si ha la camera a tracce che rivela particelle cariche, si ha poi il calorimetro elettromagnetico nel quale si fermano, perdendo tutta la loro energia, le particelle leggere che hanno solo interazioni elettromagnetiche come gli elettroni ed i fotoni. Nel calorimetro adronico si fermano le particelle soggette alle interazioni forti, come i protoni e i neutroni. Infine i muoni⁸, μ , vengono rivelati nelle apposite camere più esterne. Al fine di una identificazione del segno della carica, tutto

il rivelatore è immerso in un campo magnetico. Infatti le particelle cariche che si muovono in un campo magnetico curvano a destra o a sinistra a seconda del segno della carica. Questa diversità di operazioni effettuate dalle singole camere permette una facile identificazione dei diversi tipi di particella, come si vede dalla Figura 8.

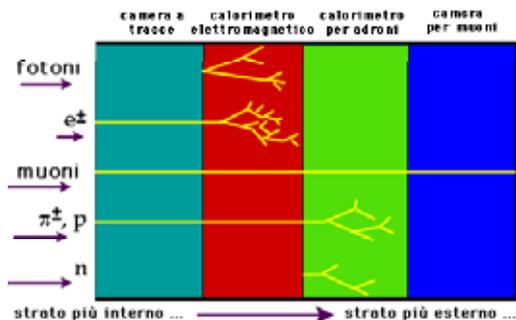


Figura 8. Le varie camere permettono l'identificazione dei diversi tipi di particelle.

Per esempio, i fotoni non lasciano traccia nella prima camera, ma sono osservati nel calorimetro elettromagnetico. Gli elettroni lasciano una traccia nella prima camera e depositano la loro energia nella seconda.

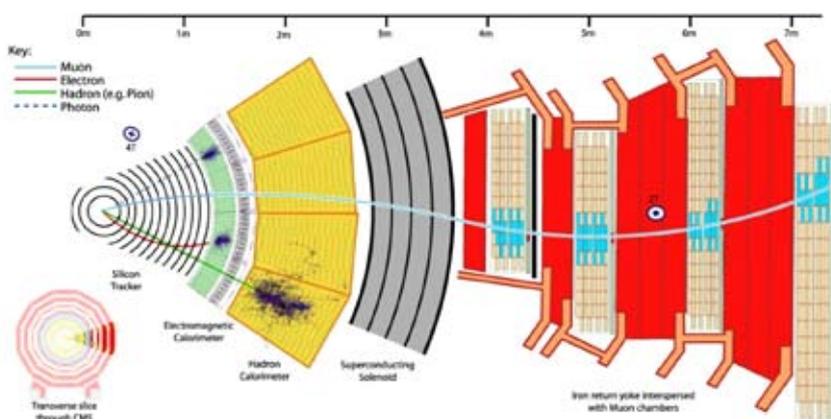


Figura 9. Schema del rivelatore CMS (compact magnetic solenoid).
Parte fondamentale di uno dei vari esperimenti che verranno effettuati ad LHC.

I pioni carichi (π^+ , π^-) lasciano traccia nelle prime due camere e finiscono nella terza. Mentre i neutroni, non avendo carica elettrica, non sono visibili nelle prime due camere, ma depositano la loro energia nel calorimetro adronico. Infine i muoni lasciano una traccia in tutte le camere e spesso escono fuori dal rivelatore stesso. In Figura 9 abbiamo riportato lo schema del rivelatore CMS che è uno dei grossi rivelatori installati al collisionatore LHC. Come si vede, segue esattamente lo schema generale che abbiamo illustrato.

8. Il CERN, LHC e il contributo dei fisici italiani

LHC è una macchina acceleratrice circolare che è stata realizzata presso il CERN di Ginevra, [1], utilizzando il tunnel che era stato costruito negli anni Ottanta per ospi-

tare un collisionatore di elettroni su positroni, il LEP. All'interno di LHC circolano invece due fasci di protoni. Prima di entrare più in dettaglio nelle caratteristiche della macchina, parliamo più in generale del CERN di Ginevra. Come abbiamo già detto, questo Laboratorio, fortemente voluto dalla comunità europea e in particolare dall'Italia, è stato fondato nel 1954 al confine tra Svizzera e Francia.



*Figura 10. Una vista aerea dell'area CERN.
La locazione principale si trova alla sinistra della circonferenza più piccola.*

In Figura 10 mostriamo una vista aerea dell'area del CERN. La locazione principale è alla sinistra della circonferenza piccola che corrisponde all'acceleratore SpS (quello in cui furono scoperti da Rubbia e collaboratori le particelle W e Z) e che attualmente funziona da preacceleratore di LHC. Il tunnel di LHC corrisponde alla circonferenza più grande lunga circa 27 Km. Nella foto, in primo piano, è visibile l'aeroporto di Ginevra con le piste di decollo e di atterraggio. La linea tratteggiata è il confine tra Francia e la Svizzera.

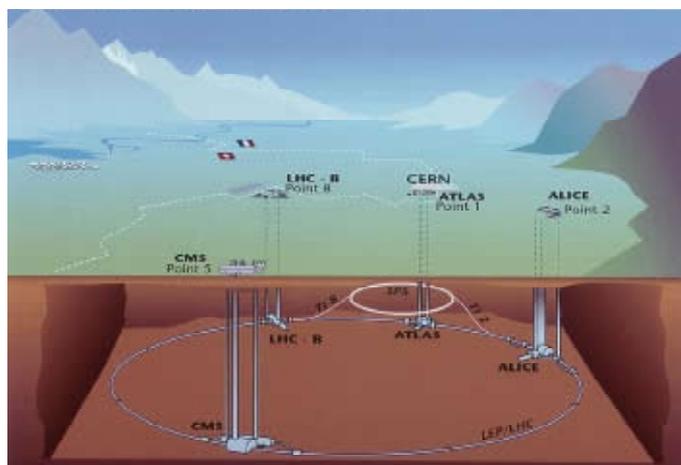


Figura 11. Rappresentazione schematica di LHC e delle aree sperimentali.

Nella Figura 11 sono rappresentate le aree sperimentali di LHC, cioè le aree dove sono posizionati i rivelatori. I due grossi rivelatori dedicati alla ricerca della particella di Higgs sono ATLAS e CMS. LHCb e ALICE sono altri due rivelatori dedicati a esperimenti più specifici e che non abbiamo qui la possibilità di descrivere. Il tunnel di LHC è posizionato a una profondità variabile tra 50 e 175 metri. Il tunnel ha una larghezza di circa 4 metri (vedi Figura 12) e come abbiamo detto si estende per 27 Km. Nel tunnel viaggiano, in direzione opposta, due fasci di protoni che, con opportuni campi magnetici, vengono deflessi per poi farli collidere nelle quattro aree sperimentali. L'energia dei protoni in ogni fascio sarà di circa 7 TeV per una energia complessiva a disposizione di 14 TeV. A queste energie ciò che realmente avviene è un urto tra i componenti elementari del protone, cioè tra i quark. Quindi la vera energia da considerare, ai fini dei processi elementari, è più piccola e dell'ordine di alcuni TeV. È interessante sapere che a queste energie i protoni hanno una velocità pari al 99,9999991% della velocità della luce.



Figura 12. Il tunnel di LEP con il tubo che trasporta i due fasci di protoni.

Ovviamente il costo energetico per mantenere i campi elettrici e magnetici necessari al funzionamento di LHC è molto elevato, ma il costo è stato molto ridotto tramite l'uso massiccio della superconduttività, che permette la trasmissione delle correnti elettriche con dispersioni del tutto trascurabili. In pratica, i tubi (nei quali scorrono i protoni e i magneti che li guidano) sono tenuti a una temperatura molto vicina alla zero assoluto, pari a 1,9 °K. Questa temperatura è mantenuta facendo uso di elio liquido raffreddato. La quantità di elio liquido a queste temperature, usata a LHC, è circa 100 tonnellate, la più elevata su tutto il nostro pianeta.

Veniamo ora a discutere il ruolo dei fisici italiani a questa avventura scientifica unica nel suo genere⁹. Occorre premettere che il ruolo degli italiani al CERN è sempre stato di grande rilevanza. A partire da Edoardo Amaldi, che è stato uno dei maggiori propugnatori dell'idea di un laboratorio di fisica europeo, e che ne è stato Vice-Presidente del Consiglio nel periodo 1961-63 e Presidente nel 1970-71. La struttura generale del CERN prevede un Direttore Generale che sovrintende tutta la gestione della struttura e nel periodo 1954-77 abbiamo avuto tre italiani investiti di questa ca-

rica, Edoardo Amaldi, Carlo Rubbia e Luciano Maiani. Inoltre, la politica scientifica del CERN viene definita dall' SPC (Scientific Policy Committee). In questo comitato, sempre nel periodo considerato in precedenza (1954-77), ci sono stati ben 12 italiani. Ampia è stata anche l'impegno su altre cariche come Direttori di Ricerca (7), Direttori degli Acceleratori (3) e Capi Divisione (10).

Per quanto riguarda in particolare, LHC, l'Italia ha contribuito alla costruzione sia della macchina sia degli apparati di rivelazione con un impegno umano di circa seicento fisici. È interessante sapere che due donne sono le coordinatrici dei fisici italiani nei due esperimenti più grandi (ATLAS e CMS); e, ancora, un'italiana è diventata di recente la responsabile internazionale dell'esperimento ATLAS, così come sono italiani i vice-rappresentanti dei tre maggiori esperimenti e il capo della divisione ricerca.

Anche l'industria italiana ha avuto una parte importante nella costruzione di LHC, in particolare per le parti superconduttive. Dato che LHC è stato finanziato dal CERN con il suo budget ordinario, il contributo finanziario dell'Italia è da calcolarsi sulla base del suo contributo ordinario, ovvero il 12,3% dell'intero bilancio CERN. Complessivamente l'Italia ha sborsato 77 milioni di Euro con un ritorno dalle commesse del CERN a industrie italiane pari a 88 Milioni. Inoltre, tutte le attività della fisica italiane sono coordinate dal nostro INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) che ha sezioni presso tutte le maggiori Università italiane. Quindi nel ritorno alle industrie è anche da considerare tutto quello che le singole sezioni INFN hanno speso per finanziare la loro parte di ricerca ad LHC. Complessivamente l'Italia è terza nelle tecnologie del vuoto e della criogenia (parti fondamentali della tecnologia superconduttrice) ed è seconda nei settori di ingegneria civile, meccanica ed elettrica. Risulta seconda anche nel calcolo complessivo delle forniture, dietro alla Francia e davanti alla Germania.

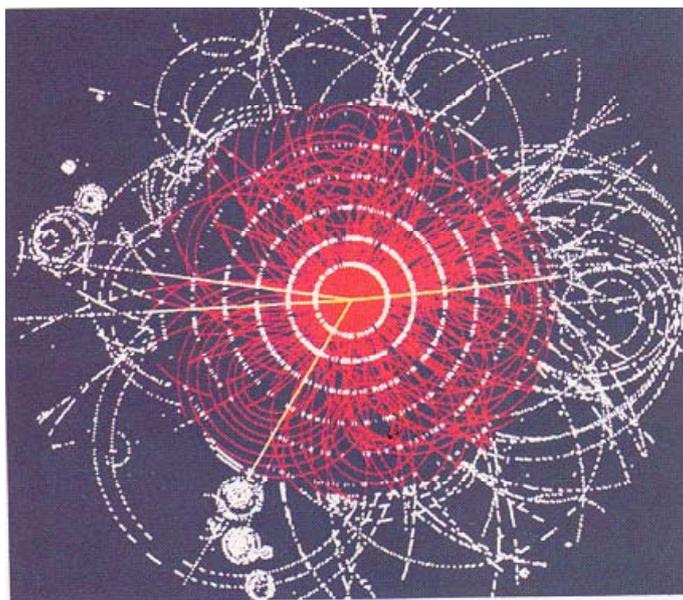


Figura 13. La ricostruzione di una collisione ad LHC.

Un altro punto molto importante da sottolineare è l'impegno nel settore del calcolo computerizzato. In ogni singola collisione a LHC vengono prodotte molte decine di particelle (vedi Figura 13) per ognuna delle quali il sistema del rivelatore fornisce tutte le informazioni necessarie, quali carica, massa, traiettoria ecc. Inoltre gli eventi si susseguono a intervalli di tempo microscopici. Il flusso di dati corrispondente è circa di 300 Gigabyte/sec. Dato che si studiano eventi con caratteristiche particolari, esiste un sistema di filtraggio che permette di rigettare moltissimi degli eventi osservati e di ritenere solo quelli interessanti. Questo dà luogo a un flusso di dati filtrati pari a 300 Megabyte/sec. L'elaborazione di un flusso di dati così imponente ha richiesto la messa a punto di un sistema di calcolo diffuso a livello globale, la rete di supercalcolo GRID, della quale l'INFN è stato uno degli attori fondamentali. Inoltre l'INFN sta coordinando il progetto di ampliamento della rete GRID nei paesi asiatici, in modo particolare Cina e India.

In definitiva, LHC rappresenta uno sforzo enorme della collettività mondiale, dato che negli esperimenti sono coinvolti fisici di tutto il mondo. Come abbiamo già detto, l'inaugurazione ha avuto luogo il 10 Settembre 2008 ed è stata verificata la funzionalità dei fasci. Purtroppo un incidente di tipo elettrico ha prodotto danni alla macchina. La macchina è stata adesso riparata e questo autunno ha ricominciato a funzionare superando l'energia record di 2 TeV. Se tutto andrà come ci si aspetta a partire dal 2010 arriveranno i primi risultati di fisica.

Ovviamente i fisici delle particelle di tutto il mondo sono in fremente attesa dei primi dati che arriveranno da questa macchina e che potranno portare una nuova luce sui meccanismi che regolano la materia e le sue interazioni.

NOTE

¹ Nella fisica delle particelle elementari le energie si misurano facendo uso dell'elettronvolt (eV), cioè, l'energia che un elettrone acquista passando attraverso una differenza di potenziale di 1 Volt. I multipli più usati dell'eV sono il MeV = 10^6 eV, il GeV = 10^9 eV ed il TeV = 10^{12} eV.

² Il nome CERN deriva dalla denominazione, in francese, del Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, organo fondato nel 1952 con il compito di creare un centro di fisica fondamentale in Europa. Quando fu istituito ufficialmente nel 1954, prese il nome di European Organization for Nuclear Research, ma mantenne l'acronimo originale.

³ Dalla relazione di Einstein $E=mc^2$ segue che le masse hanno dimensioni di una energia divisa per il quadrato di una velocità e quindi si misurano in eV/c².

⁴ Gluoni origina dalla parola inglese "glue" che significa colla. Cioè i gluoni 'incollano' assieme i quark all'interno del nucleo.

⁵ I positroni sono le antiparticelle degli elettroni. Sono cioè identici agli elettroni, salvo per la loro carica che è opposta, hanno cioè carica +1. Lo stesso è vero per tutte le particelle di Tavola 1: a ogni particella è associata un'antiparticella con le stesse proprietà ma con carica opposta.

⁶ In teoria della relatività le dizioni «la particella ha massa nulla» o «la particella si muove a velocità pari a quella della luce» sono equivalenti.

⁷ Per una panoramica, vedi [2].

⁸ Particelle identiche agli elettroni ma con massa circa 200 volte più grande (vedi Tavola 1).

⁹ Un'ottima rassegna del contributo italiano al CERN è in [3] e [4].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Llewellyn Smith, C., Il Large Hadron Collider, *Le Scienze*, 476, 2008.
- [2] Maiani, L. (a cura di), *Le particelle fondamentali*, Le Scienze Quaderni, 103, 1998.
- [3] Menzinger, F. (a cura di), *L'Italia al CERN. Le ragioni di un successo*, INFN Laboratori Nazionali, Frascati 1995.
- [4] Petronzio, R., L'Italia nel Large Hadron Collider, *Le Scienze*, 476, 2008.

VENTI METRI DI PENSIERO*

MASSIMO DE MICCO

GIAMPAOLO MAZZA

GIANFRANCO STACCIOLI

Gruppo SperimentAzione, Federazione Italiana dei CEMEA

1. L'idea

I CEMEA hanno una lunga esperienza nel campo dell'educazione scientifica, ma i principi e i metodi cui s'ispira la nostra proposta hanno radici molto più antiche. I Greci facevano risalire questi principi all'eroe Palamede, attento osservatore dei fenomeni naturali, il quale aveva inventato molti giochi e trovato il modo di impiegarli in ambito formativo, partendo dall'idea che *insegnare* non significhi *travasare nozioni* ma *fare insieme delle scoperte*.

Sulle tracce di Palamede e dei tanti che, in tempi più vicini a noi, hanno condiviso quest'idea (Munari, Rodari, Lodi...), abbiamo partecipato al progetto Pianeta Galileo con il desiderio di giocare e fare scienza con i bambini che avremmo incontrato nelle scuole della Toscana.

L'obiettivo di partenza era quello di realizzare oggetti spinti dall'aria in modo da poter misurare e variare la velocità, calcolare la distanza percorsa e identificare ciò che può spingere o frenare gli oggetti. L'obiettivo finale è consistito invece nel dare ai bambini quanto poteva loro servire perché, giocando insieme, riuscissero a fare delle scoperte, confrontare i risultati e, partendo dalle loro domande e dalle loro idee, fare nuove esperienze.

2. La proposta

Abbiamo proposto a quattro classi elementari della provincia di Siena un percorso ludico-scientifico di un'ora e mezza. L'attività veniva introdotta dalla lettura della poesia *Il paese degli uomini a vento* di Gianni Rodari, nella quale si esprime l'importanza di seguire i propri pensieri, rispettare i propri tempi e non cedere al conformismo.

Ai bambini venivano poi mostrati alcuni congegni che riguardano in vari modi il tema della nostra proposta: l'aria. I bambini hanno visto in funzione un mulino a vento e un cannone ad aria.

A questo punto ci facevamo da parte, limitandoci a seguire la loro attività perché

* Lezione tenuta a Siena i giorni 13 e il 17 novembre 2009, nella Direzione Didattica 1° circolo della Scuola primaria G. Pascoli, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

potessero essere protagonisti della giornata. I bambini hanno formato delle coppie e ogni coppia ha preso una scatola e l'ha aperta. Nella scatola hanno trovato un foglio con le istruzioni su come utilizzare il materiale a loro disposizione per realizzare un binario sul quale far correre un palloncino. Lo scopo era quello di sperimentare varie soluzioni per ottimizzare la corsa del palloncino e scoprire cosa ne facilita il movimento e cosa lo ostacola.

Il palloncino è stato fissato con nastro adesivo a una cannuccia di lunghezza variabile, gonfiato e lasciato andare. Nella cannuccia passava un filo che, tenuto in tensione dai bambini, guidava il palloncino nella sua corsa fino all'arrivo, segnalato dal suono di un campanellino. A questo punto si misurava con un metro la distanza percorsa dal palloncino e si rifletteva sulle modifiche che si potevano apportare.

Al termine dell'attività sono stati letti e commentati gli appunti dei bambini e ci siamo lasciati ponendo alcune domande:

«Che materia è questa?»

«Cosa sarebbe accaduto usando altri materiali? Ad esempio l'acqua al posto dell'aria?»

«Era possibile costruire una barca spinta dall'aria nel palloncino?»

Alla domanda «Quanti metri avete fatto?», uno di loro ha risposto: «Venti metri di pensiero».

3. La risposta

Ci siamo rivolti ai bambini, ma anche ai loro insegnanti e alle scuole che se ne prendono cura, affinché l'esperienza fatta insieme a noi si inserisse in un percorso didattico che va dal gioco alla scienza senza perdere la via del ritorno.

Avere delle idee, metterle in pratica, misurare i risultati, confrontarli e infine scegliere tra ipotesi alternative significa lavorare ... con metodo scientifico.

L'età non è un ostacolo. L'età dei partecipanti può influire sulla scelta delle attività e sul linguaggio da adottare e sicuramente sarà rilevante per memorizzare e generalizzare quanto si apprende: ognuno di noi ha un modo diverso di apprendere, un modo che dipende dalle nostre prime esperienze, dal modo in cui veniamo educati e anche dall'età, che però può darci solo un'indicazione approssimativa dei bisogni e delle potenzialità di una persona.

Quando pensiamo a ciò che un bambino può fare, tendiamo (per così dire) a porre l'asticella troppo in basso rispetto alle sue effettive potenzialità. Il che è forse dovuto a un retaggio culturale che ci fa vedere i bambini come *minori*, persone alle quali manca qualcosa. Ci ha colpiti invece la loro ricchezza di idee e competenze, il loro spirito di iniziativa e la sistematicità con cui perseguivano gli obiettivi e poi li cambiavano.

Tutto questo, naturalmente, si accompagnava a una gran quantità di movimenti, parole e pensieri che talvolta metteva in difficoltà gli adulti, ormai abituati a una diversa economia di azioni, relazioni e discorsi.

Come abbiamo cercato dei padri nobili per la nostra proposta ludico-scientifica,

non abbiamo fatto fatica a trovarne; così pure, potremmo esplorare la letteratura in cerca di autori che abbiano affrontato il tema del rapporto tra rigore estremo e dispensabilità dal minimo rigore, due poli intorno ai quali si collocano le proposte scientifiche per l'infanzia.

Sarebbe utile rileggere Rousseau, Goethe e Lorenz: le loro stesse biografie testimoniano questa tensione tra accumulo e dispendio di esperienze conoscitive, tra il bisogno di fare chiarezza e l'esigenza di provare stupore.

ANTARTIDE: UN LABORATORIO NATURALE PER LO STUDIO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI GLOBALI PASSATI E FUTURI*

EMILIANO CASTELLANO

FEDERICA MARINO

Dipartimento di Chimica, Università di Firenze

L'Antartide può essere considerato il continente più estremo del pianeta Terra. Con una superficie simile a quella dell'intera Europa, l'Antartide è caratterizzato dalla più bassa densità di popolazione umana: tale densità sarebbe addirittura nulla, se non fosse per le poche migliaia di ricercatori e tecnici che abitano le varie basi sparse nel continente, durante tutto l'arco dell'anno. La ragione di tale bassa densità di popolazione è legata alle proibitive condizioni climatiche che rendono la vita dell'uomo quasi impossibile.

L'Antartide è, infatti, per la quasi totalità, coperto da neve e ghiaccio perenne. La temperatura, a parte brevi periodi concentrati durante l'estate australe, nelle aree più costiere, è costantemente inferiore a 0 °C per tutto l'arco dell'anno. Durante i mesi invernali, invece, la temperatura può raggiungere i -80 °C nelle zone più interne. I venti possono raggiungere i 300 km/ora soprattutto nelle aree costiere: tali venti si chiamano catabatici, si formano nelle zone interne dell'Antartide e aumentano di velocità spostandosi dall'interno del continente verso la costa. La vegetazione è poi praticamente inesistente, limitata a qualche esemplare di lichene che riesce a sopravvivere nelle zone costiere. Inoltre, si tratta di un continente molto isolato rispetto alle altre terre emerse e completamente circondato da oceani. L'Antartide è, infine, caratterizzato da un ciclo giorno/notte veramente estremo, con mesi di luce completa, 24 ore su 24, durante l'estate australe (corrispondente al nostro inverno), e un'oscurità totale nei mesi centrali dell'inverno australe.

Nonostante queste proibitive condizioni, ogni anno centinaia di scienziati e tecnici, provenienti da tutto il mondo, sbarcano sul continente bianco per lavorare a progetti di ricerca di estrema rilevanza scientifica, in svariati campi di studio: dalla biologia alla medicina, dalla geologia all'astronomia, fino alla climatologia, cui è dedicato questo contributo.

Per poter svolgere il loro lavoro, questi ricercatori compiono viaggi a volte estremamente avventurosi e vivono per mesi e mesi in condizioni estremamente difficili, quasi completamente isolati dal resto del mondo. Ma la rilevanza globale dei risultati

* Lezione tenuta l'11 novembre 2009 a Pistoia, presso l'Istituto IPSIA – Pacinotti, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

scientifici, che possono essere ottenuti dalle ricerche effettuate in Antartide, è tale che ogni difficoltà risulti superabile.

Il presente contributo fornisce alcune preliminari informazioni per scoprire perché questo continente può essere considerato un vero e proprio laboratorio privilegiato per lo studio dei cambiamenti climatici globali passati e futuri e quali sono i metodi che gli scienziati utilizzano in Antartide per lo studio del clima. Inoltre, nell'ultima parte di questo contributo, sono riportati alcuni indirizzi web nei quali si possono trovare numerosi approfondimenti sull'Antartide, le attività scientifiche che si svolgono nelle basi antartiche, il sistema clima e la paleo-climatologia, ovvero lo studio delle variazioni climatiche che hanno interessato il nostro pianeta nel passato.



Figura 1. La base scientifica di Dome C, all'interno del continente Antartico. In questo sito, nell'ambito del progetto europeo EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) è stata perforata una carota di ghiaccio che ha permesso di studiare le variazioni climatiche avvenute negli ultimi 800.000 anni.

1. Perché è importante studiare il clima

Le problematiche riguardanti il clima del nostro Pianeta sono di estrema attualità e, fortunatamente, la coscienza, dell'importanza degli studi sul clima passato, presente e futuro e i meccanismi che lo regolano e lo possono influenzare, è in continuo aumento. È ormai universalmente accettato che la possibilità di ottenere affidabili indicazioni sulle possibili future evoluzioni del clima della Terra nel caso di differenti scenari politico/economico/industriali – e quindi la possibilità di ideare e applicare efficaci metodi per mitigare l'effetto che massive emissioni di gas serra hanno sul clima – passa dalla conoscenza dei meccanismi alla base dei mutamenti climatici naturali passati. Per questo motivo la ricerca climatica e paleo-climatica è considerata una priorità a livello globale e prevede lo sforzo congiunto, e altamente multi-disciplinare, di numerosi scienziati in tutto il mondo.

Poiché il numero di informazioni, dati e modelli che ogni anno vengono prodotti dai ricercatori operanti nei vari Laboratori, Università e Istituti di Ricerca presenti in tutto il mondo è elevatissimo e in continua crescita, ogni cinque-sei anni un pool di scienziati, esperti delle varie discipline coinvolte nella ricerca climatica, produce una serie di documenti di sintesi che costituisce il principale legame fra il mondo scientifico e il mondo reale, politico ed economico, il cui ruolo è mettere in pratica le raccoman-

dazioni degli scienziati al fine di limitare l'effetto negativo delle attività umane sul clima della Terra. Tale gruppo internazionale di scienziati è noto sotto la sigla IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e ha prodotto il suo ultimo documento di sintesi nel 2007: per la rilevanza non solo scientifica del lavoro svolto, nel 2007 l'IPCC ha ricevuto il premio Nobel per la Pace.

I risultati presentati nel report IPCC 2007, infatti, sono di fondamentale importanza globale e, purtroppo, per niente rassicuranti. Il riscaldamento del sistema climatico terrestre è definito "inequivocabile", come evidenziato in particolar modo da osservazioni dell'aumento delle temperature medie globali dell'atmosfera e degli oceani, del scioglimento dei ghiacciai e, conseguentemente, dell'aumento del livello medio degli oceani. Per quanto riguarda il più classico segnale di riscaldamento globale, cioè l'aumento della temperatura atmosferica, è stato messo in evidenza come ben 11 degli ultimi 12 anni (1995-2006) sono risultati fra gli anni più caldi dal 1850, quando sono cominciate sistematiche campagne di misurazione della temperatura atmosferica in vari punti del pianeta.

Parallelamente, i dati a nostra disposizione mostrano inequivocabilmente come i principali colpevoli del riscaldamento globale siano composti chimici noti come gas serra, di cui l'anidride carbonica e il metano sono i principali rappresentanti. I gas serra sono i principali responsabili del cosiddetto Effetto Serra antropogenico – che determina un aumento della temperatura atmosferica media globale – a causa dell'importante ruolo che giocano nel bilancio energetico del Pianeta, ovvero l'interazione fra il sistema pianeta Terra e il vero motore del cambiamento climatico naturale, l'energia solare.

A causa delle attività umane, principalmente l'attività industriale, il traffico veicolare, ma anche l'agricoltura estensiva, le emissioni di gas serra in atmosfera sono cresciute dal periodo pre-industriale, con un aumento di circa il 70% fra il 1970 e il 2004. Le concentrazioni di gas serra attualmente presenti in atmosfera sono le più alte mai registrate direttamente, o memorizzate in archivi climatici relativi anche a centinaia di migliaia di anni fa, come le carote di ghiaccio che saranno dettagliatamente descritte più avanti.

Il dato più preoccupante riguarda, però, i possibili scenari futuri: i documenti dell'IPCC indicano che i modelli climatici prevedono che, perseverando con le attuali politiche economiche globali, le emissioni di gas serra continueranno ad aumentare nelle prossime decadi. Anche nel caso dei più ottimistici scenari economico-politici futuri, la temperatura è destinata ad aumentare, anche se le stime possono variare fra +2°C e +4°C, in dipendenza delle differenti ipotesi riguardanti lo sviluppo tecnologico applicato alla mitigazione degli effetti negativi sul clima e la possibile cooperazione fra i governi e le economie mondiali. I possibili effetti di tali variazioni climatiche non riguardano solo la temperatura atmosferica; a causa delle interazioni fra i vari compartimenti climatici, infatti, sono previsti a livello globale anche effetti sull'estensione delle aree glaciali, sul livello dei mari, l'aumento della desertificazione di aree prossime agli attuali grandi deserti (ad esempio l'area Mediterranea), l'intensificarsi di eventi estre-

mi, quali piogge torrenziali, tornado e ondate di calore, e anche effetti sugli ecosistemi terrestri che sono ormai all'ordine del giorno.

L'IPCC è composto da ricercatori provenienti da un elevato numero di discipline scientifiche: fisici, chimici, biologi, geologi, climatologi, matematici, statistici. Il clima è infatti uno dei sistemi più complessi da studiare e descrivere mediante modelli fisico-matematici, in quanto ogni componente del sistema terra contribuisce all'instaurarsi di un determinato scenario climatico. Per semplicità il sistema climatico della terra può essere diviso in cinque componenti principali: l'Idrosfera (composto da oceani, laghi, fiumi, etc), la Criosfera (ghiacciai, ghiaccio marino, calotte polari), l'Atmosfera, la Biosfera (fauna e flora) e la Litosfera. Tali componenti interagiscono incessantemente fra di loro scambiandosi flussi di calore, flussi di energia e flussi di materia: le interazioni fra le componenti sono favorite da alcuni cicli fondamentali che esistono in natura, quali quello dell'acqua e quello del carbonio. Questi flussi di calore, massa ed energia sono alla base della regolazione e dell'evoluzione del clima terrestre e devono essere quindi tutti studiati e compresi contemporaneamente, al fine di ottenere modelli climatici sempre più prossimi alla realtà.

A causa dell'estrema complessità del sistema climatico e del possibile effetto sulle condizioni climatiche globali di variazioni esterne al nostro pianeta (ad esempio variazioni dell'irraggiamento solare e/o della distanza e posizione relativa di Sole e Terra), non è sufficiente osservare la variazione delle attuali condizioni climatiche, ma è molto importante anche ottenere informazioni sulle variazioni climatiche naturali passate, avvenute in periodi in cui l'effetto dell'attività umana era nullo. Infatti, il clima terrestre passato (ad esempio 20.000 o 120.000 anni fa) era molto diverso da quello attuale, e molto più di quanto sia cambiato durante le ultime centinaia di anni, per effetto dell'attività umana.

Basti pensare, come esempio, che 20.000 anni fa tutto il Nord Europa e gran parte degli USA erano coperti da una spessa coltre di ghiaccio (dell'ordine delle migliaia di metri) e che 120.000 anni fa la Florida era in gran parte ricoperta dal mare. Questi dati non devono però indurre a concludere che la preoccupazione per l'effetto delle attività antropiche sul clima sia eccessiva, considerato che variazioni climatiche anche più estreme di quelle ipotizzate dai modelli dell'IPCC sono già avvenute in passato per cause naturali! Le variazioni passate, infatti, derivano da meccanismi naturali che ciclicamente determinano il passaggio da condizioni climatiche più miti a veri e propri regimi glaciali: si tratta però, di cicli *naturali* di cui si conoscono i ritmi e gli effetti, mentre le attuali variazioni climatiche di natura antropogenica possono portare a scenari non noti e ai quali il sistema Terra, probabilmente, non riuscirà a reagire se non mediante mutazioni che influenzeranno radicalmente la vita dell'uomo sul pianeta.

È per questa ragione che uno dei maggiori sforzi degli studiosi che si occupano di clima è indirizzato all'individuazione e allo studio di archivi climatici naturali, ovvero sistemi naturali che sono in grado di registrare le variazioni climatiche passate. Tali archivi sono veri e propri libri naturali sulle cui pagine è scritta la storia climatica del

nostro Pianeta: purtroppo a volte queste pagine sono scritte con un alfabeto che facciamo fatica a comprendere, e tutto da decifrare... Interpretare il contenuto di queste pagine è il principale lavoro dei paleo-climatologi.

2. Archivi e *proxies* climatici

Con il termine “archivio climatico” s’intende un sistema naturale che presenta alcune caratteristiche che variano in maniera misurabile al variare di uno o più aspetti delle condizioni climatiche del Pianeta. Ogni grandezza, chimica o fisica, la cui concentrazione o intensità varia per effetto delle condizioni climatiche, si indica con il termine *proxy* climatico.

Fortunatamente esistono numerose tipologie di archivio climatico, anche molto diverse fra loro, differenti per il tipo di informazione climatica che sono in grado di fornire, per estensione del periodo temporale coperto, per risoluzione temporale (ovvero il minimo periodo di tempo – mesi, anni, secoli, millenni – per il quale possono essere ottenuti dati climatici), per rilevanza geografica (locale, regionale, emisferica o globale). Tra le diverse tipologie di archivio climatico possono essere elencate:

- Record storici di varia natura: tra questi, ad esempio, i diari redatti da monaci, capitani di vascello o altre figure che in epoche passate appuntavano con dovizia di particolari le variazioni delle condizioni climatiche. Questa categoria di archivi climatici è caratterizzata da una distribuzione molto sporadica sia nello spazio che nel tempo, una rilevanza molto locale, e un elevato grado di soggettività dei dati;
- Anelli legnosi: le variazioni dello spessore e della densità degli anelli legnosi annuali sono legate alle variazioni di temperatura atmosferica. Per effetto della forte ciclicità annuale degli anelli legnosi, la risoluzione temporale è molto elevata, anche se l’estensione temporale non supera, nei casi più favorevoli, le migliaia di anni. Questi archivi registrano, inoltre, l’effetto sulla temperatura atmosferica degli intensi eventi vulcanici di rilevanza globale;
- Coralli: questi organismi costruiscono il loro scheletro utilizzando il carbonato di calcio estratto dall’acqua di mare. La composizione chimica dello scheletro dei coralli può essere utilizzata per determinare la temperatura dell’acqua in cui i coralli sono cresciuti. Lo studio di coralli fossili, come nel caso degli anelli legnosi, permette di ottenere ricostruzioni paleo-climatiche relative a periodi dell’ordine delle decine di migliaia di anni, con una risoluzione, in alcuni casi, annuale;
- Pollini: lo studio e il riconoscimento dei pollini fossili intrappolati in alcuni archivi climatici, quali ad esempio sedimenti oceanici o continentali, permettono di studiare lo spostamento geografico della vegetazione in risposta allo spostamento delle fasce climatiche;

- Sedimenti oceanici: il fondale oceanico è in continua evoluzione, a causa del continuo deposito di materiale proveniente dagli strati più superficiali dell'oceano. La composizione chimica di tale materiale dipende fortemente dalle condizioni climatiche, quali, ad esempio, la temperatura oceanica. Anche la tipologia degli organismi che vengono depositati sul fondale oceanico permette di ottenere importanti informazioni sulla temperatura oceanica e la direzione e l'intensità delle principali correnti oceaniche profonde. Poiché gli oceani, e in particolare le principali correnti, rivestono un ruolo fondamentale nella regolazione delle condizioni climatiche e nel trasferimento di energia in varie zone del pianeta (basti pensare, ad esempio, all'effetto della famosa Corrente del Golfo sul clima del Nord Europa), le carote di sedimento oceanico sono fra gli archivi climatici più esplorati. Inoltre, a causa della bassa velocità di sedimentazione oceanica, tali archivi permettono di ricostruire le variazioni climatiche relative a un periodo temporale che può raggiungere le decine di milioni di anni;
- Carote di ghiaccio (*Ice Cores*): cilindri di neve e ghiaccio prelevati nelle calotte polari o in ghiacciai temperati. La rilevanza scientifica dei numerosi dati che possono essere ottenuti dallo studio di una carota di ghiaccio, giustifica una descrizione più dettagliata di tali archivi climatici.

3. Le carote di ghiaccio

Con questo termine si indica un lungo cilindro di ghiaccio ottenuto dalla perforazione verticale di un ghiacciaio o una calotta glaciale dalla superficie nevosa fino alla roccia sottostante, il cosiddetto *bedrock*. Le carote di ghiaccio più lunghe sono state ottenute dalla perforazione delle calotte polari, in Groenlandia e Antartide, mentre carote più brevi possono essere perforate anche in ghiacciai temperati, ad esempio sulle Ande o sulle Alpi.

Per quanto riguarda le carote polari, la massima lunghezza può superare i tremila metri e il periodo temporale coperto può arrivare a quasi un milione di anni. Questa ottima estensione temporale è spesso accompagnata da un'elevata risoluzione temporale che, in alcuni casi, può essere addirittura annuale, rispetto ad altri archivi quali le carote oceaniche.

La principale caratteristica delle carote di ghiaccio consiste nell'elevato numero di *proxy* climatici, che possono essere studiati dall'analisi chimica e fisica dei campioni di ghiaccio, e quindi nell'elevato numero di informazioni paleo-climatiche che possono essere ottenute; tali informazioni spaziano dai livelli dei gas serra in atmosfera, alla temperatura atmosferica e degli oceani, dall'estensione del ghiaccio marino attorno alle calotte polari, all'estensione delle regioni desertiche continentali ecc.

Il meccanismo per cui le carote di ghiaccio costituiscono archivi naturali paleo-climatici è il seguente: le varie sostanze, solide e gassose, che sono presenti nell'atmosfera, si depositano sulla superficie nevosa sia per deposizione secca, nel caso di

bassi livelli di accumulo nevoso annuale (come ad esempio all'interno del continente antartico, dove, a causa delle bassissime temperature medie annuali, l'accumulo di neve annuale non supera la decina di centimetri), sia per dilavamento da parte della neve stessa. In entrambi i casi, una volta deposte sulla superficie nevosa, tali sostanze vengono intrappolate dalla neve stessa e archiviate indisturbate nel tempo; l'analisi di tali sostanze in campioni di ghiaccio prelevati lungo le carote permettono, quindi, di ricostruire la variazione della composizione dell'atmosfera nel tempo. Poiché la composizione dell'atmosfera è determinata dalle condizioni climatiche, l'analisi chimica e fisica delle carote di ghiaccio permette, in ultima analisi, di studiare le variazioni passate del clima terrestre.

Tra i vari parametri che possono essere analizzati in una carota di ghiaccio è importante citare:

- Gas serra, principalmente anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), ossidi di azoto (NO_x): le carote di ghiaccio sono l'unico archivio paleo-climatico in grado di registrare le variazioni nel tempo della concentrazione di tali gas. A causa del ruolo fondamentale giocato dai gas serra nei meccanismi alla base del sistema clima, le stratigrafie di tali composti costituiscono uno dei punti di forza delle carote di ghiaccio. Microscopiche bollicine di gas serra rimangono intrappolate nel ghiaccio, durante il processo di passaggio da neve a ghiaccio, che avviene a una profondità di circa 80-100 m dalla superficie nevosa. Negli strati più superficiali delle calotte di ghiaccio, infatti, la neve ha una densità molto bassa ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi pori che permettono un contatto diretto fra la neve e l'atmosfera sovrastante. In questa zona della carota di ghiaccio, i gas non sono intrappolati e la loro concentrazione è quindi in equilibrio con quella degli stessi in atmosfera. All'aumentare della profondità, però, il peso della neve sovrastante determina l'aumento della densità della neve, fino a raggiungere la densità massima del ghiaccio, e la chiusura dei pori: in questa zona della carota di ghiaccio i gas non sono più in contatto con l'atmosfera, e vengono quindi preservati indisturbati nel tempo. Lo studio della variazione delle concentrazioni di gas serra in atmosfera ha permesso di evidenziare il legame diretto fra questi componenti e la temperatura atmosferica e, quindi, il ruolo fondamentale che giocano nel cosiddetto effetto serra. I profili di gas serra ottenuti dall'analisi delle carote di ghiaccio hanno anche permesso di evidenziare come i valori attualmente presenti in atmosfera di CO_2 , CH_4 e NO_x , sono di gran lunga i più elevati dell'ultimo milione di anni, confermando il massivo apporto dovuto alle attività umane;



Figura 2. Bollicine di gas serra intrappolate all'interno di un campione di ghiaccio estratto dalla carota di ghiaccio EPICA-Dome C.

- Isotopi dell'Ossigeno e dell'Idrogeno: la composizione isotopica di Idrogeno e Ossigeno – gli elementi che compongono la molecola di acqua, ovvero i principali componenti del ghiaccio – dipende dalla temperatura dell'atmosfera e degli oceani al momento della deposizione della neve. È per questo motivo che, una volta nota la relazione fra temperatura e composizione isotopica, è possibile ricostruire profili di temperatura atmosferica dai campioni di ghiaccio, e utilizzare le carote di ghiaccio come dei veri e propri paleo-termometri. È proprio grazie alla contemporanea analisi della composizione isotopica e delle concentrazioni dei gas serra che è stato possibile indagare la stretta connessione fra temperatura e composizione dell'atmosfera in termini di concentrazione di gas serra;
- Composti chimici solubili: fanno parte di questa classe di proxy un numero elevato di composti chimici, fra cui sodio, magnesio, calcio, cloruri, nitrati, solfati, etc. Ognuno di questi composti ha una differente origine e può quindi dare informazioni relative a differenti aspetti paleo-climatici e paleo-ambientali. Il sodio e i cloruri, ad esempio, provengono principalmente dall'acqua di mare: le variazioni di concentrazione di questi due componenti nel ghiaccio, quindi, dipendono dal numero di micro-gocce di spray marino che dall'oceano raggiungono l'interno delle calotte fino ai punti di perforazione delle carote di ghiaccio. A causa dell'elevata distanza che spesso separa i siti di perforazione dalla costa e dal margine del ghiaccio marino, la circolazione atmosferica, e quindi il sistema dei venti, gioca un ruolo fondamentale nella modulazione delle concentrazioni di queste due sostanze. È per questo motivo che lo studio delle stratigrafie di sodio e cloruri permette di ottenere informazioni circa i passati regimi di venti e di circolazione atmosferica e circa l'estensione del ghiaccio marino intorno al continente antartico;

- **Polveri minerali:** l'aerosol minerale, comunemente indicato con il termine *dust*, è uno dei più studiati proxy paleo-climatici fra i molti archiviati nelle carote di ghiaccio. Infatti molte informazioni possono essere ottenute dallo studio delle stratigrafie dei flussi di *dust* depositi, dalle variazioni della dimensione delle polveri, nonché da variazioni della loro composizione isotopica, geochimica e mineralogica. In particolare, le variazioni di massa deposta nei differenti regimi climatici mostrano una forte anticorrelazione con la temperatura atmosferica e possono essere messe in relazione con variazioni dell'intensità del trasporto atmosferico e dell'aridità alle fonti continentali. La dimensione media delle particelle di *dust* è un importante parametro per lo studio di variazioni dell'intensità e dei meccanismi di trasporto atmosferico. Infine lo studio della composizione isotopica, geochimica e mineralogica delle polveri permette di ottenere informazioni riguardo alle aree sorgenti di polveri e, conseguentemente, alle condizioni paleo-ambientali nelle aree continentali;
- **Composti di origine vulcanica:** anche alcuni composti, sia solubili che insolubili, che vengono emessi in atmosfera durante eruzioni vulcaniche esplosive, vengono intrappolati nel ghiaccio. Tra i composti solubili i principali sono i solfati, che si formano per ossidazione in atmosfera della SO_2 emessa durante le eruzioni vulcaniche. Poiché, in caso di eruzioni particolarmente esplosive, la SO_2 può essere immessa anche direttamente nella stratosfera, i solfati possono essere trasportati anche a lunga distanza: la calotta polare antartica, infatti, può registrare la deposizione di solfati emessi durante eventi vulcanici avvenuti anche alle basse latitudini equatoriali. L'analisi delle deposizioni di solfati che si sono susseguite nel tempo permette lo studio della variazione dell'attività vulcanica passata. In caso di eventi vulcanici locali o regionali, anche particelle insolubili di dimensioni maggiori rispetto al *dust* continentale possono essere depositate sulla superficie nevosa e rimanere poi intrappolate nel ghiaccio. L'analisi geo-chimica di queste particelle permette di capire da quale vulcano sono state emesse, così da dare informazioni circa i meccanismi di circolazione atmosferica. I livelli vulcanici possono anche essere utilizzati come livelli temporali e giocano un importante ruolo per la datazione delle carote di ghiaccio.



Figura 3. Strato di cenere vulcanica intrappolata nel ghiaccio della carota EPICA-EDML.

4. Alcuni link per approfondire

Infine, per chi fosse interessato ad approfondire alcuni degli aspetti che in queste pagine, per ragioni di brevità e semplicità, sono stati soltanto accennati, qui di seguito sono riportati alcuni indirizzi internet dove è possibile ottenere notizie, immagini, dati e figure:

<http://www.pnra.it/>; <http://www.italiantartide.it>

Questi sono i due siti ufficiali del Progetto di Ricerche in Antartide Italiano, dove potrete trovare numerose informazioni circa le attività svolte dai ricercatori italiani in Antartide (non solo per quanto riguarda lo studio del clima), le basi scientifiche, i mezzi che vengono utilizzati per raggiungere l'Antartide e muoversi in questo sconfinato continente, e molto altro.

<http://www.concordiabase.eu/>

Sito ufficiale della base italo-francese di Dome C, all'interno del continente antartico, dove ogni anno sedici ricercatori vivono e lavorano per mesi completamente isolati dal resto del mondo e in condizioni climatiche proibitive.

<http://www.esf.org/index.php?id=855>

Sito ufficiale del progetto europeo EPICA, il più importante progetto di perforazione profonda della calotta antartica, a cui hanno partecipato anche numerosi ricercatori italiani.

<http://www.taldice.org/>

Sito ufficiale del progetto TALDICE, un altro progetto europeo di perforazione in Antartide in cui l'Italia gioca un ruolo leader, sia in campo logistico che scientifico.

<http://www.ipcc.ch/>

Sito ufficiale dell'IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, dove possono essere scaricati tutti i documenti di sintesi ufficiali prodotti dai vari ricercatori coin-

volti, le linee guida per i governi, immagini e presentazioni che illustrano, anche per i meno esperti, le importanti conclusioni a cui è giunto l'IPCC. Un interessante link in italiano su questi argomenti è: <http://clima.casaccia.enea.it/ipcc/focalpoint/>

<http://www.pages-igbp.org/>

Sito molto completo del progetto PAGES (Past Global Changes) che si occupa di coordinare e promuovere la ricerca sui cambiamenti climatici globali passati. Questo sito, solo in inglese, è una fonte molto preziosa di informazioni riguardanti la paleoclimatologia.

L'UOMO E GLI UOMINI. LETTURA STORICA*

GIULIO BARSANTI

Università di Firenze

La grande rivoluzione dell'antropologia ottocentesca affonda le radici in una lunga tradizione di ricerca che vide cooperare medici e naturalisti, filosofi e letterati. L'anatomia comparata aveva da tempo documentato sorprendenti affinità tra l'uomo e gli animali, di cui testimoniò il primo confronto osteologico [9]. Da esso risultò che i ventisei caratteri anatomici principali ricorrono in entrambi gli scheletri tipo. Per parte sua la filosofia aveva, da tempi altrettanto remoti, dichiarato la necessità di liberare l'uomo dagli orpelli della vecchia metafisica: «è ridicolo [...] che questa miserabile e meschina creatura, che non è padrona neppure di se stessa ed è esposta alle ingiurie di tutte le cose, si proclami signora e padrona dell'universo». L'uomo è «la più calamitosa e fragile di tutte le creature», che vive «in mezzo al fango e allo sterco del mondo, inchiodata alla peggiore, alla più morta e putrida parte dell'universo». Dunque, aveva concluso Michel de Montaigne nel 1588, è solo «per una folle superbia che egli si considera al disopra degli altri animali». «Bisogna calpestare questa sciocca vanità»: l'uomo, «bisogna metterlo in camicia» [35].

Che è appunto quanto stavano facendo gli anatomisti. I quali procedevano in vista non soltanto di una piena laicizzazione della natura, emancipandola dall'approccio teologico, ma anche di una piena mondanizzazione dell'uomo, che negli ultimi anni del Seicento era stato finalmente inserito nella *scala naturae* grazie alla prima, accurata dissezione di uno scimpanzé – che aveva rivelato che esso poteva essere assunto come l'anello di congiunzione tra le scimmie inferiori e, appunto, l'uomo. Edward Tyson calcolò, nel 1699, che possedeva trentaquattro caratteri rudimentali, posseduti pure da altre scimmie, e ben quarantotto caratteri propri anche dell'uomo, posseduti in esclusiva con esso [39]. Si era così cominciato a realizzare un approccio materialistico anche alle funzioni superiori: in particolare con Richard Bradley che, in occasione del primo confronto osteologico realizzato fra un uomo e una scimmia, nel 1721 azzardò che la nostra superiorità psichica potesse dipendere non da impalpabili principi spirituali ma semplicemente dalla composizione «delle parti che compongono il nostro cervello» [12]. Ciò consentì e promosse l'operazione cruciale realizzata da Carl Linné nel 1735, che per la prima volta classificò anche il classificatore, ponendo *Homo* all'interno dei *Quadrupedia* (poi *Mammalia*), fra gli *Anthropomorpha* (poi *Primates*), accanto allo

* Lezione tenuta a Grosseto il 16 novembre, nell'Aula Magna del Polo Universitario, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

scimpanzé (all'epoca *Simia cauda carens*). L'uomo diveniva in questo modo un animale a tutti gli effetti, non solo dal punto di vista corporeo ma anche da quello cognitivo: «la scimmia più stupida differisce così poco dall'uomo più sapiente, che si deve ancora trovare il geodeta della natura capace di tracciare fra loro una linea di divisione» [31]. L'antropologia passava, come storia naturale dell'uomo, dal campo della filosofia e della teologia a quello delle scienze biologiche.

1. Varietà

Nello stesso anno in cui Charles Bonnet [11] convalida la soluzione linneana, inserendo l'uomo nella prima visualizzazione della *scala naturae* (1745) e collocandolo immediatamente al disopra dello scimpanzé, Pierre-Louis de Maupertuis dedica l'intera seconda parte della *Vénus physique* alle *Variétés dans l'espèce humaine*, in cui ipotizza che le diverse “varietà” umane siano provenute tutte da un unico “ceppo”, «per una serie di accidenti» epigenetici – suppone –, assolutamente fortuiti [34]. Di lì a poco vi sarebbe tornato Georges Buffon, all'interno di quello che è considerato il primo manifesto dell'antropologia – l'*Histoire naturelle de l'homme* (1749): un capitolo del quale è intitolato, nuovamente, *Variétés dans l'espèce humaine*, al cui interno anch'egli sostiene che le popolazioni umane «sono derivate da un solo e medesimo ceppo». Buffon lo teorizza sia puntando su dati morfologici («il tipo è generale e comune»), sia rifacendosi alla biologia della riproduzione: «l'Asiatico, l'Europeo e l'Africano si riproducono anche con l'Americano». Egli azzarda pure di ipotizzare i fattori della diversificazione umana:

penso che siano tre le cause che concorrono a produrre le varietà che osserviamo nei vari popoli della terra. La prima è l'influenza del clima; la seconda, che dipende strettamente dalla prima, è l'alimentazione; e la terza, che dipende forse ancor più tanto dalla prima quanto dalla seconda, sono i comportamenti [14].

È noto che l'autore dell'*Histoire naturelle* assumeva che esistessero specie (chiamate “nobili”) che non si modificano fino a trasformarsi in altre specie, e che fra di esse contemplava anche la nostra; ma va sottolineato che non lo faceva per ragioni ideologiche, e soprattutto che assumeva che anche le specie «nobili» si modificassero (seppur in misura inferiore) arricchendosi al loro interno di sempre nuove «varietà» – per le stesse cause che portano le altre a speciare, ovvero per gli adattamenti dovuti alle sempre nuove «circostanze» esterne. Che è quanto avrebbe autorevolmente sviluppato Johann Friedrich Blumenbach, servendosi della nascente craniologia comparata.

Egli raccoglie una grande quantità di crani (di adulti, di bambini, di feti, deformi) provenienti da ogni angolo della Terra e li disegna e descrive rilevando, in particolare, forma e dimensioni delle ossa frontale, parietale, nasale e mascellari. Parla anch'egli di «varietà» del genere umano e inserisce la già affiorata prospettiva evolucionistica fin nel titolo del suo lavoro – *De generis humani varietate nativa* (1795). Da un'analisi comparata emerge che cinque sono le varietà umane (la Caucasica, la Mongolica, l'Etiopica,

l'Americana, la Malese) e che esse possono essere allineate in modo che l'una sfumi nell'altra: tra i due estremi si trovano crani "intermedi" che possono essere considerati, afferma Blumenbach, «di passaggio e collegamento». Il passaggio è dovuto alle stesse cause ipotizzate da Buffon, che secondo il naturalista tedesco hanno gradualmente modificato il colore della pelle, la consistenza di peli e capelli, la statura e infine la forma e le proporzioni di varie parti del corpo. A partire da quale varietà primordiale? È quella caucasica la *nativa*, sostiene Blumenbach: da cui sarebbero derivate da una parte prima l'americana poi la mongolica, dall'altra prima la malese poi l'etiopica [10].

L'antropometria aveva già mosso i primi passi, ideando strumenti – per il momento geometrici – dalla diversa efficacia e fortuna. Il primo in assoluto era stato l'angolo dell'inclinazione del piano del foro occipitale, noto più semplicemente come angolo occipitale. Concepito da Louis Daubenton nel 1764 misurava, di fatto, l'attitudine alla stazione eretta e non ricevette molte applicazioni [24]. Si affermò invece l'angolo facciale, concepito da Peter Camper intorno al 1768 [17]. Formato dall'intersezione delle rette che uniscono il foro auricolare alla radice del naso e l'apice degli incisivi superiori alla prominenza dell'osso frontale, misurava il grado di prognatismo e venne utilizzato fra gli altri da Georges Cuvier e Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, nel 1798, per classificare i Primati [19]. Nell'applicarlo Camper scoprì che si passava gradualmente dai circa 45° dei cercopitechi ai 100° degli antichi Greci, passando per i circa 60° degli Orang-utan, i 65-70° degli Africani, i 70-80° degli Asiatici, gli 80-90° degli Europei e i 95° degli antichi Romani. La sua scala poteva prestarsi a un'interpretazione che oggi definiremmo razzista ma vale la pena di sottolineare che questa prospettiva gli era del tutto estranea. Camper lavorava in un'accademia di Belle Arti e aveva ideato lo strumento per ottenere tutt'altro che una gerarchia di forme (superiori e inferiori): l'aveva concepito unicamente per consentire ai suoi allievi di rappresentare correttamente le "varietà" della specie umana e i loro contesti ambientali – scene di vita lontane nello spazio e nel tempo. E per questo si era servito anche di sculture e monete, inserendo nella scala pure i Romani e i Greci dell'Antichità.

2. Razze

Con Jean-Baptiste Lamarck, cui si deve la prima teoria dell'evoluzione empiricamente controllabile, e che affrontò la questione antropologica già nelle *Recherches* del 1802 [27], non cambia soltanto – rispetto a Maupertuis, a Buffon, a Blumenbach – modello esplicativo: cambia anche lessico. Le "varietà" diventano "razze". Ma è bene chiarire subito che ciò non ha niente a che fare con motivazioni ideologiche. Il naturalista francese è, al contrario di coloro che l'avevano preceduto, un grande sistematico, e in quanto tale può usare "varietà" solo in senso 'tecnico', proprio e stretto. Quando, dunque, arriva a pensare che l'origine dell'uomo possa esser fatta risalire a una popolazione di scimpanzé costretti sempre più frequentemente ad abbandonare la vita arboricola e perciò, una volta scesi a terra, a tentare sempre più frequentemente di assumere la stazione eretta, non può pensare ad essa come a un'intera varietà che si evolve omogeneamente su

tutto l'areale della sua distribuzione – che è troppo ampio, e dunque caratterizzato da “circostanze” troppo diverse. Le sue unità evolutive sono *sottoinsiemi* di varietà, che egli avrebbe chiamato popolazioni, se il termine fosse esistito, e in mancanza d'altro chiama *races* – che almeno aveva il pregio di non confondersi con alcuna categoria astratta dei classificatori. L'uomo è provenuto da una “razza” di scimpanzé scesi a terra, nel mentre che altre “razze” di quei primati, in diverse condizioni, permanevano sugli alberi senza subire modificazioni [27, 28].

La Storia naturale dell'uomo diveniva Antropologia evolucionistica; e la stessa immagine dell'uomo cambiava profondamente. Fino a Lamarck l'uomo era il Signore della natura, che in quanto coronamento della Creazione poteva disporre del mondo costruito attorno a sé, per il proprio beneficio, a suo piacimento. “Nobile”, l'uomo veniva invitato a sfruttare allegramente le risorse naturali, fino al punto di bruciare i boschi cosiddetti “superflui” e di sterminare gli animali cosiddetti “nocivi”; nella convinzione che la natura non avrebbe ricavato, dai suoi pesanti interventi, altro che benefici [16]. Quando Lamarck passa dall'uomo creato all'uomo evoluto, la prospettiva cambia radicalmente. Il naturalista francese non vede soltanto l'evoluzione biologica innescata dall'ambiente. Vede anche l'evoluzione dell'ambiente innescata dall'evoluzione biologica, e giunge ad assumere l'uomo come il più grande agente perturbatore della natura: non più uno strumento di equilibrio e un dispensatore di armonia, come ancora per qualche tempo ci si sarebbe ostinati a ritenere (per esempio da parte di Julien-Joseph Virey [40]), ma un fattore di disordine e morte. Se a Buffon era parso che la terra fosse “deserta” e “moribonda” prima della sua comparsa, a Lamarck pare al contrario che essa diventi tale a séguito del suo intervento: pare che l'uomo possa provocare guasti irreparabili nell'ambiente. Egli sostiene che «sembra lavorare all'annientamento dei suoi mezzi di sussistenza» e, tenendo conto anche soltanto della sua opera di disboscamento, conclude che «pare incamminato verso l'autodistruzione» [29, 30].

Con Charles Darwin cambia nuovamente tutto, dal punto di vista teorico, poiché all'ambiente viene assegnato un ruolo molto diverso da quello che gli aveva attribuito Lamarck, e per certi versi il ruolo opposto. E cambia tutto nell'impostazione stessa del problema, che diviene quella del lontano progenitore comune: mentre il naturalista francese aveva pensato alla derivazione dell'uomo dallo scimpanzé, quale ci si presenta ancora attualmente, Darwin pensa a una forma ancora sconosciuta da cui sarebbero provenuti entrambi – su un versante l'uomo, sull'altro lo scimpanzé, oppure (la questione gli si complica perché nel frattempo era finalmente comparso anch'esso: vedi [36]) su un versante l'uomo, sull'altro il gorilla. E quando egli si chiede, pertanto, se è più probabile che la nostra specie sia derivata da una forma relativamente forte (quanto sarebbe rimasto il gorilla) o da una relativamente debole (quanto lo scimpanzé), affronta la questione – in mancanza di dati paleontologici – con un argomento emblematico del suo nuovo approccio. Se fosse provenuto da una forma relativamente forte, capace di opporsi a tutti i potenziali concorrenti e predatori, l'uomo «non sarebbe potuto diventare socievole» quanto è attualmente e la sua possanza «avrebbe ostacolato l'acquisizione di poteri intel-

lettivi superiori». Questi dipendono dalla sua socievolezza e questa è una conseguenza della sua debolezza. «Potrebbe essere stato un immenso vantaggio, per l'uomo, derivare da una qualche creatura comparativamente debole» che fosse, per difendersi, in qualche modo costretta «alla solidarietà e all'amore verso i compagni» [23].

Dunque l'uomo sarebbe derivato da un lontano progenitore comune allo scimpanzé (il gorilla avendo imboccato la sua strada evolutiva precedentemente), e ne sarebbe derivato grazie al prestarsi mutuo soccorso. Questa soluzione testimonia che è una mistificazione, quella della natura gladiatoria della lotta per l'esistenza darwiniana, e che è una mistificazione anche quella della darwiniana sopravvivenza del più forte. Darwin teorizza qui, al contrario, l'«immenso vantaggio» della debolezza. Preme comunque ricordare, ancor prima, che il naturalista inglese non ha mai teorizzato l'autosufficienza della selezione naturale: l'ominazione è a suo giudizio avvenuta sì per selezione naturale di variazioni fortuite, ma per una selezione «coadiuvata» dalla «correlazione delle parti» (ossia da variazioni correlate fisiologicamente), da quelli che Darwin chiamava «effetti ereditari dell'uso» (adattamenti funzionali) e perfino dall'influenza diretta dell'ambiente. Sono almeno quattro fattori distinti, che il naturalista assume come «cooperanti». E preme forse ancor più ricordare che se questi quattro fattori possono, congiuntamente, spiegare l'ominazione, neanche congiuntamente possono spiegare quanto è accaduto dopo la prima comparsa dell'uomo. È accaduto che esso si è diversificato al suo interno: l'uomo è diventato uomini, distinguendosi in popolazioni chiamate razze.

Anche Darwin usa «razza». Ma ha destituito di ogni fondamento il razzismo, in almeno cinque modi. In primo luogo preferendo parlare di «ceppi» umani e riferendosi ad essi, con evidente scetticismo, come alle «cosiddette» razze umane. In secondo luogo concludendo, dopo aver esaminato le differenze che contraddistinguono le *so called races of man*, che esse sono «irrilevanti» e «indifferenti»: irrilevanti nella lotta per l'esistenza e dunque indifferenti alla selezione naturale, che non può in alcun modo averle accumulate – per cui Darwin si vide costretto a introdurre un altro fattore coadiuvante ancora (la selezione sessuale), di cui in questa sede possiamo tacere. Vi è poi da sottolineare che il darwinismo non solo non incentiva ma impedisce di porre le questioni evoluzionistiche in termini di arretratezza/progresso; e ciò, semplicemente, perché «evoluzione» non è «progresso». Non lo è per il Darwin pubblico, come non lo è per quello privato: si pensi, per esempio, alla lettera in cui egli insisté, nel 1859, sulla «profonda differenza» fra la «capacità di adattamento» e un qualsiasi «principio di miglioramento» (a Charles Lyell, 25 ottobre 1859, vedi [20]). Nonché progresso, l'evoluzione è adattamento (gli adattamenti più disparati); e tutte le specie sono egualmente bene adattate alle loro condizioni di esistenza – nessuna essendolo perfettamente. Per cui (ed è il quarto modo in cui Darwin destituisce di ogni fondamento il razzismo) nessuna specie può essere assunta come «migliore» di un'altra. Egli lo afferma in generale, già nei *Taccuini giovanili*: è «assurdo», vi annota, «parlare di un animale come superiore a un altro» [21]. E lo conferma nell'*Origine delle specie*, a proposito per esempio degli scoiattoli volanti: hanno caratteri fisici che consentono loro prestazioni comportamentali sconosciute e

impossibili agli scoiattoli comuni, ma non ha senso definirli “migliori” di questi ultimi – che nel loro ambiente sopravvivono altrettanto efficacemente [22].

Infine v'è, per tornare alla dimensione specificamente antropologica, la considerazione del fatto che nessuna popolazione umana è omogenea e risulta essere ‘pura’. Non era, questa, una scoperta darwiniana ma, inserendola in un coerente sistema teorico, fu il darwinismo a valorizzarla. Era stata una scoperta collettiva favorita dagli indici di Anders Retzius e dalle triangolazioni di Emil Huschke. Gli antropologi avevano fatto già tale scoperta negli anni Sessanta utilizzando quei ‘poveri’ strumenti – i goniometri e i compassi che si trovavano nelle cassette dell’antropometria da campo – che all’epoca gli intellettuali snobbavano, in favore delle grandi costruzioni teoriche. Ancora oggi disturbano perché sarebbero – è opinione diffusa – ‘politicamente scorretti’. Il fatto è che con quegli strumenti qualcuno partiva sì per misurare tutte le differenze fra ‘noi’ e ‘loro’ (gli Altri) ma per poi scoprire che all’interno di qualsiasi popolazione vi sono insospettate, e insospettatamente ampie, differenze individuali; e quindi per concludere che «malgrado la loro diversità, tutte le razze umane formano un grande tutto» [12], perché quelle differenze non sono inferiori alle differenze che passano fra una popolazione e l'altra.

3. Popolazioni

Lo avrebbe confermato, fra gli altri, Paolo Mantegazza: «il tipo medio non esiste» e «le oscillazioni individuali sono eguali o maggiori delle etniche» [33]. Lo avrebbe ripetuto Paul Topinard e la certezza sarebbe approdata, espressa nel modo più reciso, nel più autorevole manuale di antropologia: «la razza esiste solo nella nostra immaginazione: non la si incontra da nessuna parte». Non esistendo gruppi omogenei e ‘puri’, «le razze sono costruzioni teoriche; le sole realtà sono i popoli» (1885). Contemporaneamente, non per caso, tanto il dato quanto la sua interpretazione sarebbero stati enfatizzati nelle istruzioni di viaggio per gli antropologi: in quella dello stesso Topinard si legge per esempio che «“razza” è una parola usata a ogni piè sospinto ma il viaggiatore non ha da preoccuparsene. Per lui non esistono altro che collezioni di individui che portano lo stesso nome: locale o generale, politico, geografico, religioso o accidentale» [37].

«Siamo tutti meticci» [37,38], assicurava l’antropometria anche indipendentemente da ipotesi evolucionistiche, e Darwin non poteva trovare dato più congruente con la sua teoria – per cui meticci siamo stati fin dall’inizio. Così egli fece, già nell’*Origine delle specie*, anche il passo successivo: quello di ipotizzare che sia proprio il meticcio la chiave del successo biologico e perciò di esortare non solo alla prosecuzione ma anche all’intensificazione degli incroci: «abbiamo molte prove [...] del fatto che l’incrocio fra individui della stessa specie ma differenti, cioè appartenenti a diversi ceppi, conferisce vigore e fecondità ai discendenti» [22].

4. Postilla

Questi dati rendono curioso quanto si pensa comunemente, per esempio, di *We Europeans* (1935) di Julian Huxley [26]. Premesso che «tutti i gruppi umani sono di indubbia origine mista», che «le più importanti acquisizioni della civiltà moderna nasco-

no in aree contraddistinte da una fitta mescolanza di tipi» e che «tutte le grandi nazioni sono *crogiuoli razziali*», dopo aver esaminato i sei diversi significati del termine razza, e aver documentato che sono tutti “ridicoli” («su ciascuno di essi l’analisi scientifica, sostenuta dai risultati della moderna genetica, getta una luce impietosa», per cui «è altamente auspicabile che l’applicazione del termine *razza* ai gruppi umani venga bandita dal vocabolario»), il libro si conclude affermando che il razzismo è «scientificamente infondato» – si tratta semplicemente di «un mito», «che copre finalità economiche». Ebbene, di fronte a *We Europeans*, che non riuscì a evitare la promulgazione delle leggi razziali ma onorò la cultura scientifica, generalmente ci si sorprende: come poté Huxley concepirlo, se la sua «moderna genetica» non andava al di là delle prime analisi della distribuzione geografica dei gruppi sanguigni, e se la loro prima rilevazione statistica sarebbe stata effettuata più di trent’anni dopo? Il fatto è che per confutare l’impressione che fra le “razze” vi siano grandi differenze, e che ogni «razza» sia omogenea al suo interno, non c’era bisogno di aspettare gli sviluppi della genetica. Huxley era un naturalista, che quella confutazione poteva ricavare dalla letteratura naturalistica degli ultimi settant’anni.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barsanti, G., *La scala, la mappa, l'albero. Immagini e classificazioni della natura fra Sei e Ottocento*, Sansoni, Firenze 1992.
- [2] Barsanti, G., *Una lunga pazienza cieca. Storia dell'evoluzionismo*, Einaudi, Torino 2005.
- [3] Barsanti, G., *Il pluralismo di Darwin*, in Scapini, F. (a cura di), *La logica dell'evoluzione dei viventi*, Firenze University Press, Firenze 2005, pp. 7-10.
- [4] Barsanti, G., *In camicia. L'uomo e altre scimmie nelle riflessioni, gli sberleffi e le allucinazioni di letterati, filosofi e naturalisti*, Polistampa, Firenze 2008.
- [5] Barsanti, G., *L'uomo dei boschi. Piccola storia delle grandi scimmie*, La Sapienza, Roma 2009.
- [6] Barsanti G., *L'ambiente e il comportamento nelle teorie evoluzionistiche dell'Ottocento* (in corso di stampa).
- [7] Barsanti, G., *Fra scienze della terra e scienze della vita. Storia dell'evoluzionismo italiano* (in corso di stampa).
- [8] Barsanti, G., Gori Savellini, S., Guarnieri, P., Pogliano, C. (a cura di), *Misura d'uomo. Strumenti, teorie e pratiche dell'antropometria e della psicologia sperimentale fra Otto e Novecento*, Giunti, Firenze 1986.
- [9] Belon, P., *L'Histoire de la nature des oyseaux*, Cauellat, Paris 1555.
- [10] Blumenbach, J. F., *De generis humani varietate nativa liber. Editio tertia*, Vandenhoeck e Ruprecht, Gottingae 1795.
- [11] Bonnet, C., *Traité d'insectologie*, 2 voll., Durand, Paris 1745.
- [12] Bradley, R., *A Philosophical account of the works of nature*, Mears, London 1721.
- [13] Broca, P., *Histoire des travaux de la Société d'Anthropologie de Paris (1859-1863)*, in Blanckaert, C. (a cura di), *Mémoires d'anthropologie*, Place, Paris 1989.
- [14] Buffon, G. L. Leclerc de, *Histoire naturelle de l'homme*, (1749-1789) II, pp. 429-603 e III, pp. 305-530.
- [15] Buffon, G. L. Leclerc de, *Histoire naturelle, générale et particulière*, 36 voll., Imprimerie Royale, Paris 1749-1789.
- [16] Buffon, G. L. Leclerc de, *De la nature. Première vue*, (1749-1789), 12, pp. III-XV.
- [17] Camper, P., *Dissertation sur le variétés naturelles qui caractérisent le physionomie des hommes des divers climats et des différens âges*, Jansen, Paris 1791.
- [18] Canestrini, G., *Origine dell'uomo*, Brigola, Milano 1866.
- [19] Cuvier, G., Geoffroy Saint-Hilaire, É., *Mémoire sur les orangs-outangs*, *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle*, 46, 1798, pp. 185-191.
- [20] Darwin, C., *Lettere*, (1825-1859), a cura di F. Burkhardt, Cortina, Milano 2003.
- [21] Darwin, C., *Taccuini*, (1836-1844), a cura di T. Pievani, Laterza, Roma-Bari 2008.
- [22] Darwin, C., *L'origine delle specie per selezione naturale. Con le appendici e le varianti della sesta edizione* (1859), Newton Compton, Roma 1995.

- [23] Darwin, C., *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale* (1871), Newton Compton, Roma 1972.
- [24] Daubenton, L. J. M., Mémoire sur les différences de la situation du grand trou occipital dans l'homme et dans les animaux, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Année 1764*, Paris, 1767, pp. 568-575.
- [25] De Filippi, 1864.
- [26] Huxley, J. (con A. Haddon.), *Noi Europei. Un'indagine sul problema 'razziale'*, Comunità, Torino 2002.
- [27] Lamarck, J. B. de Monet de, *Recherches sur l'organisation des corps vivans*, Maillard, Paris 1802.
- [28] Lamarck, J. B. de Monet de, *Philosophie zoologique*, 2 voll., Dentu, Paris 1809.
- [29] Lamarck, J. B. de Monet de, «Homme», in *Nouveau dictionnaire d'histoire naturelle*, 15, Deterville, Paris 1817, pp. 270-276.
- [30] Lamarck, J. B. de Monet de, *Système analytique des connoissances positives de l'homme*, Baillièrre, Paris 1820.
- [31] Linné, C., *Systema naturae*, Haak, Lugduni Batavorum, 1735.
- [32] Linné, C., *Systema naturae. Editio duodecima*, Salvii, Holmiae 1766-1768.
- [33] Mantegazza, P., L'uomo e gli uomini, *Archivio per l'Antropologia e l'Etnologia*, 6, 1876, pp. 30-46.
- [34] Maupertuis, P. L. Moreau de, *Vénus physique*, s.l., s.e. 1745.
- [35] Montaigne, M. de, *Saggi*, a cura di F. Garavini, Fabbri, Milano 2001.
- [36] Savage, T., Wyman, J., Notice of the External Characters and Habits of Troglodytes Gorilla, *Boston Journal of Natural History*, 4-5, 1847 pp. 417-443.
- [37] Topinard, P., *Éléments d'anthropologie générale*, Delahaye e Lecrosmier, Paris 1885.
- [38] Topinard, P., *Instructions anthropologiques pour les voyageurs*, in Collini, S., Vannoni, A. (a cura di), *Les instructions scientifiques pour les voyageurs (XVIII-XIX siècles)*, L'Harmattan, Paris 2005.
- [39] Tyson, E., *Orang-outan, sive Homo sylvestris*, Osborne, London 1751.
- [40] Virey, J. J., «Créature», in *Nouveau dictionnaire d'histoire naturelle*, 8, Deterville, Paris 1817, pp. 393-420.

PRIMO LEVI, CHIMICO-SCRITTORE*

MIMMA BRESCIANI CALIFANO

California State University, Firenze

Primo Levi, chimico-scrittore, avverte tutti i vantaggi della sua condizione di scrittore anomalo, di scrittore nato da un mestiere diverso:

Troppo chimico, e chimico per troppo tempo, per sentirmi un autentico uomo di lettere; troppo distratto dal paesaggio, variopinto, tragico o strano, per sentirmi chimico in ogni fibra. Ho corso insomma da isolato, ed ho seguito una via serpeggiante, annusando qua e là, e costruendomi una cultura disordinata, lacunosa e saputella. A compenso mi sono divertito a guardare il mondo sotto luci inconsuete, invertendo per così dire la strumentazione: a rivisitare le cose della tecnica con l'occhio del letterato, e le lettere con l'occhio del tecnico [4, p. V].

E leggiamo ancora, sempre dalla Prefazione de *L'altrui mestiere*:

I saggi qui raccolti [...] sono il frutto di questo mio più che decennale vagabondaggio di dilettante curioso. «Sono invasioni di campo», incursioni nei mestieri altrui, bracconaggi in distretti di caccia riservata, scorribande negli sterminati territori della zoologia, dell'astronomia, della linguistica: scienze che non ho mai studiato sistematicamente, e che appunto per questo esercitano su di me il fascino durevole degli amori non soddisfatti e non corrisposti, [...]. Altrove, mi sono avventurato a prendere posizione su problemi attuali, o a rileggere classici antichi e moderni, o ad esplorare i legami trasversali che collegano il mondo della natura con quello della cultura; sovente ho messo piede sui ponti che uniscono (o dovrebbero unire) la cultura scientifica con quella letteraria scavalcando un crepaccio che mi è sempre sembrato assurdo. C'è chi si torce le mani e lo definisce un abisso, ma non fa nulla per colmarlo; c'è anche chi si adopera per allargarlo, quasi che lo scienziato e il letterato appartenessero a due sottospecie umane diverse, reciprocamente alloglotte, destinate a ignorarsi e non interfeconde. È una schisi innaturale, non necessaria, nociva, frutto di lontani tabù e della controriforma, quando non risalga addirittura a una interpretazione meschina del divieto biblico di mangiare un certo frutto. Non la conoscevano Empedocle, Dante, Leonardo, Galileo, Cartesio, Goethe, Einstein, né gli anonimi costruttori delle cattedrali gotiche, né Michelangelo; né la conoscono i buoni artigiani d'oggi, né i fisici esitanti sull'orlo dell'inconoscibile [4, pp. V-VI].

E così conclude:

* Lezione-incontro tenuta il 19 novembre 2009 presso il Liceo Enrico Fermi di Cecina (Livorno), nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

Qualche volta mi sento chiedere, con curiosità o anche con burbanza, come mai io scrivo pur essendo un chimico. Mi auguro che questi miei scritti, entro i loro modesti limiti d'impegno e di mole, facciano vedere che fra le "due culture" non c'è incompatibilità: c'è invece, a volte, quando esiste la volontà buona, un mutuo trascinarsi [4, p. VI].

La cultura scientifica e quella letteraria, il mondo della natura e quello della cultura trovano spazio nell'universo di Levi, si intersecano fecondi e interferiscono ai fini di una visione ampia, più ricca e complessa, del mondo e dei suoi problemi.

Ne *L'altrui mestiere* Levi ci confessa l'amore mal soddisfatto per i viaggi che trova compenso nella frequenza con la quale il viaggio compare come *topos* letterario in molti dei suoi scritti. Il «destino statico» al quale sente di essere inchiodato, gli consente in cambio di muoversi in un «vagabondaggio continuo» tra la carta stampata, di esercitare la sua curiosità costante nell'ambito di territori estranei, e che perciò proprio esercitano «il fascino durevole degli amori non soddisfatti». Il vizio della carta stampata supplisce dunque largamente al bisogno di visitare territori altri, il ricorso a essa è continuo perché sempre vivo è l'interesse al mondo che lo circonda nei suoi molteplici risvolti.

In un'altra interessante raccolta di scritti, *La ricerca delle radici* in cui Levi dichiara di voler capire, «fare i conti, tutti», con «quanto si è ricevuto, e quanto dato, quanto è uscito e quanto resta» leggiamo ancora:

Ho letto molto perché appartenevo a una famiglia in cui leggere era un vizio innocente e tradizionale, un'abitudine gratificante, una ginnastica mentale, un modo obbligatorio e compulsivo di riempire i vuoti del tempo, e una sorta di fata morgana nella direzione della sapienza. Mio padre aveva sempre in lettura tre libri contemporaneamente; leggeva «stando in casa, andando per via, coricandosi e alzandosi» (*Deut. 6.7*); si faceva cucire dal sarto tasche larghe e profonde, che potessero contenere un libro ciascuna. Aveva due fratelli altrettanto avidi di letture indiscriminate; i tre [...] si volevano un gran bene, ma si rubavano a vicenda i libri dalle rispettive librerie in tutte le occasioni possibili. [...] Ho trascorso la giovinezza in un ambiente saturo di carta stampata [3, p. VIII].

Infine:

ho letto parecchio, ma non credo di stare iscritto nelle cose che ho letto; è probabile che il mio scrivere risenta più dell'aver io condotto per trent'anni un mestiere tecnico, che non dei libri ingeriti [...]. Comunque ho letto molto.

Fin qui queste citazioni di cui ci siamo avvalsi, dando inizio al nostro discorso, utili per presentare in modo diretto il personaggio Primo Levi. Più in particolare ora entreremo nello specifico dell'argomento prescelto soffermandoci su due testi, *Il sistema periodico* e *La chiave a stella*. Esemplici. Ci permetteranno infatti di mettere a fuoco il rapporto che intercorre tra il mestiere del chimico e quello dello scrittore. Nel farlo muoveremo ancora una volta da una testimonianza diretta che rappresenta il punto di partenza del suo percorso di scrittore fino alla stesura de *La chiave a stella*.

Ho abbandonato il mestiere di chimico ormai da qualche anno, ma solo adesso mi sento in possesso del distacco necessario per vederlo nella sua interezza, e per comprendere quanto mi è compenetrato e quanto gli debbo. Non intendo alludere al fatto che, durante la mia prigionia ad Auschwitz, mi ha salvato la vita, né al ragionevole guadagno che ne ho ricavato per trent'anni, né alla pensione a cui mi ha dato diritto. Vorrei invece descrivere altri benefici che mi pare di averne tratto, e che tutti si riferiscono al nuovo mestiere a cui sono passato, cioè al mestiere di scrivere. [...] Le cose che ho viste, sperimentate e fatte nella mia precedente incarnazione sono oggi, per me scrittore, una fonte preziosa di materie prime, di fatti da raccontare, e non solo di fatti: anche di quelle emozioni fondamentali che sono il misurarsi con la materia, il vincere, il rimanere sconfitti. Quest'ultima è un'esperienza dolorosa ma salutare, senza la quale non si diventa adulti e responsabili. Ci sono altri benefici, altri doni che il chimico porge allo scrittore. L'abitudine a penetrare la materia [...] conduce ad un *insight*, ad un abito mentale di concretezza e di concisione, al desiderio costante di non fermarsi alla superficie delle cose. La chimica è l'arte di separare, pesare e distinguere: sono tre esercizi utili anche a chi si accinge a descrivere fatti o a dare corpo alla propria fantasia. [...]. Per tutti questi motivi, quando un lettore si stupisce del fatto che io chimico abbia scelto la via dello scrivere, mi sento autorizzato a rispondergli che scrivo proprio perché sono un chimico: il mio vecchio mestiere si è largamente trasfuso nel nuovo [4, pp. 12-14].

E ora iniziamo non senza prima avvalerci di un'ultima testimonianza che costituisce una interessante premessa alle scelte compiute da Primo Levi:

Ero sazio di libri, che pure continuavo a ingoiare con voracità indiscreta, e cercavo un'altra chiave per i sommi veri: una chiave ci doveva pur essere, ed ero sicuro che, per una qualche mostruosa congiura ai danni miei e del mondo, non l'avrei avuta nella scuola. A scuola mi somministravano tonnellate di nozioni che digerivo con diligenza, ma che non mi riscaldavano le vene. Guardavo gonfiare le gemme in primavera, luccicare la mica nel granito, le mie stesse mani, e dicevo dentro di me: «Capirò anche questo, capirò tutto, [...] tutto intorno a noi era mistero che premeva per svelarsi: il legno vetusto dei banchi, la sfera del sole di là dai vetri e dai tetti, il volo vano dei pappi nell'aria di giugno [...].

Saremmo stati chimici, Enrico ed io. Avremmo dragato il ventre del mistero con le nostre forze, col nostro ingegno [...]. Lungo tutta la strada avevamo discusso su quello che avremmo fatto, ora che saremmo "entrati in laboratorio", ma avevamo idee confuse. Ci sembrava *embarras de richesse*, ed era invece un altro imbarazzo, più profondo ed essenziale: un imbarazzo legato ad un'antica atrofia [...]. Cosa sapevamo fare con le nostre mani? Niente, o quasi. [...] Le nostre mani erano rozze e deboli ad un tempo, regredite, insensibili: la parte meno educata dei nostri corpi. Compiute le prime fondamentali esperienze del gioco, avevano imparato a scrivere e null'altro. [...] Ignoravano il peso solenne e bilanciato del martello, la forza concentrata delle lame, troppo prudentemente proibite, la tessitura sapiente del legno, la cedevolezza simile e diversa del ferro,

del piombo e del rame. Se l'uomo è artefice, non eravamo uomini: lo sapevamo e ne soffrivamo [1, pp. 23-25].

In queste poche righe troviamo concentrata tutta la filosofia di Primo Levi e *in nuce* il futuro protagonista de *La chiave a stella*, la sua ragion d'essere.

Pensare e sapere usare le mani. Momento teorico e momento sperimentale sono qualità fondamentali per essere fino in fondo uomini, padroni, per quanto è possibile, del proprio destino. Il bisogno di sentirsi liberi e forti, «la fame di capire le cose», il desiderio di misurarsi con il mondo esterno per conoscere i propri limiti, sono stati per Primo Levi determinanti ai fini delle sue scelte di vita e di studi.

La chimica rappresentava per lui giovanissimo, ancora al liceo, la strada migliore per soddisfare il suo entusiasmo per «la ricerca della verità», la sua convinzione di un necessario e costante confronto con la realtà delle cose, contro tutte le affermazioni non dimostrate, contro «tutti gli imperativi».

La chimica gli era apparsa, fin dall'età di quattordici-quindici anni, «il motore dell'universo», «la chiave del vero», un campo in cui poter esercitare a pieno l'intelligenza delle mani e della mente, la possibilità di sperimentare attraverso la pratica dell'errore per giungere a maggiori certezze, il luogo ideale in cui soddisfare il suo rifiuto netto di ogni forma di astrattezza, di attività speculativa risolta fuori del contatto con la realtà. «Pensavo di trovare nella chimica», scrive Levi, «la risposta agli interrogativi che la filosofia lascia irrisolti. Cercavo un'immagine del mondo piuttosto che un mestiere» [5, p. 30].

Lo scetticismo e l'ironia del professore di chimica generale e inorganica, nemico di tutte le retoriche, lo aveva, all'inizio del suo primo corso, brutalmente affascinato e allo stesso tempo lo aveva ricondotto con i piedi sulla terra: «No, la chimica di P. non era il motore dell'universo, né la chiave del Vero» [1, p. 30].

Dopo i primi cinque mesi di lezione, il professore, praticata un'ampia selezione, aveva dischiuso il laboratorio ai pochi superstiti, usando

una versione moderna e tecnica dei rituali selvaggi di iniziazione, in cui ogni suo suddito veniva bruscamente strappato al libro e al banco, e trapiantato in mezzo ai fumi che bruciano gli occhi, agli acidi che bruciano le mani, e agli eventi pratici che non quadrano con le teorie [1, p. 32].

Il passo all'inizio e le altre citazioni si trovano ne *Il sistema periodico*, un libro in cui il testimone del tempo e della storia, al suo rientro dal lager, cede il passo allo scrittore a pieno titolo. Esse aiutano subito a inquadrare il personaggio, a mettere a fuoco i suoi atteggiamenti e le ragioni intrinseche della sua stessa scrittura. In questo libro, senza alcuna soluzione di continuità, al chimico-tecnologo, come amava egli stesso definirsi, subentra e si sovrappone lo scrittore vero e proprio.

Il sistema periodico costituisce il ponte di passaggio fra le due culture, ne diviene l'inevitabile sbocco. Il mondo della scienza e della tecnica e quello dell'umanesimo si intrecciano, diventano l'uno prolungamento dell'altro, l'uno interfaccia dell'altro, e si

propongono all'attenzione del lettore con eguale semplicità e chiarezza, in una comunicazione reale e ideale al tempo stesso.

Il sistema periodico raccoglie storie di chimica militante in cui il punto di riferimento resta costantemente l'uomo. È l'autobiografia rielaborata in chiave di costruzione letteraria in cui la chimica gioca un ruolo fondamentale. La biografia infine di un uomo che si muove nello spazio di un ripetuto confronto con gli uomini e con le cose, in un fluire ininterrotto e reversibile, attraverso naturalissimi scorrimenti dagli elementi della tavola periodica ai singoli personaggi con i quali è venuto in contatto.

L'elemento chimico si fa cornice e porge la chiave del racconto. Diventa così la storia di un chimico al lavoro che cerca la soluzione ai problemi che di volta in volta si pongono e che lungi dal chiudersi in una ricerca unicamente mirata al problema tecnico-scientifico, si guarda intorno, osserva, studia gli atteggiamenti e i modi di essere degli altri e il loro interagire con il mondo esterno. Le storie rientrano nella sua esperienza praticata come chimico e come uomo ad un tempo, fatta di avventure dall'esito felice o infausto. Ciò che ispira queste storie è sempre il senso del concreto e del reale che lo avevano portato al mestiere di chimico e che si va rafforzando nella convinzione e nella pratica della scienza, che rappresenta il punto di partenza per la valutazione delle cose e degli uomini: «vincere la materia», spiega con fervore tutto giovanile all'amico Sandro, suo compagno di studi, «è comprenderla, e comprendere la materia è necessario per comprendere l'universo e noi stessi»; studiare la materia significa trovare «il ponte, l'anello mancante, fra il mondo delle carte e il mondo delle cose» [1, p. 43].

Il ribrezzo per i dogmi, per le verità non dimostrate, Levi lo coltivava all'interno del suo laboratorio, ne discuteva con il suo amico Sandro, gli chiedeva:

Lui, ragazzo onesto ed aperto, non sentiva il puzzo delle verità fasciste che ammorbava il cielo, non percepiva come un'ignominia che ad un uomo pensante venisse richiesto di credere senza pensare? [...] Lo provava: ed allora [...] come poteva ignorare che la chimica e la fisica di cui ci nutrivamo, oltre che alimenti di per sé vitali, erano l'antidoto al fascismo che lui ed io cercavamo, perché erano chiare e distinte e ad ogni passo verificabili, e non tessuti di menzogne e di vanità, come la radio e i giornali? [1, p. 43-44].

Fuori delle mura dell'Istituto Chimico era notte, la notte dell'Europa: Chamberlain era ritornato giocato da Monaco, Hitler era entrato a Praga senza sparare un colpo, Franco aveva piegato Barcellona e sedeva a Madrid. L'Italia fascista, pirata minore, aveva occupato l'Albania, e la premonizione della catastrofe imminente si condensava come una rugiada viscida per le case e nelle strade, nei discorsi cauti e nelle coscienze assopite. Ma dentro quelle spesse mura la notte non penetrava [1, p. 39].

Una mentalità scientifica acquisita e al tempo stesso a lui connaturata rappresenta il filo conduttore di ogni suo pensiero, una questione di metodo, la linea portante del mestiere di chimico e di quello di scrittore.

Il mestiere della vita e quello del chimico si sovrappongono: in entrambi i casi si attraversano momenti di prove e di errori, di successi e di insuccessi, di fronte ai quali non si può rimanere inermi e si è costretti a prendere sempre e di nuovo posizione. In un caso come nell'altro l'atteggiamento deve rimanere freddo e lucido, l'ironia e l'autoironia ci devono essere compagne.

Un filone importante delle letture di Levi era costituito da quello che lui chiamava «la salvezza del riso», con Rabelais in testa per la sua capacità innovativa nell'uso del linguaggio «divertente e geniale» grazie proprio alla sua forte capacità di ironia. E ironia vuol dire conoscenza dell'uomo e della condizione umana, consapevolezza dei suoi limiti.

Battaglia dunque, «perché battaglia è sempre» ci dice Levi, come in un'avventura conradiana in cui si avverta la presenza costante dell'opacità di fondo della nostra esistenza, e in cui si pratici ininterrotta tuttavia la sfida contro la propria inerzia e contro l'indifferenza della materia. È questa la sola via praticabile per affermare la dignità dell'uomo con il suo coraggio con le sue scelte combattive, all'insegna di una pratica razionale, nella chiara coscienza di possibili fallimenti e di sconfitte che l'imprevedibilità degli avvenimenti ci può riservare. In questo senso l'ironia ci viene incontro e ci salva.

Agire, tenersi stretti alla realtà, non significa però affrontare i problemi senza preparare un piano, un progetto: «un chimico non pensa, anzi non vive, senza modelli» e solo grazie ad essi è possibile figurarsi delle ipotesi. «Non c'è nulla di più vivificante che un'ipotesi» dice Levi, e subito avverte: un'ipotesi è solo «un tentativo di soluzione, non la soluzione»:

Siamo chimici, cioè cacciatori: nostre sono «le due esperienze della vita adulta» di cui parlava Pavese, il successo e l'insuccesso, uccidere la balena bianca o sfasciare la nave; non ci si deve arrendere alla materia incomprensibile, non ci si deve sedere. Siamo qui per questo, per sbagliare e correggerci, per incassare colpi e per renderli. Non ci si deve mai sentire disarmati: la natura è immensa e complessa, ma non è impermeabile all'intelligenza; devi girarle intorno, pungere, sondare, cercare il varco o fartelo [1, p. 79].

Il momento sperimentale è dunque fondamentale, ma non rappresenta il punto di partenza della conoscenza. Esso nasce dall'osservazione del reale e del suo tradursi in un modello d'interpretazione dello stesso ed è sempre in funzione di un'ipotesi tutta da verificare. In questo senso la scienza è in grado di rispondere ai quesiti, mentre la filosofia cresce solo sulle parole, su ipotesi teoriche, su sistemi autoreferenziali, senza possibilità di un successivo concreto riscontro. La chimica, la matematica, la fisica si presentano a Levi dunque come le principali armi per affrontare il problema della conoscenza del mondo intorno a noi. Teoria dunque ma non solo.

Levi scrittore riconosce alla sua esperienza di chimico una grande influenza e un grande debito: «non si trattava», scrive, «solo di un mestiere esercitato, ma anche di una formazione esistenziale, di certe abitudini mentali, e direi prima tra tutte quella della chiarezza. [...] Il mestiere di chimico in una piccola fabbrica di vernici (come

Italo Svevo) è stato fondamentale per me anche come apporto di materie prime, come capitale di cose da raccontare» [1, pp. 61-62-63]. «Ho vissuto in fabbrica per quasi trent'anni, e devo ammettere che non c'è contraddizione fra l'essere un chimico e l'essere uno scrittore: c'è anzi un reciproco rinforzo» [5, p. 127].

Il bisogno di essere, per quanto è possibile, padroni del proprio destino, la volontà di capire e di confrontarsi con il mondo esterno, sperimentando il successo e l'insuccesso, Levi se le porta sempre dietro, nel lager, nella fabbrica, nella scrittura.

Ed è su questo sfondo che si costruisce la figura mitica di Faussonne, il protagonista de *La chiave a stella*. Questo personaggio nasce e cresce sul mondo ricco e complesso dell'intreccio di esperienze di vita e di cultura dello scrittore. Faussonne è una sua gemmazione, un esito quasi naturale. In esso prende corpo e si solidifica la moralità dell'uomo onesto, preso sempre e soltanto dai perché delle cose, sorretto dall'entusiasmo del fare, pronto alle sfide, determinato nell'uso della ragionevolezza e della tolleranza nei confronti degli altri.

Faussonne è una parte di Levi che si proietta all'esterno in un mondo di fantasia e di realtà. Ama viaggiare per conoscere, per mettere a confronto ciò che ha letto con ciò che vede di persona, per scoprire quanto è più ricco il mondo e più vario di quanto ce lo possiamo figurare sulla base di esperienze indirette. Gli piace però viaggiare per lavoro, avere cioè degli obiettivi concreti, fare il giramondo e insieme costruire qualcosa di utile. Sono questi i segni di un'inquietudine viva, mirata ad allargare le esperienze che la vita in movimento può regalarci, e perciò talvolta, al suo rientro dai viaggi di lavoro preferisce andare in pensione piuttosto che essere ospite delle sue due zie che si ostinano noiosamente a volerlo accasato, con fissa dimora e con fissa compagna, inserito nell'ordine tranquillo e ripetitivo, rassicurante delle mura domestiche.

Faussonne, come Levi, sotto altra forma, si confronta con la materia. Cerca di piegarla come in una partita a due, tra due «avversari diseguali». E nel farlo si rende conto, impara, fa esperienza, prova fino a che punto la materia è in grado di resistere agli sforzi compiuti contro di lei per assoggettarla. Si misura e scopre i suoi limiti, ma anche le sue capacità, non si arrende, ingaggia una vera e propria battaglia, per offrire il suo contributo, pedina importante, al migliore dei mondi possibili. «La vita», scrive Calvino, «è degli uomini che amano il proprio mestiere, degli uomini che nel proprio mestiere sanno realizzarsi». Faussonne è uno di questi.

Dopo la pubblicazione e il successo de *Il sistema periodico*, uscito nel 1975, Levi aveva intenzione di fare seguire a questo un secondo libro. Se il primo raccoglie una serie di racconti muovendo dalla chimica inorganica e dalla tavola di Mendeleev, il secondo avrebbe dovuto prendere le mosse dalla chimica organica e aveva per questo già pronto il titolo: *Il doppio legame*. Nasce invece *La chiave a stella* (1978) in cui campeggia a tutto tondo la figura dell'operaio specializzato, del montatore di gru e di tralicci, Faussonne. Si coglie qui la trasposizione diretta e insieme la traduzione in gioco letterario di un preciso modello di vita, di uomo attivo capace consapevole che ama e fa con passione il proprio lavoro, che Levi coltiva da tempo nella sua mente. È un per-

sonaggio che preme, che insiste, a lungo covato, per trovare pieno diritto all'esistenza, per vivere in carne e ossa.

Il passaggio dal mestiere di chimico-tecnologo, solitario e caparbio, che cerca di sconfiggere la durezza della materia e ordinare il mondo verso possibilità di progresso, a quello di scrittore, avviene in modo del tutto piano, e si risolve nella messa a punto del protagonista de *La chiave a stella*.

Le sue esperienze di chimico e di uomo, su cui ama riflettere, si adagiano in una soluzione che rappresenta la giusta e naturale rappresentazione di quel mondo.

Primo Levi amava il proprio mestiere di chimico-scrittore, lo amava con profonda umiltà, con il gusto dell'abilità tecnica e del materiale di lavoro. Si sentiva anche lui «un montatore di storie». Dopo aver passato trenta anni in fabbrica a «cucire insieme lunghe molecole presumibilmente utili al prossimo», Levi passa alla scrittura come lavoro di montaggio.

Non c'è molta differenza fra costruire un apparecchio per il laboratorio e costruire un bel racconto. Ci vuole simmetria. Ci vuole idoneità allo scopo. Bisogna togliere il superfluo. Bisogna che non manchi l'indispensabile. E che alla fine tutto funzioni [5, p. 88].

Levi affida queste riflessioni a Faussone: «Eh no: tutto non le posso dire. O che dico il paese, o che le racconto il fatto: Io però, se fossi in lei, sceglierei il fatto, perché è un bel fatto. Lei poi, se proprio lo vuole raccontare, ci lavora sopra, lo rettifica, lo smerigli, toglie le bavature, gli dà un po' di bombé e tira fuori una storia» [2, p. 3].

Insomma, spiega Levi:

Il testo letterario è in un certo modo imparentato con il lavoro manuale. Sì, almeno mentalmente, un progetto, una scaletta, un disegno, e poi si cerca di realizzare il manufatto nel modo più conforme al progetto. Naturalmente, l'ho fatto dire a Faussone, è molto meno pericoloso scrivere un libro che costruire un ponte: se un ponte crolla può provocare molti danni, anche alle persone. Se crolla un libro fa danni solo al suo autore [5, p. 200].

Faussone si confronta con strutture metalliche per impianti petroliferi, per ponti sospesi, sempre paziente, e consapevole dei molti rischi cui va incontro. Levi presta al suo alter ego la volontà di sfida e insieme la pacata consapevolezza del possibile insuccesso, insito nella condizione umana.

L'intelligenza e la scienza, il lavoro e la tecnologia prolungano le nostre azioni nello spazio e nel tempo (due esempi: l'aeroplano e gli occhiali) con la capacità di fabbricare oggetti artificiali, macchine e strumenti che ci vengono in aiuto e ci permettono di stare al mondo nel migliore dei modi possibili. In questa prospettiva, il senso di responsabilità personale da una parte e il «vizio di forma», l'esito abnorme e infausto dall'altra, sono egualmente possibili e alternativi. La pratica della ricerca, nella sua necessità dialettica con la materia, ostile e sconosciuta, serve a mettere a dura prova le proprie forze, a temprarli, e anche ad allenarsi al peggio.

Con l'amico Sandro Delmastro, Levi percorreva in bicicletta centinaia di chilometri, si arrampicavano insieme scalando pareti di roccia impervie e mai praticate, «con furia e pazienza». Si sottoponevano «alla fame, al freddo e alla fatica», si allenavano «al sopportare e al decidere». Levi si era preparato al peggio, al lager. Con Sandro aveva imparato a mangiare «la carne dell'orso».

Ora che sono passati molti anni, rimpiango di averne mangiata poca, poiché di tutto quanto la vita mi ha dato di buono, nulla ha avuto, neppure alla lontana, il sapore di quella carne che è il sapore di essere forti e liberi, liberi anche di sbagliare, e padroni del proprio destino [1, p. 50].

In Faussonne troviamo lo stesso spirito combattivo, lo stesso coraggio sobrio e responsabile nel risolvere le difficoltà in momenti di grande pericolo, la stessa soddisfazione di vittoria, rispetto a chi rinuncia a priori, a chi non si sente di affrontare le prove. Faussonne come Sandro, Sandro Delmastro, figlio di un muratore, che amava la chimica e passava le estati a fare il pastore e d'inverno studiava con Levi, catturato dai fascisti e ucciso in un tentativo di fuga, sta tutto nelle azioni. Finite quelle, di loro non resterebbe più niente, dice Levi, e perciò vale la pena di raccontare, di ricordare le vicende di personaggi come questi.

Sandro Delmastro è il primo caduto del Comando Militare Piemontese del Partito d'Azione.

Fu ucciso, con una scarica di mitra sulla nuca, da un mostruoso carnefice-bambino, uno di quegli sciagurati sgherri di quindici anni che la repubblica di Salò aveva arruolato nei riformatori. Il suo corpo rimase a lungo abbandonato in mezzo al viale, perché i fascisti avevano vietato alla popolazione di dargli sepoltura [1, p. 51].

Il sistema periodico è la storia di un mestiere con le sue vittorie e le sue sconfitte, dal sapore forte e amaro, di un mestiere che non si vede perché debba rimanere oscuro, sconosciuto ai più che pure dai risultati di questo lavoro traggono i migliori benefici. Ecco perché il lavoro del chimico in fabbrica come quello del montatore sono storie degne di essere raccontate.

È un mestiere, quello del chimico, scrive Levi «che è poi un caso particolare, una versione più strenua, del mestiere di vivere. Gli dissi che non mi pareva giusto che il mondo sapesse tutto di come vive il medico, la prostituta, il marinaio, l'assassino, la contessa, l'antico romano, il congiurato e il polinesiano, e nulla di come viviamo noi trasmutatori di materia [1, p. 207].

È facile capire come la storia di Faussonne diventi il naturale sbocco di queste ed altre riflessioni, come nella sua figura si concentri inevitabilmente questa moralità coerente e felice: il montatore solitario, coraggioso e determinato, ricco di esperienza e sempre bisognoso di accrescerla per scoprire il mondo fuori e lontano da lui; il meccanico specializzato, che ha imparato tante cose e che ha tante storie da raccontare e che si sfoga a raccontarle riducendo al minimo lo spazio del suo interlocutore.

Nel personaggio di Faussonne si costruisce ad un tempo la coerenza culturale e immaginifica di uno scrittore che intende comunicare con il mondo esterno, che cerca di trasmettere il valore e il significato di un lavoro che avanza silenzioso e ignorato per mettere a disposizione degli altri, grazie alla ricerca e ai risultati della tecnica e della scienza, il migliore dei mondi possibili. È ovvio poi che anche nel migliore dei mondi può determinarsi un vizio di forma, una battuta d'arresto, un improvviso regresso, una caduta catastrofica. Tutto ciò è sempre presente in Primo Levi. È un problema che non perde mai di vista, quello dell'uomo prigioniero in un ingranaggio, retaggio consapevole o inconsapevole di un'altra prigionia.

Se è vero che la tecnologia è un prodotto umano, ci dice Levi, essa come la natura umana può contenere l'errore, perché l'errore è nella natura umana. Il nostro rapporto con la tecnologia e il progresso va definito nei termini di una sempre possibile malefica devianza.

Il gas ci permette, appena girando una chiavetta, di preparare cibi caldi e gustosi, di riscaldare le nostre case, ma ha anche permesso rapidi stermini di massa. Demonizzare la scienza e il progresso, la tecnologia, di cui noi tutti godiamo i benefici senza renderci conto del lavoro che sta dietro la ricerca e l'applicazione dei suoi risultati, è gioco tanto facile quanto assurdo, e ingiusto. Ce ne vengono continui vantaggi e ce ne lamentiamo, in una forma di contraddittoria coerenza.

Faussonne, dicevamo, è il risultato di una serie di esperienze personali dirette e indirette che Levi, in accordo con un modello, frutto di un'estrema coerenza di pensiero, ha voluto nell'ottica di una società bene ordinata. Bene ordinata nei limiti del possibile e perciò senza eccessivo ottimismo, legata a una valutazione della realtà equilibrata e distante, consapevole di muoversi in uno spazio senza miti e senza comodi abbandoni al sogno utopico di una perfezione impossibile.

La società perfetta non può esistere perché le stesse condizioni umane non lo consentono, e proprio perciò è necessario fare appello di continuo al senso di una responsabilità vigile e attenta, sempre pronta a intervenire, a negare il consenso.

Quella di Primo Levi è una letteratura artigianale, messa su pezzo per pezzo, all'insegna di una poetica antimitica e antiidealistica. La sua letteratura nasce da un terreno di non letteratura, dalle storie di anonimi personaggi che raccontano la storia delle loro storie. Storie di uomini, perché l'uomo con il suo esempio, con il suo senso di moralità onesta e responsabile, perché «questo è un uomo», può cercare di contrapporsi al peggiore dei mondi, solo che non resti inerme e passivo, inoperoso e rinunciatario, in un atteggiamento di pigrizia mentale e fisica o di critica tanto sterile quanto inutile.

La chiave a stella allora è il risultato di una visione etica del lavoro, come momento di riscatto della personale dignità dell'uomo, del suo senso di felice e responsabile collaborazione ai fini di una collettività sana e socialmente organizzata, della verità del suo linguaggio nella misura in cui la chiarezza e la concretezza del dire si risolvono in un onesto e competente riscontro con le cose di cui si parla per l'adesione diretta alla

realità esperita e pensata, in un'immediata corrispondenza tra ciò che si sa e si sa fare e quello di cui si dice.

Un filo lega *Se questo è un uomo* a *Il sistema periodico* e *La chiave a stella*, un profondo sotterraneo legame: la mancanza di dignità, da una parte, cui l'uomo è stato ridotto, l'uomo degradato la cui dignità è stata cancellata da altri che uomini non sono, e la difesa della dignità dell'uomo dall'altra, purché se la sappia conquistare.

Faussone è competente e generoso nell'uso delle sue mani che danno corpo all'intelligenza e lo aiutano a diventare indipendente e libero, ma anche a fare qualcosa di utile per la società. Questo artigiano tecnologicamente avanzato trova o cerca la felicità nella tecnica manuale, nell'abilità del suo godibilissimo mestiere.

Se le mani – e siamo ritornati al punto di partenza – si risolvono in un'operosità attenta all'esecuzione di un compito in positivo per la collettività allora non trovano il tempo per offendere e per fare violenza, non resta tempo per ledere i diritti degli altri, per predicare menzogne, per distruggere quanto in secoli di paziente lavoro umano è stato costruito. Levi insiste molto sul valore educativo e formativo che il lavoro può avere, la sua scrittura ne porta costantemente il segno senza che lo dichiari, e ci dice inoltre che la scienza e la tecnica possono essere non solo soggetto letterario, ma anche scuola al pensare e allo scrivere.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Levi, P., *Il sistema periodico*, Einaudi, Torino 1975.
- [2] Levi, P., *La chiave a stella*, Einaudi, Torino 1978.
- [3] Levi, P., *La ricerca delle radici*, Einaudi, Torino 1981.
- [4] Levi, P., *L'altrui mestiere*, Einaudi, Torino 1985.
- [5] Levi, P., *Conversazioni e interviste 1963-1987*, a cura di M. Belpoliti, Einaudi, Torino 1997.

DAL FLAUTO DEL PALEOLITICO ALLE NEUROSCIENZE PASSANDO PER GALILEO*

ANDREA FROVA

Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Roma

1. Il flauto dell'*homo sapiens*

Il recente ritrovamento in Svevia di un flauto suonabile [1], costruito circa 35 mila anni fa – età del paleolitico superiore – presenta delle interessanti implicazioni musicologiche. Esso fornisce nuovo sostegno alla tesi che le scelte musicali dei Greci antichi, ossia quelle che hanno dato luogo all'armonia classica, fondata principalmente sulla dialettica consonanza/dissonanza, non furono mere convenzioni cui ci saremmo assuefatti nei millenni, così assuefatti – parole di Schoenberg – da non poterci facilmente adattare a scelte alternative, come quelle novecentesche di tipo dodecafonico o postdodecafonico. Le scelte dei Greci furono invece forme preferite dal nostro sistema uditivo in quanto di più facile e immediata elaborazione nei circuiti neurali. Ne discende che la scuola pitagorica non inventò nulla, si limitò a scoprire proprietà dei nostri apparati biologici, che valgono per gli uomini di tutte i luoghi e di tutti i tempi, anche in età neonatale, e persino per altre specie animali. Il ritrovamento rafforza la convinzione che uomini essenzialmente primitivi, in cerca di una valida scala musicale, assumerebbero per essa – fatte la debita sperimentazione – le stesse note che noi utilizziamo con soddisfazione da millenni, e cioè quelle della scala diatonica tolemaica, oggi nota come scala naturale.

Mi sembra anche interessante rilevare che l'esigenza nell'*homo sapiens* di una scala musicale armoniosa si affianca, in termini di tempo, con le prime manifestazioni di facoltà 'superiori' nel cervello dei primati, come l'inumazione e il culto dei morti, la comparsa di manufatti – statuette, graffiti – riferiti a pratiche astratte, come l'attenzione al metafisico, il senso del sacro, la mitologia religiosa. Quei prodotti dell'evoluzione che hanno spinto molti uomini semplici a parlare di nascita dell'anima.

I pitagorici non furono tuttavia i primi, nella storia più recente, a distinguere coppie di note consonanti e coppie dissonanti. I ritrovamenti nel sito archeologico di Jiahu, un insediamento tardo-neolitico nella valle del fiume giallo in Cina, nella provincia di Henan, attestano che i Cinesi, settemila anni prima dei pitagorici, avevano costruito flauti rispondenti agli stessi criteri dell'armonia classica. Si trattava

* Lezione tenuta a Siena il 6 novembre 2009, presso l'Accademia dei Fisiocritici, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

di sei flauti tuttora suonabili, mostrati nella Figura 1, muniti di fori in numero da cinque a otto, ricavati da ossa dell'ala di una gru della Manciuria (o gru rosso-coronata) ¹.



Figura 1. Flauti d'osso del VIII millennio a.C. reperiti nella provincia di Henan in Cina.

Come in parallelo avvenne per l'astronomia, che i Greci svilupparono autonomamente sulla base di osservazioni ereditate dai Babilonesi, riscoprendo quanto i Cinesi avevano trovato in tempi ancora antecedenti, è pressoché certo che nella Grecia antica dei flauti cinesi non si fosse avuta notizia alcuna.

Ora, la scoperta di numerosi flauti di osso e di avorio – naturalmente ridotti in frammenti – nelle grotte della Svevia presso Ulma, e precisamente a Hohle Fels e Vogelherd, datati tra i 30 e i 40 mila anni fa, ripropone la stessa problematica in tempi ben più remoti. È la scoperta più antica fatta fino ad oggi, giacché precedenti evidenze non contestabili, provenienti dalla Francia e dall'Austria, risalgono a tempi molto più prossimi a noi².

I manufatti sono probabilmente opera dell'*homo sapiens* aurignaziano, ma non si può escludere del tutto che siano di fattura neanderthaliana. Fissiamo l'attenzione sul flauto più interessante, realizzato dal radio dell'ala di un grifone con apertura alare di circa 2,5 m (si veda la Figura 2). Il flauto, illustrato in Figura 3, misura sui 21 cm di lunghezza e reca cinque fori, tutti sullo stesso lato, dei quali l'ultimo si trova in corrispondenza di una palese rottura della canna (a sinistra nella figura). Data la lunghezza dell'ala, lo strumento avrebbe in effetti potuto essere più lungo, forse fino a 30 cm, recando eventualmente fori aggiuntivi. Nelle presenti condizioni esso può essere suonato e una melodia esemplificativa è reperibile in rete³.



Figura 2. Un griffone in volo.

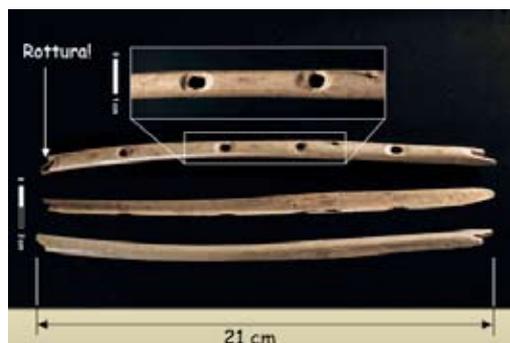


Figura 3. Flauto ricavato da un osso alare di griffone, reperito in una grotta a Hohle Fels in Svevia, risalente a 35 mila anni fa.

L'analisi delle frequenze costituenti la melodia porta, con buona approssimazione (considerato lo stato di usura dell'attrezzo), alle seguenti note, appartenenti tutte alla nostra scala naturale di *sib* maggiore:

*mib*⁶ *fa*⁶ *sol*⁶ *sib*⁶ *do*⁷ *mib*⁷

dove il numero d'ordine corrisponde alla notazione anglosassone (do centrale = *do*⁴). Trasposte nella più familiare scala di *do* maggiore le sei note darebbero

Nota	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>do</i> '
Intervallo		T	T	T+S	T	T+S

ossia con una successione di intervalli T-T-(T+S)-T-(T+S), che è la scala pentafonica anemitonica (ossia eguale alla nostra attuale scala *naturale di giusta intonazione*, o tolemaica o zarliniana, privata dei semitoni), che tutt'oggi viene utilizzata in Cina, nell'Africa Orientale, nei Balcani, nelle regioni celtiche, in certa musica occidentale recente e, naturalmente, nel blues e in certo jazz.

Soltanto una accurata sperimentazione, analoga a quella fatta dai pitagorici con il monocordo⁴, avrebbe potuto condurre a una simile scelta, dove tutti i bicordi, ad eccezione di quelli formati da note adiacenti, risultano consonanti. Si tratta infatti di quelli di III maggiore (rapporto di frequenze dato da numeri interi piccoli: 5/4), V perfetta (3/2), VI maggiore (5/3) e VIII (2/1), cardini dell'armonia classica greca.

Viene subito da porsi la domanda: perché scegliere proprio questi particolari intervalli, quando sarebbe stato più immediato, per una mente musicalmente primitiva, fare dei fori a caso o magari scegliere cinque note pressoché equispaziate su scala logaritmica, come quelle utilizzate nel modo *sléndro* del *gamelan* giavanese? Nessuno degli intervalli della scala, con questa scelta, è consonante, risultando sempre eccedente, come mostra la Figura 4.

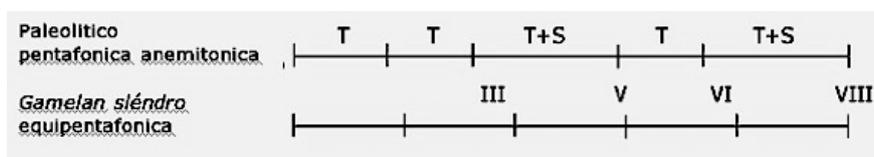


Figura 4. Confronto fra la scala pentafonica del flauto paleolitico e quello logaritmicamente equispaziata del modo sléndro del gamelon giavanese (la quale comporta un rapporto costante di 1,149 tra ogni nota e la precedente). Solo la prima permette di suonare bicordi consonanti.

La risposta più ragionevole è che l'uomo del paleolitico superiore avesse una percezione già chiara del ruolo della consonanza, e che forse suonasse già in gruppo più strumenti o voci accompagnate da strumenti. Nella musica *gamelan* di Giava il problema dell'armonia non si pone perché gli strumenti impiegati sono in prevalenza metallofoni e a percussione e, come tali, hanno parziali superiori deboli e, ciò che più conta, del tutto inarmoniche, il che porta alla rinuncia di ogni effetto musicale legato alla maggiore o minore affinità armonica tra due note [2, cap. 5].

2. Il ruolo di Galileo

Prima di venire alle conoscenze odierne in fatto di criteri per l'armonia musicale, è bene fare una piccola parentesi, come promesso nel titolo, per dare a Galileo quanto gli spetta. I pitagorici avevano stabilito che la consonanza si avesse solo tra note le cui frequenze fondamentali stessero in rapporti di numeri interi piccoli (*rapporti semplici*). Quest'idea che la consonanza fosse un fatto strettamente matematico – idea di cui, si sa, i pitagorici erano particolarmente fieri – sopravvisse per millenni: sopravvisse fino a che giunse Galileo. Infatti Galileo, pur apprezzando il valore capitale della matematica, ritenne che essa fosse soltanto una forma agile e conveniente per rappresentare i fenomeni fisici della natura. L'interesse e la curiosità di Galileo per l'armonia musicale sono ben noti. Egli scriveva:

S'io guardo quel che hanno ritrovato gli uomini nel compartir gl'intervalli musicali, nello stabilir precetti e regole per poterli maneggiar con diletto mirabile all'udito, quando potrò io finir di stupire?

E affermava che l'armonia musicale non può essere un fatto di semplice cabala numerica, in quanto sarebbe ingenuo trascurare il comportamento fisico dell'orecchio: si deve cioè fare appello alla meccanica, la quale tratta delle oscillazioni del timpano e degli organi interni che lo seguono. E l'idea che ebbe fu che, quando le frequenze stanno fra loro in rapporti semplici, c'è frequente sincronia tra i due suoni, e il timpano si muove in modo più coordinato, più agevole, con minore sforzo e più soddisfazione. È interessante leggere le sue stesse parole.

[Vorrei] recar la ragione delle consonanze più o men perfette e delle dissonanze. La molestia di queste nascerà, credo io, dalle discordi pulsazioni di due diversi tuoni che sproporzionatamente colpeggiano sopra 'l nostro timpano, e crudissime saranno le dissonanze quando i tempi delle vibrazioni fussero incommensurabili...[...]. Consonanti, e con diletto ricevute, saranno

quelle coppie di suoni che verranno a percuotere con qualche ordine sopra 'l timpano; il qual ordine ricerca, prima, che le percosse fatte dentro all'istesso tempo siano commensurabili di numero, acciò che la cartilagine del timpano non abbia a star in un perpetuo tormento d'inflettersi in due diverse maniere per acconsentire ed ubbidire alle sempre discordi battiture.

Dall'idea di Galileo – innestata su quelle del padre Vincenzo, importante musicologo – trassero spunto altri fisici del Seicento (Mersenne, Descartes, Huygens, D'Alembert) per introdurre la *teoria degli armonici coincidenti*: se il rapporto frequenze di intervallo è semplice, le due note presentano molti armonici in comune, come è immediato verificare. Allora, suonate assieme, grazie alla loro marcata parentela armonica, le due note presentano un alto grado di fusione e di consonanza. È una concezione che verrà poi rafforzata nell'Ottocento dal grande studioso della percezione Hermann von Helmholtz (il quale, come criterio per la consonanza, aggiungerà all'affinità armonica delle note l'assenza di battimenti), e da altri scienziati, iniziatori con lui della moderna psicoacustica.

3. La conferma dalle neuroscienze

Le spiegazioni meccanicistiche e psicoacustiche del Sei-Ottocento trovano oggi valida conferma negli studi delle neuroscienze, i quali permettono di osservare il comportamento dei circuiti cerebrali quando al timpano perviene un insieme di note musicali. I treni di impulsi neurali – o 'spari' – che raggiungono la corteccia sotto lo stimolo di un'onda sonora, indicano che bicordi consonanti, a differenza di quelli dissonanti, hanno un marcato carattere di periodicità e sono poco affetti da rumore di fondo. Inoltre, essi non vengono elaborati nelle stesse zone del cervello [3, p. 127]. Tali treni di impulsi, sperimentalmente rilevati in animali, possono essere calcolati in modo alquanto preciso sulla base della forma d'onda temporale dell'energia acustica che eccita le terminazioni nervose nell'orecchio interno [2, cap. 8]. Eseguiamo tale conto per un suono di strumento costituito da cinque armonici decrescenti come $1/n$, dove n è l'ordine dell'armonico. Nella Figura 4 è confrontato l'andamento del treno degli «spari neurali» per la III maggiore naturale e per quella di uno strumento destinato alla musica giavanese, ossia atto a produrre note della scala equipentafonica del tipo detto *sléndro*. Come si è visto nella Figura 4, quest'ultima risulta parecchio eccedente sulla III naturale.

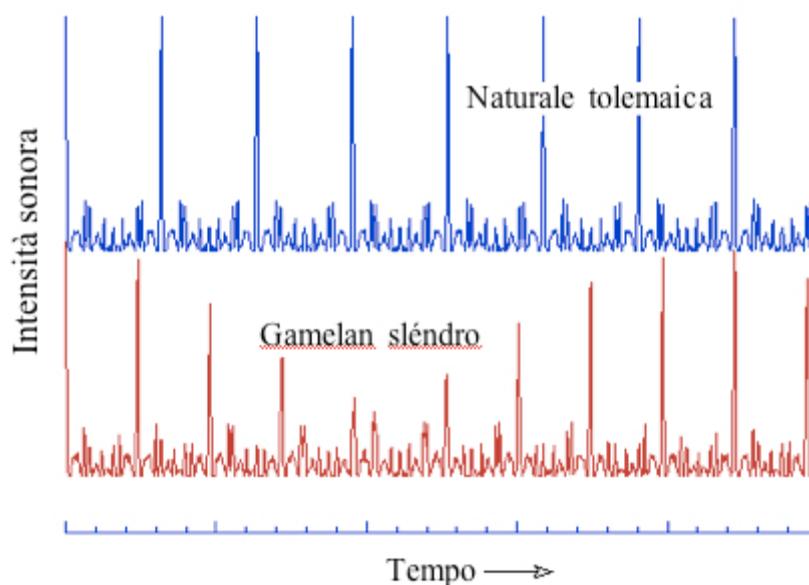


Figura 5. Sopra: III maggiore naturale o di giusta intonazione. Sotto: III maggiore in scala equipentafonica giavanese, per un ipotetico strumento a carattere armonico.

Si vede che nel primo caso il treno di impulsi è rigorosamente ripetitivo e pulito e dunque assai più appetibile per un cervello che cerchi una chiave interpretativa facile e immediata. Il modo *sléndro*, applicato a uno strumento a più armonici anziché agli strumenti metallofonici del *gamelan*, presenta anch'esso un andamento periodico, ma con sovrapposto un battimento, che può dare origine a fastidio e perdita di fusione delle due note, effetto che si aggrava se più di due voci suonano assieme.

4. Conclusioni

È difficile non convincersi che il raggiungimento del risultato ottimale per l'armonia del flauto paleolitico non è frutto del caso, ma di uno studio sistematico della risposta a una varietà di possibili bicordi, esattamente come fu fatto dai pitagorici. Il risultato dell'uomo primitivo si mostra ancora più raffinato, se si osserva che esso comporta la constatazione, tutt'altro che banale, che una singola canna munita di fori tonali può emettere note più alte della sua fondamentale, venendo così a costituire uno strumento completo e autosufficiente. I flauti paleolitici in certo senso evidenziano che le scelte classiche rispondono a esigenze oggettive, e che certe proposte avanguardistiche del Novecento vanno contro le naturali aspettative del nostro sistema percettivo⁵.

L'analisi dei suoni emessi dal flauto paleolitico suggerisce inoltre che i musicisti del tempo erano in grado di riprodurre effetti sonori più articolati delle singole note, e di comporre delle vere e proprie melodie complesse, probabilmente con la debita armonizzazione; e che, quindi, la musica aveva già un ruolo sociale elevato, ad esempio in eventi rituali, in circostanze di intrattenimento, al di là dell'utilizzo individuale che avrebbe potuto farne, ad esempio, un pastore o un eremita. Archeologi

tedeschi ipotizzano anche che la musica avrebbe potuto contribuire alla creazione di più ampie connessioni sociali, facilitando ad esempio l'espansione demografica e territoriale.

NOTE

¹ Ascoltabili in rete al sito <<http://www.shakuhachi.com/Sound/K-9KYearOldFlute.mp3>>. Il suono è alquanto alterato dall'usura, ma nel migliore dei flauti – il M282:20, con sette fori più uno piccolo – si possono suonare le note sol, la, si, do, re, mi, fa#, la', dunque con un solo semitono S tra il si e il do, e un tono e mezzo (T+S) tra fa# e la', ossia secondo la successione T+T+S+T+T+T+(T+S). Il primo resoconto su *Nature* si trova al sito <<http://www.shakuhachi.com/K-9KChineseFlutes-Nature.html>>.

² Scavi effettuati nel 1996 in una caverna neanderthaliana nella Slovenia nordoccidentale avrebbero portato alla luce un frammento di flauto traverso in osso giudicato avere tra i 43.000 e gli 82.000 anni (si veda <<http://www.shakuhachi.com/CM-Fink-NEANDERTHAL.html>>). Tale frammento suonerebbe le prime tre note della scala naturale odierna, ma sulla natura del reperto sono state sollevate numerose e molto plausibili perplessità.

³ <<http://www.shakuhachi.com/CM-Fink-NEANDERTHAL.html>>

⁴ Il monocordo è uno strumento con una sola corda, montata su una cassa di risonanza; grazie a un cavaliere mobile, la corda può essere suddivisa in due parti, suonabili simultaneamente.

⁵ Mi riferisco in particolare alla dodecafonia di Schoenberg e alle sue derivazioni, che hanno creato uno sconcertante divario tra certi compositori e il pubblico della musica 'colta'. Le regole classiche sopravvivono nella musica leggera e, almeno in parte, nei grandi talenti che hanno innestato l'innovazione sui valori ereditati – Debussy, Ravel, Jánáček, Stravinskij, Bartók, Hindemith, Shostakovich, Prokofieff, De Falla, Britten, Elgar, Milhaud, Respighi, Gershwin, per dirne solo alcuni.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Conard, N. J., Malina, M., Münzel, S., in *Nature, Letters*, 25 giugno 2009.
- [2] Frova, A., *Musica celeste e dodecafonìa*, Rizzoli, Milano 2006.
- [3] Tramo, M. J., Cariani, P.A., Delgutte, B., Braidà, L.D., *Neurobiology of harmony perception*, in Peretz, I., Zatorre, R. J. (a cura di), *The cognitive neuroscience of music*, Oxford University Press, Oxford 2006. Il lavoro di Tramo e coll., come altri nello stesso volume, contiene una vastissima bibliografia, che non è possibile elencare in questa sede.

I NEURONI SPECCHIO*

LUCA BONINI

Dipartimento di Neuroscienze, Università di Parma

1. Il cervello in azione e l'azione nel cervello

Tutti gli organismi dotati di un sistema nervoso, dai piccoli nematodi ai più grandi cetacei marini, condividono una semplice quanto cruciale caratteristica: si muovono. L'evoluzione di un sistema nervoso appare, infatti, una proprietà esclusiva di creature capaci di muoversi attivamente. Ma che relazione c'è tra il cervello e il movimento?

Intorno al 1870, il neurologo inglese Hughling Jackson intuì, sulla base dei suoi studi su pazienti epilettici, che zone diverse della corteccia cerebrale erano responsabili del controllo dei movimenti del corpo. Si trattava soltanto di un'ipotesi, ma formulata in un tempo in cui la concezione dominante riteneva che il midollo spinale fosse il centro di controllo del movimento mentre la corteccia era considerata "l'organo della mente", dedicato alla generazione delle idee [6]. Un'ipotesi, dunque, ma decisamente rivoluzionaria. Tuttavia, solo pochi anni più tardi, fu dimostrato sperimentalmente che la corteccia del lobo frontale aveva effettivamente funzioni motorie: attraverso la stimolazione elettrica della superficie corticale di un emisfero, infatti, era possibile provocare movimenti nel lato opposto del corpo.

Lo sviluppo e la diffusione delle ricerche elettrofisiologiche portò ben presto a scoprire che oltre alle aree corticali con funzioni motorie ne esistevano altre con funzioni percettive (visive, uditive, tattili) e altre ancora con funzioni cosiddette *associative*, cioè responsabili dell'integrazione di informazioni per assolvere funzioni più complesse. Ne derivò un modello per spiegare la relazione tra cervello e comportamento improntato su uno schema essenzialmente seriale, in base al quale le informazioni sensoriali sarebbero utilizzate per i processi cognitivi che, a loro volta, informerebbero i sistemi motori: percezione, cognizione, e infine azione. «La vista di un serpente, disgustoso e pericoloso, induce una risposta motoria di fuga o di retrazione»: un *cervello che sa*, identificato nelle regioni posteriori con funzioni percettive, fornirebbe le informazioni cruciali per la programmazione e l'esecuzione del movimento al *cervello che fa*, identificato con le regioni anteriori, motorie. Questo modello relegava quindi *percezione* e *azione* entro domini separati, ciascuno dei quali riconducibile a regioni cerebrali anatomicamente e funzionalmente distinte.

* Lezione tenuta a Pontassieve (FI) il 5 novembre 2009, presso l'Auditorium dell'Istituto Scolastico Superiore E. Balducci, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

Questa visione iniziò a essere messa in crisi a partire dagli anni Ottanta del secolo scorso, quando studi elettrofisiologici sulla scimmia evidenziarono che i neuroni della corteccia premotoria, in particolare nell'area F5, non erano attivi soltanto durante semplici movimenti, ma mostravano proprietà più complesse e presentavano anche un'ampia varietà di risposte a stimoli sensoriali: tattili, propriocettivi, visivi e persino uditivi [8].

La maggior parte di questi neuroni rispondeva durante specifici atti motori (come raggiungere, afferrare, tenere) indipendentemente dall'effettore utilizzato per compierli. Per esempio, molti neuroni che codificavano l'atto di afferrare rispondevano ugualmente bene quando la scimmia afferrava un oggetto con la mano destra, la sinistra, o persino con la bocca, mentre non si attivavano quando usava in modo simile la mano per grattarsi. Ciò dimostra che queste cellule non rappresentano semplicemente movimenti come estendere o flettere le dita, bensì lo scopo (in questo caso afferrare) dell'atto motorio in senso lato. Oltre a codificare lo scopo di specifici atti, come afferrare, questi neuroni premotori potevano anche rispondere in modo diverso in relazione al tipo di prensione eseguita dall'animale. Ad esempio, si attivavano quando la scimmia afferrava un oggetto piccolo utilizzando pollice e indice (presa di precisione), ma non quando ne afferrava uno grande con una presa di forza, utilizzando dita e palmo della mano in opposizione (presa palmare). Nel complesso, i neuroni premotori sembravano formare un *vocabolario di atti motori* nel quale ciascun neurone rappresentava una 'parola' che designava uno specifico tipo di prensione.

Una delle scoperte più interessanti riguardava però il fatto che alcuni di questi neuroni potevano attivarsi anche quando la scimmia semplicemente osservava un determinato oggetto, senza compiere o prepararsi a compiere alcun movimento diretto ad esso. Queste risposte erano evocate dalla presentazione dello stesso oggetto che produceva la risposta del neurone quando la scimmia lo afferrava attivamente, e furono denominati *neuroni canonici*. La supposta dicotomia anatomo-funzionale tra percezione, da un lato, e azione, dall'altro, risultava evidentemente inconciliabile con questi nuovi dati. Ma come si poteva spiegare la presenza, in un'area motoria, di risposte a stimoli sensoriali da parte di neuroni con funzioni motorie?

Lo psicologo americano James Gibson aveva fornito pochi anni prima un'articolata e pionieristica teoria della percezione che permetteva di rispondere elegantemente a questa domanda. L'organismo abita attivamente «uno spazio ecologico che consiste di luoghi, localizzazioni o posizioni», in cui conosce e riconosce oggetti estraendo attivamente informazioni il cui significato è dato soltanto in relazione al corpo e alle possibilità d'azione del corpo [3]. O, come molti anni prima aveva già sostenuto il celebre filosofo e matematico Jules-Henri Poincaré, «è in rapporto al nostro corpo che situiamo gli oggetti esterni, e le uniche relazioni di questi oggetti che ci possiamo rappresentare sono le relazioni con il nostro corpo» [7]. Secondo questi autori quindi, percepire un oggetto non significa soltanto *avere in mente* l'immagine pittografica o *rappresentazione* di come esso ci appare fenomenicamente, ma anche un'automatica e immediata

ta traduzione delle sue caratteristiche fisiche nelle possibilità d'azione e d'interazione con quell'oggetto che il nostro corpo ci offre, e che Gibson definisce «*affordances*». La risposta visiva dei neuroni canonici rappresenta quindi l'attivazione della «*affordance*» evocata dalla presentazione dell'oggetto. La percezione delle caratteristiche fisiche e pittografiche degli oggetti, associata all'attività delle aree visive della corteccia cerebrale, si accompagna quindi ad un'automatica descrizione degli stessi oggetti in termini motori, per mezzo dell'attivazione di quegli stessi neuroni che consentirebbero di manipolarli ed interagire con essi.

2. Dall'azione alla percezione: i neuroni specchio

Vedere un oggetto, come per esempio una mela, non comporta dunque solo l'attivazione di neuroni delle aree visive, che ne forniscono una descrizione pittografica in termini di caratteristiche fisiche quali forma, colore e tessitura di superficie, ma implica anche l'attivazione di neuroni motori che generano una descrizione pragmatica dell'oggetto nei termini dei possibili tipi di prensione adatti a interagire con esso. Ma che cosa succede se anziché un semplice oggetto osserviamo un'azione?

L'ambiente ecologico è popolato non solo dagli oggetti inanimati del mondo fisico che possono essere spinti e spostati da forze esterne, ma anche dagli oggetti animati del mondo sociale, che possono muoversi attivamente sotto l'influenza di forze interne. «E gli animali sono senz'altro gli oggetti di percezione più complessi che l'ambiente possa presentare ad un osservatore» [3]. All'inizio degli anni Novanta, durante studi di registrazione dell'attività di neuroni premotori della scimmia nei laboratori di fisiologia dell'Università di Parma, fu notato che alcuni neuroni dell'area F5, fino ad allora considerati puramente motori, si attivavano anche quando la scimmia, perfettamente immobile, semplicemente osservava lo sperimentatore afferrare o manipolare oggetti. L'azione osservata non evocava quindi soltanto una risposta da parte delle aree visive, ma si rifletteva anche nell'attività di neuroni motori nel cervello dell'osservatore: proprio questa sorprendente peculiarità suggerì di denominare queste cellule *neuroni specchio* [8].

Già i primi esperimenti dimostrarono che, analogamente ai neuroni puramente motori, anche i neuroni specchio erano capaci di rappresentare atti motori, effettuati con la mano o la bocca, e dotati di scopi diversi come afferrare, manipolare o tenere. Alcuni di questi erano anche specifici rispetto al modo in cui l'atto codificato doveva essere eseguito (per esempio prendere con una presa di precisione oppure palmare). Ma le proprietà più interessanti emergevano quando si considerava la loro risposta visiva in rapporto con quella motoria.

A questo proposito occorre però una precisazione. Un neurone non è che una cellula capace di esprimere un'attività elettrica in grado di modificare l'attività elettrica di altri neuroni, anatomicamente connessi con esso. L'attività elettrica è il codice attraverso cui le cellule del nostro cervello trasmettono ad altre il frutto dell'elaborazione delle informazioni di cui sono capaci: il loro messaggio. E per ciascun neurone, il messaggio

trasmesso dalla sua attivazione non può che essere unico, e sempre lo stesso: o il neurone scarica, oppure non scarica. E quando scarica, 'dice' sempre la stessa cosa. È quindi evidentemente una semplificazione pragmatica parlare di *risposta motoria* e *risposta visiva* di un neurone specchio: il movimento attivo e l'osservazione del movimento di un'altra persona sono solo le *condizioni* in grado di generare questo messaggio. Ma qual è allora il significato della scarica di un neurone specchio?

I neuroni specchio rispondevano quando la scimmia osservava atti motori eseguiti da un altro agente purché fossero diretti ad un obiettivo specifico, come un oggetto o un pezzo di cibo: se si 'mimava' l'atto in assenza dell'oggetto o se, al contrario, veniva presentato l'oggetto senza che alcuna azione fosse diretta ad esso, i neuroni specchio non rispondevano. Come i neuroni puramente motori e quelli canonici, quindi, anche i neuroni specchio sembravano codificare lo scopo degli atti motori, sia quando la scimmia compiva attivamente tali atti, sia quando semplicemente li osservava compiuti da altri. La loro risposta sembrava correlata al 'riconoscimento' da parte della scimmia dello scopo delle azioni, sia proprie che altrui. Come verificare questa ipotesi?

3. Comprendere e comunicare: dalla percezione all'interazione sociale

Immaginiamo di trovarci di fronte a un palcoscenico sul quale un prestigiatore ci mostra l'interno di un grosso cappello a cilindro nero e vuoto. Con una mano, vi introduce un coniglio bianco e poi mostra a tutti il cilindro che ora contiene il coniglio bianco. A questo punto, senza mostrarne agli spettatori l'interno, infila la mano nel cilindro come per afferrare il coniglio ma... estrae la mano: vuota. Un istante dopo, mostra l'interno del cilindro: anch'esso, vuoto. Nessuno tra il pubblico poteva vedere la mano del prestigiatore dentro il cilindro, ma chiunque si sarebbe aspettato che stesse afferrando il coniglio che un attimo prima era lì. E proprio la violazione di questa automatica aspettativa ci rende stupiti di fronte all'illusione. Come si comportano i neuroni specchio in una simile situazione? Se davvero riconoscessero lo scopo delle azioni, dovrebbero rispondere vigorosamente anche senza vedere direttamente la mano che afferra, ricostruendo internamente lo scopo previsto dell'azione osservata.

In un ingegnoso esperimento elettrofisiologico la risposta visiva dei neuroni specchio della scimmia è stata studiata in una situazione analoga, mediante due diverse condizioni. Nella prima, l'animale osservava un'azione interamente visibile nella quale la mano di uno sperimentatore raggiungeva e afferrava un oggetto. Nella seconda condizione, la scimmia osservava la stessa azione, ma l'ultima fase – l'interazione della mano con l'oggetto afferrato – avveniva dietro uno schermo scuro ed era perciò invisibile. I risultati hanno dimostrato che molti neuroni specchio potevano rispondere ugualmente bene a prescindere dal fatto che la parte finale dell'azione fosse direttamente visibile o no. Ancor più interessante è il fatto che quando alla scimmia veniva mostrata un'azione mimata, ossia permettendole di vedere sin dall'inizio che non c'era nessun oggetto dietro lo schermo, la risposta era assente. D'altra parte, chi mai immaginerebbe una mano che afferra un coniglio in un cilindro vuoto? I neuroni specchio possono

quindi codificare lo scopo dell'azione utilizzando l'informazione sensoriale disponibile, seppure parziale, per ricostruire *internamente* lo scopo dell'azione dell'altro in quanto *riflesso* nella conoscenza motoria dell'osservatore.

In un altro studio, è stato addirittura dimostrato che i neuroni specchio possono attivarsi anche in totale assenza di informazione visiva. Infatti, alcuni neuroni specchio rispondono sia quando la scimmia esegue azioni rumorose, come rompere una nocciolina o strappare un foglio di carta, sia quando osserva uno sperimentatore compierle. Ma l'aspetto più interessante è che molti di questi neuroni rispondono anche quando la scimmia sente soltanto il suono prodotto dall'azione, senza vedere assolutamente nulla. Il suono evoca l'idea motoria corrispondente all'azione che l'ha prodotto, che è rappresentata dall'attivazione di questa peculiare classe di neuroni specchio audio-visivi. Ciò permette di capire quale azione sia stata compiuta anche senza averla osservata direttamente.

Le proprietà sin qui evidenziate corroborano fortemente l'idea che i neuroni specchio possano costituire il fondamento della nostra capacità di riconoscere e comprendere automaticamente le azioni manuali. Ma sin dai primi studi sulla corteccia premotoria ventrale erano stati descritti anche neuroni specchio che si attivavano selettivamente quando la scimmia compiva e osservava azioni oro-facciali di tipo ingestivo, come mordere, succhiare o leccare. In una serie di esperimenti più recenti è stato dimostrato che alcuni di questi neuroni, oltre a mostrare risposte motorie quando la scimmia compiva movimenti con la bocca, si attivavano anche quando essa osservava azioni dotate di una valenza comunicativa, come per esempio schioccare le labbra, che assume per i macachi un significato affiliativo. Sebbene sia sperimentalmente molto difficile avere la possibilità di studiare risposte neuronali mentre la scimmia emette spontaneamente gesti comunicativi oro-facciali, nei pochi casi in cui ciò è stato possibile la selettività visiva e motoria dei neuroni specchio registrati risultava la stessa. Questo dato corrobora l'idea secondo la quale anche la comprensione dei gesti comunicativi, come quella delle azioni dirette agli oggetti, è associata all'attivazione degli stessi substrati neuronali che sono coinvolti nella loro produzione motoria. Inoltre, il fatto che i neuroni specchio comunicativi presentino spesso risposte motorie di tipo ingestivo, suggerisce che la capacità di decodificare il significato dei gesti possa essersi evoluta, nel corso della filogenesi, dalla ritualizzazione di una più antica capacità di controllare e riconoscere azioni legate alla manipolazione ed ingestione del cibo.

Studi più recenti hanno esplorato anche la possibilità che i neuroni specchio possano fornire informazioni che vanno ben al di là del riconoscimento e della comprensione di atti motori o gesti semplici. Nelle condizioni ecologiche in cui vivono molti animali e tutti i primati, incluso l'uomo, non è sufficiente poter eseguire e comprendere singoli atti motori finalizzati. Infatti, la maggior parte delle azioni più comuni della vita quotidiana è costituita da intere sequenze di atti motori, coordinati in base ai loro singoli scopi immediati (come *raggiungere*, *prendere*, *portare*, ecc.) a formare *azioni* più complesse (*prendere una mela*), a loro volta contraddistinte da uno scopo finale sovra-

ordinato (*mangiare la mela*). Questo scopo finale identifica il *perché* un'azione venga compiuta, ossia per quale fine i singoli atti siano coordinati tra loro. In questo senso, lo scopo finale di un'azione coincide con l'intenzione motoria dell'individuo che la compie.

Nelle corteccie parietale e premotoria della scimmia sono stati identificati neuroni motori che, sebbene codificassero tutti l'atto di afferramento (come prendere un pezzetto di cibo), si attivavano diversamente in relazione all'intenzione motoria della scimmia: alcuni rispondevano quando la scimmia afferrava un pezzo di cibo per portarlo alla bocca e mangiarlo (neuroni "prendere-per-mangiare"), altri erano più attivi durante l'afferramento dello stesso pezzo di cibo quando la scimmia lo piazzava poi in un contenitore (neuroni "prendere-per-piazzare"). Molti di questi neuroni avevano proprietà specchio, attivandosi quindi anche quando la scimmia osservava uno sperimentatore compiere azioni analoghe. E la maggior parte di essi mostrava una selettività visiva congruente con quella motoria: i neuroni prendere-per-mangiare erano maggiormente attivi in questa condizione rispetto a quando la scimmia osservava lo sperimentatore prendere un oggetto per poi piazzarlo, mentre quelli prendere-per-piazzare mostravano la selettività opposta. Questa proprietà della risposta visiva è particolarmente interessante poiché se durante il compito motorio la scimmia sa cosa fare ben prima di iniziare il movimento, come può 'sapere' cosa intenda fare l'agente osservato *prima* che la sua azione sia conclusa? Elementi contestuali, come il tipo di oggetto afferrato (un pezzo di cibo o un oggetto metallico) o la presenza/assenza del contenitore in cui piazzare, sono certamente determinanti per suggerire quale azione verrà eseguita. Ma la risposta differenziale di questi neuroni motori, che si presenta ben prima del conseguimento dello scopo ultimo (mangiare o piazzare), costituisce la prova dell'esistenza di una rappresentazione motoria interna predittiva dello scopo dell'azione dell'individuo osservato. In altri termini, questi neuroni contribuiscono non solo a organizzare azioni intenzionali quando è la scimmia a compierle attivamente, ma consentono anche di predire l'intenzione motoria degli altri quando la scimmia osserva qualcuno compiere azioni analoghe in un contesto familiare [8].

Un meccanismo così complesso e articolato, capace di coordinare e comprendere scopi motori immediati e intenzioni, potrebbe giocare un ruolo cruciale nella decodifica del comportamento altrui finalizzata a guidare l'interazione sociale. E ciò è tanto più importante se si considera l'enorme complessità della struttura gerarchica e dei rapporti sociali che esistono nei gruppi di molte specie di primati.

Un recentissimo studio, condotto in Germania, ha valutato la risposta visiva di neuroni specchio premotori in due diverse condizioni di base: nella prima, la scimmia vedeva afferrare un oggetto collocato all'interno dello spazio vicino al suo corpo, il cosiddetto spazio "peripersonale"; nella seconda, l'oggetto afferrato era collocato a maggior distanza dalla scimmia, nel cosiddetto "spazio extrapersonale". La metà dei neuroni registrati si attivavano in modo diverso a seconda dello spazio in cui veniva eseguita l'azione osservata dalla scimmia: alcuni erano più attivi quando l'azione veniva

compiuta nello spazio peripersonale, altri quando veniva compiuta nello spazio extrapersonale. Ma come mai una simile differenza? Le informazioni relative allo spazio sono perfettamente inutili per capire lo scopo di azioni o atti motori. Tuttavia, sono cruciali se si tratta di definire le possibili interazioni con l'individuo osservato: se quest'ultimo agisce nello spazio peripersonale, è immediatamente possibile interagire con esso, mentre se agisce nello spazio extrapersonale, possono essere necessari diversi passaggi intermedi prima di poter interagire con lui, come avvicinarsi o rimuovere un ostacolo. Per verificare la possibilità che queste differenze di scarica codificassero *uno spazio per l'interazione*, e non semplicemente uno *spazio metrico* in sé e per sé, i ricercatori hanno studiato la risposta neuronale quando una barriera separava la scimmia dallo spazio vicino circostante. Grazie alla barriera, anche lo spazio peripersonale diventava *motoricamente lontano*, perché diveniva impossibile raggiungere gli oggetti in esso collocati e quindi interagire con chi operava in questo spazio. Come se, di fatto, fosse vicino ma irraggiungibile. In queste condizioni, i neuroni che in assenza di barriera rispondevano selettivamente ad azioni compiute nello spazio extrapersonale, iniziavano a scaricare anche in quello peripersonale reso irraggiungibile dalla barriera; viceversa, i neuroni che rispondevano all'osservazione di azioni nello spazio peripersonale, cessavano di scaricare, confermando che la loro scarica rappresenta l'azione dell'altro in relazione allo spazio d'interazione dell'animale. Questo risultato estende il ruolo dei neuroni specchio dalla comprensione di scopi motori, gesti comunicativi e intenzioni, alla selezione di possibili risposte comportamentali alle azioni degli altri [1].

4. Cosa 'rispecchia' il cervello umano?

I risultati ottenuti sulla scimmia suggerirono sin da subito che un meccanismo analogo potesse esistere anche nel cervello umano. Ma, evidentemente, non era possibile condurre sull'uomo quegli studi invasivi che avevano portato alla scoperta dei neuroni specchio. Tuttavia, esistono oggi tecnologie capaci di evidenziare l'attività del cervello *in vivo* e in modo assolutamente non invasivo, così da poter essere applicate anche su soggetti umani. Nessuna di queste tecniche è però tanto potente e precisa da consentire di registrare l'attività di singoli neuroni, il che rende ancora imprescindibile ricorrere ai modelli animali per capire il funzionamento dei meccanismi di base del sistema nervoso.

I risultati degli esperimenti condotti sull'uomo con tecniche di neuroimmagine, se considerati alla luce delle conoscenze acquisite sulla scimmia, forniscono comunque dati che, per quanto indiretti, consentono di affermare con una certa sicurezza che meccanismi di tipo specchio esistono anche nel cervello umano. Infatti, diverse regioni della corteccia con funzioni motorie come le cortecce motoria e premotoria ed il lobulo parietale inferiore, lungi dall'essere esclusivamente motorie, si attivano anche quando i soggetti osservano azioni di mano compiute da un altro individuo [8]. Queste regioni occupano porzioni della corteccia frontale e parietale che corrispondono piuttosto precisamente a quelle regioni in cui, nella scimmia, si trovano i neuroni specchio. Regioni

distinte del sistema motorio corticale sono attivate durante l'osservazione di azioni eseguite con effettori diversi, come mano, bocca e persino piede, dimostrando che anche nel cervello umano le aree motorie sono coinvolte nella rappresentazione di aspetti dell'informazione visiva che possono contribuire al riconoscimento e comprensione automatica delle azioni osservate.

Che cosa succede, allora, se lo scopo dell'azione osservata è riconoscibile ma ad eseguire l'azione è un animale appartenente ad una specie diversa dalla nostra? Il riconoscimento dell'azione avviene nello stesso modo? E come si comportano le regioni del sistema specchio umano? In uno studio di risonanza magnetica funzionale è stata valutata l'attivazione cerebrale di soggetti umani che osservavano un uomo, una scimmia o un cane che compivano un gesto ingestivo (mordere) oppure comunicativo (rispettivamente parlare, schioccare le labbra, abbaiare). Sebbene gli stimoli fossero tutti visivamente molto diversi – basti pensare alle differenze fisiognomiche tra le tre specie – vedere un uomo, una scimmia o un cane mordere attivava in modo molto simile le aree del sistema specchio umano. Al contrario, vedere un gesto comunicativo espresso dalle stesse specie, produceva attivazioni del cervello umano molto diverse: le aree del sistema specchio, soprattutto nell'emisfero sinistro, erano molto più attive durante l'osservazione di un uomo che parla rispetto ad una scimmia che schiocca le labbra, e risultavano praticamente silenti all'osservazione di un cane che abbaia. Ciò dimostra che la comprensione "immediata" o "esperienziale", fondata sull'attivazione della propria conoscenza motoria, è possibile soltanto quando l'azione osservata è effettivamente parte del repertorio motorio dell'osservatore, a prescindere dall'identità o dalla specie di appartenenza di chi la esibisce. Con ciò non si vuole ovviamente contraddire l'idea che si possa avere una chiara 'comprensione' di stimoli visivi come un cane che abbaia o una scimmia che schiocca le labbra: altre aree con funzione visiva sono fortemente attivate anche durante l'osservazione di questi stimoli, garantendone il pieno riconoscimento a livello percettivo. Ma la forma di comprensione mediata dai sistemi specchio assume una forma qualitativamente diversa, esperienziale, e non si limita ai gesti e alle azioni motorie.

Negli ultimi anni, una crescente attenzione è stata posta sulle basi neurali soggiacenti il riconoscimento e la comprensione delle emozioni e delle sensazioni provate dalle altre persone. Queste abilità formano un costrutto teorico complesso e articolato comunemente noto come *empatia*, ossia la capacità di "sentire dentro" ciò che un'altra persona sta provando o sentendo. Studi di risonanza magnetica funzionale hanno dimostrato che molte aree cerebrali come la corteccia cingolata, l'amigdala e l'insula, sono implicate nella regolazione e nel controllo di emozioni quali la paura, la rabbia o il disgusto, ma sono anche fortemente attivate quando i soggetti osservano le espressioni di altre persone che stanno provando le stesse emozioni. Questi risultati estendono il concetto di sistema specchio fino ad includere aree con funzioni emozionali, mostrando quindi che questi meccanismi possono consentirci di sfruttare la nostra conoscenza in prima persona per decodificare e comprendere in modo esperienziale il mondo sog-

gettivo degli altri. Queste capacità sono cruciali per consentire una flessibile ed efficace interazione con gli altri, poiché garantiscono un'immediata e spontanea decodifica degli aspetti più complessi che caratterizzano la realtà sociale [8].

In linea con questi risultati, una messe crescente di studi ha evidenziato che soggetti con patologie dello sviluppo come l'autismo – caratterizzati da difficoltà nell'interazione sociale reciproca, nel linguaggio, nella comunicazione e nel riconoscimento di emozioni ed intenzioni delle altre persone – presentano alterazioni nel funzionamento del sistema specchio. Per esempio, quando osservano volti che esprimono particolari emozioni, questi soggetti mostrano una ridotta attivazione rispetto ai controlli a sviluppo tipico delle aree cardine del sistema specchio. Studiando la relazione tra la gravità della sintomatologia con appositi test e la riduzione di attività delle regioni del sistema specchio, è stato inoltre possibile mettere in relazione la gravità del disturbo con l'ipoattivazione cerebrale: quanto più grave era la sintomatologia, tanto minore risultava l'attivazione rispetto ai controlli [4].

Il coinvolgimento di strutture simili quando si compie un'azione o si prova un'emozione, e quando si osservano la stessa azione o emozione esibite da un'altra persona, suggerisce che i comportamenti e gli stati emotivi degli altri possano essere decodificati grazie all'attivazione delle stesse strutture del nostro cervello che ci permettono di compiere quelle azioni o provare personalmente quelle emozioni. Dopotutto, c'è forse qualcosa che conosciamo meglio dei nostri movimenti, delle nostre emozioni e dei nostri stati interni? Mediante un processo di *simulazione interna*, i meccanismi specchio ci permettono di comprendere il comportamento e le emozioni degli altri *come se* fossimo noi stessi ad eseguire quelle azioni o provare quelle emozioni, in prima persona [2].

Senza un meccanismo di risonanza di tipo specchio comprenderemmo ugualmente le emozioni degli altri ma, per dirlo con il celebre filosofo e psicologo americano William James (1890), non sarebbe altro che «una percezione soltanto cognitiva, pallida, fredda, e destituita di qualsiasi colore emotivo» [5].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P., Casile, A., Mirror neurons differentially encode the peripersonal and extrapersonal space of monkeys, *Science*, 324 (5925), 2009, pp. 403-406.
- [2] Gallese, V., Before and below 'theory of mind': Embodied simulation and the neural correlates of social cognition, *Philosophical transaction of the Royal Society of London – Biological sciences*, 362 (1480), 2007, pp. 659-669.
- [3] Gibson, J., *Un approccio ecologico alla percezione visiva*, trad. it. di R. Luccio, Il Mulino, Bologna 1999 (ed. originale *The ecologist approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston 1979).
- [4] Iacoboni, M., Dapretto, M., The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction, *Nature review neuroscience*, 7 (12), 2006, pp. 942-951.
- [5] James, W., *Principi di psicologia*, trad. it. di G. Preti, Principato, Milano 1965 (ed. originale *The Principles of psychology*, 1890).
- [6] Morabito, C., *Modelli della mente, modelli del cervello*, in *Aspetti della psicologia fisiologica anglosassone dell'Ottocento*, Franco Angeli, Milano 2002.
- [7] Poincaré, J. H., *Scienza e metodo*, trad. it. di C. Bartocci, Einaudi, Torino 1997 (ed. originale *Science et méthode*, Flammarion, Paris 1908).
- [8] Rizzolatti, G., Sinigaglia, C., *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Cortina, Milano 2006.

COME PUÒ LA COSCIENZA ESSERE LIBERA SE NON ESISTE?*

DUCCIO MANETTI

Università di Firenze

SILVANO ZIPOLI CAIANI

Università di Milano

1. Un problema di coscienza

«Guarda dentro la tua coscienza e capirai qual è la cosa giusta da fare». Prima o poi tutti ci siamo sentiti rivolgere l'invito a prendere una decisione autonoma, non più vincolata a una volontà esterna, ma frutto di una scelta basata su un percorso di riflessione e ponderazione personale. Da quel momento ci siamo trovati di fronte ai problemi e alle scelte da compiere al fine di determinare la nostra esperienza futura; col tempo, per usare un modo di dire comune, abbiamo abbandonato l'*età dell'incoscienza* per entrare in quella della *coscienza* e della responsabilità. Salvo nei casi in cui le condizioni materiali non lo consentono, ci riteniamo esseri liberi, in grado di pensare, desiderare e agire in modo *autonomo* – in funzione degli stati di coscienza personali che caratterizzano la nostra vita mentale. Siamo responsabili di ciò che facciamo perché ci riteniamo liberi di progettare e compiere azioni che il nostro corpo rende possibili; e siamo liberi perché presupponiamo che la nostra coscienza lo sia. Se la nostra vita cosciente non fosse libera, allora né i nostri desideri né la nostra volontà di realizzarli né, tanto meno, l'esecuzione delle nostre azioni, lo sarebbero. La possibilità di una libera scelta, ovvero la possibilità di concepirci quali titolari di *libero arbitrio*, si riduce alla possibilità di attribuire una caratteristica indipendenza a una particolare componente di noi stessi: la nostra coscienza.

Che cosa sia la coscienza non è però cosa facile a dirsi. Se su due piedi proviamo a indicare quali siano le caratteristiche essenziali (le più importanti) che la contraddistinguono, possiamo comprendere subito che non si tratta di un compito facile, almeno non altrettanto quanto quello di definire le proprietà di oggetti quali le sedie o i tavoli. Se oggi possiamo affermare di essere in possesso di una conoscenza avanzata della natura materiale degli oggetti che ci circondano, così come del nostro corpo, altrettanto non possiamo dire riguardo alla natura dei nostri stati di coscienza. Domande come *A cosa serve la coscienza? Dove si trova? Cosa si prova ad averne una?* sembrano non aver ricevuto

* Lezione tenuta a Marina di Carrara il 27 ottobre 2009, presso l'Istituto Superiore Montessori, e a Empoli il 5 novembre 2009, presso il Liceo Pontormo, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

ancora una risposta adeguata e sono tuttora al centro del dibattito in vari settori della ricerca filosofica e scientifica.

Per dare senso a questi interrogativi occorre innanzitutto mettere a fuoco ciò di cui stiamo parlando. Per questo, seguendo una consolidata tradizione filosofica, proviamo per prima cosa a rispondere a una domanda che, almeno apparentemente, di senso sembra proprio non averne: *Che cosa si prova a essere un sasso?* Di fronte a un quesito simile, è ragionevole supporre che molti degli interpellati risponderebbero, nel più cortese dei modi, con un'alzata di spalle. Certo, qualcuno particolarmente estroso potrebbe pensarla diversamente, ma la stragrande maggioranza di noi non dubita che l'esistenza di un sasso non sia accompagnata da alcuna forma di coscienza e pertanto non abbia senso domandare quali sensazioni accompagnano la sua esistenza. Sembra lecito chiedersi che cosa giustifichi una simile unanimità di vedute. Nel leggere questa domanda qualcuno avrà sorriso ma, come spesso succede quando si fa un'analisi epistemologica (ovvero un esame delle condizioni grazie alle quali emerge la conoscenza), sono i casi più strani, gli esempi meno plausibili, a rendere evidente la presenza di genuini problemi concettuali, proprio come in questo caso.

In apertura a un celebre libro dedicato al tema della coscienza, David Chalmers, allo scopo di dimostrare la reale consistenza di un problema relativo alla definizione del termine "coscienza", citava l'*International dictionary of psychology*, il quale, con tono quasi disarmato fornisce della coscienza la seguente definizione:

La coscienza è un fenomeno tanto affascinante quanto elusivo: è impossibile spiegare che cosa sia, quale ruolo svolga, perché si sia sviluppata. Nulla che meriti di essere letto è stato scritto su di essa.

Se non diamo troppo peso alle definizioni, il fatto che gli scienziati non siano in grado di dire niente di preciso attorno alla nozione di coscienza potrebbe non preoccuparci troppo. Pur riconoscendo la nostra incapacità nel formulare una definizione esatta, possiamo sempre far riferimento a un'idea vaga, una sorta d'intuizione personale che accompagna il nostro uso della parola "coscienza". Come detto in precedenza, siamo propensi a concepirci come soggetti liberi, responsabili delle nostre azioni poiché titolari di una coscienza in grado di controllare autonomamente (nel rispetto dei limiti che il nostro corpo ci impone) il comportamento e il raggiungimento dei nostri fini.

Il ruolo della coscienza non emerge però solo a livello individuale. Nei rapporti interpersonali ci impegniamo spesso in accurate descrizioni dei nostri vissuti più intimi allo scopo di comunicare a un eventuale interlocutore le stesse *qualità* che accompagnano le nostre esperienze. L'efficacia di locuzioni come: «Hai presente il dolore ai denti?», «Quelle rose sono di un rosso intenso», «Un caldo tramonto invernale», si basa sul presupposto che coloro che ascoltano condividano con il parlante una comune dimensione cosciente, senza la quale non vi sarebbe la possibilità di comprendere un dolore, di cogliere l'intensità di un colore, o il calore di un tramonto. Ogni giorno, senza pensarci, diamo per scontata la presenza di numerose coscienze attorno a noi. Ci

muoviamo nel mondo mantenendo sullo sfondo una separazione tra *soggetti* e *oggetti* che riflette la distinzione tra quegli elementi del mondo che possiedono una coscienza e quelli invece che ne sono privi. Non si tratta di una distinzione stabilita una volta per tutte, in modo definitivo: a volte ci domandiamo se una certa macchina super-evoluta possa anch'essa essere cosciente, o se il corpo di una persona dopo un grave trauma non sia invece nient'altro che un sistema biologico, privo ormai di qualsiasi possibilità di vivere un'esperienza cosciente in prima persona.

L'incertezza semantica che accompagna il termine "coscienza" è il risultato di una millenaria disputa filosofica, che nel corso della storia lo ha visto associato a concetti quali quello di *soffio vitale*, *anima*, e a forme più o meno vaghe di *spirito*. Per parlare di coscienza occorre allora innanzitutto restringere il campo della discussione.

In quest'occasione ci occuperemo esclusivamente di un'accezione specifica del termine, ovvero di quella particolare connotazione che accompagna indissolubilmente ogni esperienza soggettiva e che conferisce ad essa un peculiare connotato *qualitativo*. Iniziamo a chiarirci le idee con qualche esempio.

2. Punti di vista

Per comprendere meglio cosa sia la coscienza possiamo far ricorso a un esperimento mentale (essendo per tradizione privi dei fondi necessari all'acquisto di macchinari da laboratorio, i filosofi hanno imparato a farne a meno, sviluppando efficienti doti immaginifiche). Alziamo innanzitutto la testa dal libro e individuiamo qualcuno nella stanza vicino a noi, concentriamoci su uno dei sensi a nostra disposizione, la vista ad esempio, e cerchiamo di individuare il punto verso il quale lo sguardo di quel soggetto è rivolto. Adesso proviamo a metterci nei suoi panni e per prima cosa domandiamoci: *cosa* starà guardando? Quale oggetto cattura la sua attenzione in questo preciso momento? Una volta formulata un'ipotesi al riguardo, domandiamoci: *come* lo starà vedendo? Quale carattere soggettivo accompagna l'esperienza visiva di quella persona diversa da noi?

Per rispondere a domande come queste si dovrà intanto presupporre che abbia senso chiedersi cosa si prova a mettersi nei panni di qualcun altro. Dovremo pertanto assumere che il nostro bersaglio non si riveli una statua di cera raffigurante un essere umano, ma che ogni suo comportamento sia accompagnato da una particolare attività che solitamente indichiamo col nome di *esperienza soggettiva*, e che questa attività sia contraddistinta di volta in volta dall'aver un proprio oggetto verso il quale è rivolta. L'essere sempre rivolta verso un qualcosa, il non essere mai *vuota*, il possedere cioè sempre un contenuto, è un carattere che contraddistingue la nostra coscienza. Si tratta di una proprietà fondamentale che accompagna ogni stato coscienziale e che solitamente viene indicata con il termine *intenzionalità* (sul fatto che proprio ogni stato cosciente sia contraddistinto da un carattere intenzionale qualcuno potrebbe dissentire – si pensi a stati come l'ansia).

Nel nostro caso, il contenuto intenzionale potrebbe essere rappresentato dall'oggetto verso il quale sembra diretto lo sguardo del nostro soggetto, una piccola porzione di

qualcosa, il suo colore o la sua forma. Non è possibile però escludere ipotesi alternative: magari in quel momento il nostro soggetto sta guardando verso un oggetto preciso di fronte a lui, ma in realtà è assorto in un sogno a occhi aperti, rapito dall'immagine di un ricordo, o dal fantastico desiderio di una torta al cioccolato di sproporzionate dimensioni. Le ipotesi formulabili a tal proposito sembrano essere infinite e il problema che si pone è: come possiamo verificarne la validità?

Senza lasciarci intimidire da questo primo ostacolo, possiamo procedere aggiungendo qualche dettaglio alla nostra ipotesi. Poniamo che il soggetto sia davvero concentrato su ciò che gli sta di fronte: in tal caso, sarà opportuno notare che il soggetto, trovandosi in un punto della stanza diverso dal nostro, avrà una prospettiva differente sulle cose che ci stanno attorno. Egli vedrà gli oggetti da un punto di vista diverso, determinato dalla sua posizione, dalla sua altezza e dalla qualità della sua vista. Per capire quale sia il contenuto effettivo della sua coscienza in quel momento occorre allora un certo sforzo di immaginazione. Dovremo figurarci un altro lato dell'oggetto, quindi una forma diversa dovuta a una diversa inclinazione dello sguardo rispetto al nostro, ma anche colori leggermente diversi a causa della diversa incidenza della luce. Fin qui niente di strano, ma cerchiamo di essere più precisi. Quale forma e quale colore dobbiamo immaginarci esattamente per cogliere il contenuto di coscienza del nostro vicino? Come possiamo essere sicuri che una qualsiasi delle ipotesi formulate, si badi bene basate sulla nostra personale esperienza, possa essere adatta a descrivere anche quella di chi ci sta intorno?

A nulla servirà domandare alla 'cavia' del nostro esperimento di che colore è l'oggetto che sta osservando. Qualunque sia la sua risposta non potrà dirci niente riguardo allo stato qualitativo che accompagna la percezione di quell'oggetto e che caratterizza il suo attuale stato di coscienza. Per quanto ci sforziamo d'immaginare il contenuto di coscienza del nostro vicino, per quanto ci impegniamo nell'interpretare le sue parole, sembra che qualcosa continuamente ci sfugga. Un'incertezza insopprimibile accompagna ogni nostro tentativo di cogliere la connotazione qualitativa dell'esperienza altrui. In questo caso le parole sembrano essere delle semplici etichette poste sopra degli scrigni chiusi ermeticamente, all'interno dei quali non abbiamo alcuna possibilità di poter sbirciare. A questo proposito è ancora significativo leggere il § 293 delle *Ricerche Filosofiche* di Ludwig Wittgenstein che, per parlare dei problemi epistemologici legati alla coscienza, aveva certo più fantasia e immaginazione di noi.

Proprio il carattere *qualitativo* della coscienza rappresenta l'aspetto che più sfugge alla nostra comprensione. Per comprendere meglio questa difficoltà, proviamo a ribaltare le parti stabilite all'interno del nostro precedente esempio. Immaginiamoci vittime di un mal di denti. Uno dei dolori più fastidiosi e stressanti che si conoscano. Coloro che ci circondano potranno leggere sul nostro volto il disagio e la spossatezza dovuti al martellante dolore che ci lascia senza tregua (e anche alla nottata passata insonne), quante volte sentiremo ripeterci: «So bene anch'io quel che si prova!». Pur apprezzando lo sforzo empatico di chi ci circonda, anche in questo caso le parole sembrano essere

incapaci di cogliere una reale condizione personale. Chi, sfortunatamente, è passato attraverso una simile circostanza, saprà quanto sia irrefrenabile l'istinto di pensare: *Come possono gli altri comprendere cosa sto provando? Questo è il mio dolore! Sono io che sto male!*

Esempi simili mettono in luce un elemento fondamentale della coscienza, il suo essere costituita da *qualia*, da aspetti intrinsecamente *soggettivi*, che rendono ineffabile una descrizione della coscienza senza far riferimento a una condizione personale la cui generalizzabilità pare non poter essere mai garantita. Ci troviamo di fronte a un problema epistemologico in cui emerge un limite concernente le nostre capacità di conoscere qualcosa. Viviamo costantemente immersi in un contesto sociale e ciò nonostante non riusciamo a sapere se anche coloro con cui quotidianamente ci relazioniamo vivono la nostra stessa identica condizione. Siamo portati a credere di sì, ma dobbiamo riconoscere la nostra impossibilità nel dimostrare tale consonanza. Se anche ipotizziamo che le nostre coscienze siano rivolte verso lo stesso oggetto intenzionale, non possiamo essere sicuri che quest'oggetto sia lo stesso per tutti. Il carattere qualitativo della coscienza, il suo essere prima di tutto una condizione soggettiva, esperita/vissuta in prima persona, rappresenta un limite alla possibilità stessa di una sua definizione intersoggettiva.

3. Riduzioni

Qualcuno potrebbe lamentarsi che quanto è stato tratteggiato fin qui non sia altro che un panorama approssimativo, fatto di impressioni individuali e privo pertanto di qualsiasi valenza logica o empirica: realizzare una "scienza della coscienza" che ci permetta di comprenderne la natura e il ruolo in rapporto alla formazione delle nostre scelte e dei nostri comportamenti, è ben altra cosa. Vale dunque la pena considerare, seppur brevemente, quanto di meglio la ricerca scientifica abbia prodotto attorno al tema della coscienza, con la speranza di poter dissolvere le nebbie che ancora circondano la sua definizione.

Negli ultimi cinquant'anni la coscienza è divenuta oggetto d'interesse all'interno di una vasta area di ricerca multidisciplinare, concentrando su di sé l'attenzione di scienziati provenienti da campi di ricerca diversi, come la psicologia, le neuroscienze e la fisica. In ambito filosofico si è fatto molto per tentare di delineare una strada in grado di condurre a una definizione scientificamente plausibile dei 'vissuti' soggettivi. In questa direzione si sono mossi quei ricercatori che per tradizione sono stati etichettati come *materialisti*, i quali, in modo più o meno radicale, sono propensi a identificare ogni possibile forma di sapere con una conoscenza riconducibile a una delle fondamentali scienze della natura, come per esempio la fisica o una branca della biologia. Tornando indietro alla storia del pensiero moderno, questo punto di vista può esser fatto risalire a Thomas Hobbes secondo il quale l'oggetto di ogni ricerca filosofica altro non è che un corpo di cui sia possibile concepire una generazione e di cui risulti possibile istituire un qualche confronto con altri corpi. Si tratta di una posizione che trova tra i suoi continuatori anche Julien de La Mettrie, il quale sosteneva che, una volta ammesso il

minimo principio di movimento, i corpi hanno tutto quanto loro occorre per *sentire*, *pensare*, *pentirsi*, e in una parola comportarsi, sia nella vita fisica, che in quella morale che ne dipende.

Rispetto al problema posto dalla definizione della coscienza, il materialismo assume che qualsiasi stato mentale, ovvero qual sivolgia condizione soggettiva legata all'esperienza personale, non sia altro che uno specifico stato fisico di un organismo, una condizione biologica in tutto e per tutto descrivibile attraverso l'impiego di un adeguato linguaggio sperimentale. Ne emerge una teoria dell'identità che, proclamando la piena equivalenza tra stati mentali e stati fisici, si annuncia (secondo i suoi sostenitori) in grado di annullare le incertezze epistemologiche precedentemente evidenziate, aprendo in questo modo le porte a una definizione rigorosa ed empiricamente fondata della coscienza.

Secondo questa tradizione, ripresa nel Novecento con i lavori di Herbert Feigl e poi sviluppata dalla cosiddetta scuola australiana formata da John Smart, Ullin Place e David Armstrong, alla coscienza e più in generale a qualsiasi possibile nozione di *mente* viene negato il riferimento a un tipo di processo interiore privato e astratto. La stessa nozione di *qualia* assume in questo contesto un carattere intersoggettivo, diventando il correlato di un preciso stato fisico. L'indagine rivolta alla comprensione dei vissuti in prima persona assume così l'aspetto di un progetto a *lungo termine*, volto a inserire la coscienza stessa nel dominio degli eventi naturali, indagabili per mezzo di procedure già impiegate con successo nella descrizione di altre proprietà dell'organismo umano.

Secondo la maggior parte dei materialisti contemporanei, analogamente a quanto avvenuto per le teorie vitalistiche nel corso dell'Ottocento, anche l'accantonamento della distinzione tra stati di coscienza e stati cerebrali non attenderebbe altro che lo sviluppo di una conoscenza fisiologica adeguata, non ancora pienamente disponibile. Paradigmatici in questo senso sono i lavori di Patricia Churchland, secondo la quale, così come la storia della scienza ci ha costretto ad abbandonare la convinzione che esista qualcosa come l'impeto, un giorno potremo scoprire che non esiste niente come la coscienza. Del resto, concordano i materialisti, tutta l'evidenza scientifica sembra indicare in modo univoco che è il cervello e non qualcosa d'immateriale, che sente, pensa e decide.

L'approdo ultimo verso il quale si dirige una concezione materialista è rappresentata dalla definizione di una *teoria scientifica della coscienza* che sia *predittiva*, *manipolativa* e *gerarchica*; ovvero in grado di anticipare il verificarsi di stati mentali muovendo dall'analisi dei corrispondenti stati cerebrali, di modificarne il decorso, e di descrivere correttamente i rapporti di riduzione che collegano ogni riferimento mentalistico al corrispondente stato cerebrale: una teoria non solo in grado di fornire adeguati riscontri sperimentali, ma anche in grado di *spiegarne* la possibilità naturale attraverso la messa a punto di una concezione unificata delle proprietà mentali e corporee.

Le ricerche più interessanti attorno ai correlati biologici della coscienza si sono concentrate in ambito neuroscientifico, individuando nel cervello l'organo i cui processi

sarebbero da ritenersi direttamente responsabili dell'insorgere di quei vissuti soggettivi che caratterizzano la nostra esperienza. Tra le ipotesi più suggestive riguardo ai correlati neurali della coscienza vi è certamente quella del premio Nobel Francis Crick. Sostenitore di una concezione materialistica radicale, Crick si è spinto fino a sostenere la completa eliminabilità del riferimento a termini coscienziali, per cui concetti come gioia, dolore, desiderio, senso d'identità, non sarebbero altro che il comportamento di un complesso sistema di cellule nervose e delle molecole che lo compongono. L'idea di Crick, formulata assieme a Cristof Koch, si basa sul presupposto secondo il quale il cervello elabora in modo coerente le informazioni provenienti dall'esterno, dando in questo modo al soggetto l'illusione di possedere un flusso di coscienza unitario. L'aver individuato il ricorrere di una diffusa frequenza di 40 Hertz in specifiche aree neurali ha permesso ai due scienziati di formulare una teoria generale della coscienza all'interno della quale proprio la sincronizzazione di diversi circuiti attorno alla medesima frequenza di oscillazione corrisponderebbe all'esperienza cosciente di vedere qualcosa.

Lo stato fenomenico soggettivo viene così a essere sostituito da una condizione fisiologica ben definita, determinata in tutto e per tutto dalle leggi naturali che regolano il funzionamento del sistema nervoso – leggi che non sembrano valere per la descrizione dei nostri stati di coscienza, all'interno dei quali non si riscontrano fenomeni di oscillazione né tanto meno flussi di corrente. Descrivere un dolore indicando i meccanismi neurali che lo accompagnano, per quanto si tratti certamente di un'attività informativa in grado di influenzare la messa a punto di nuove terapie, non sembra catturare tutto il contenuto che contraddistingue quel vissuto, lasciando inespresso proprio il carattere soggettivo che rende l'esperienza del dolore qualcosa di così poco piacevole.

Dello stesso tenore, anche se sviluppate entro una diversa cornice descrittiva, sono le teorie proposte dal fisico Roger Penrose basate sull'analisi del ruolo della fisica quantistica all'interno di complessi elementi organici chiamati microtuboli costituenti lo scheletro della struttura cellulare. Secondo Penrose, alla base della possibilità di un fenomeno come quello della coscienza starebbero innumerevoli processi di natura quantistica che governano l'attività atomica all'interno delle cellule neurali.

Le molteplici possibilità di scelta, che accompagnano la nostra coscienza e che ci conferiscono la convinzione di poter scegliere tra diverse possibilità di comportamento, sarebbero così il risultato di molteplici stati di sovrapposizione quantistica i quali, "collassando" secondo le complesse leggi della meccanica quantistica, lascerebbero posto a un unico stato fisico dal quale emergerebbe infine un unico stato comportamentale. La complessità che accompagna i nostri stati di coscienza è così posta in relazione alla complessità degli eventi sub-atomici che costituiscono il nostro sistema nervoso: un'ipotesi che lascia ancora una volta in ombra il problema di come tali eventi fisici siano effettivamente in grado di rendere conto di un aspetto essenziale della coscienza come il suo carattere qualitativo.

Al di là dei limiti contingenti riscontrati nelle posizioni materialiste fin qui analizzate, occorre riconoscere che l'esclusione di un ruolo epistemologico preminente rico-

nosciuto a stati soggettivi della coscienza ci impone di affrontare il problema derivante dal contrasto tra analisi naturalistiche della mente e concezioni volte a salvaguardare un qualche spazio per la definizione di una libera possibilità di scelta basata su processi d'introspezione. Le attuali conoscenze neuro-biologiche mostrano con sempre maggior precisione come la possibilità di compiere giudizi e scelte di comportamento da parte di un soggetto risulti strettamente legata anche alla presenza di determinate circostanze neurofisiologiche. Tecniche d'indagine sperimentale hanno messo da tempo in evidenza il ruolo dei sistemi emozionali nella realizzazione di scelte e comportamenti; l'attivazione di più aree del sistema nervoso sembra correlarsi con sempre maggior precisione alle capacità di giudizio e valutazione etica dimostrate da un individuo.

La possibilità di accantonare i problemi epistemologici legati all'ineffabilità della coscienza attraverso una sua radicale soppressione dal punto di vista concettuale, ci riconduce al punto dal quale avevamo iniziato. Cosa ci guida nelle nostre decisioni e nelle scelte che compiamo? Se la coscienza è una mera illusione, cosa ne è di quella insopprimibile sensazione di autonomia e libertà che accompagna ogni nostra azione?

4. Libertà

Se per spiegare il libero arbitrio non fosse necessario altro che rifarsi alle leggi della fisica, della chimica e della fisiologia, come troverebbero spazio le nostre decisioni nell'ordine naturale che determina un'azione? A noi sembra ovvio che la catena causale che porta all'esecuzione di un atto discenda anche dall'intenzione cosciente di porlo in essere. Il problema del libero arbitrio si pone quindi come problema del volere.

Siamo noi a 'determinare' questa volontà? Essendo portatori di nuovo siamo qualcosa di ulteriore rispetto alla nostra base biologica? Oppure... *Nihil novi sub sole*? Le nostre decisioni sono quegli atti che conferiscono efficacia causale in prima istanza alle motivazioni e in seconda istanza alle azioni; ma, se le decisioni mentali sono causate, si può sostenere una forma di determinismo? Oppure le decisioni sono atti della persona i quali presuppongono che il soggetto *non sia determinato* e che una libera soggettività *emerge* dagli stati fisici?

La riflessione contemporanea sul libero arbitrio prende avvio da questi quesiti e riceve nuova linfa dalle più recenti scoperte neuroscientifiche. Se scopriremo che il cervello ha già, prima che noi ne siamo consapevoli e prima di fare alcunché, un potenziale di prontezza che anticipa e prepara l'atto che ci apprestiamo a fare (senza ancora saperlo), potremmo continuare a pensare di essere liberi? In quanto parte della natura, conduciamo la nostra esistenza nel cosiddetto "mondo di Galileo", un mondo composto da corpi e governato – galileianamente – dalle leggi del moto in cui ogni evento è fisicamente determinato e in cui la volontà umana non fa eccezione alla regola.

Se venisse a mancare una delle cause precedenti, l'effetto odierno non potrebbe prodursi. Scelta e necessità, in quest'universo, sono unite fra loro. Inoltre, i progressi della fisiologia contemporanea, insieme allo sviluppo dell'evoluzionismo in biologia, ci fanno pensare che la volontà dell'uomo sia tanto poco libera quanto quella degli

altri animali superiori. Alcune recenti scoperte mostrano che l'uomo non può più essere considerato *Faber suae quisque fortunae*. Se trovasse conferma questa nuova versione di determinismo neuronale, dovremmo rassegnarci a concepire ogni essere umano come vincolato a fare niente di diverso da ciò che si trova a fare in quel preciso istante.

Nel corso della storia, determinismo e libero arbitrio sono stati contrapposti a più riprese. La tesi del determinismo afferma che tutte le azioni sono precedute da condizioni causali sufficienti che le *determinano*. La tesi del libero arbitrio stabilisce che alcune azioni non sono precedute da condizioni causali sufficienti. Il libero arbitrio risulterebbe, dunque, definito come negazione del determinismo. Oggi però sappiamo molto di più su come un cervello fatto di materia 'implementi' le funzioni mentali dell'intelligenza o della coscienza. Sappiamo come deficit o danni di tipo neurologico compromettano il corretto funzionamento del livello mentale. In questo quadro è forse utile riepilogare quali siano le teorie in campo e quali siano gli argomenti a favore o contro l'esistenza del libero arbitrio.

5. L'incompatibilismo

L'incompatibilismo sostiene che il libero arbitrio è incompatibile con il determinismo causale. Il determinismo causale è una tesi generale concernente il mondo secondo la quale ogni evento è l'effetto di una serie causale di eventi, ovvero ogni evento è *causalmente determinato* da altri eventi che ne sono cause sufficienti. L'incompatibilità può essere formulata in più modi:

- se il determinismo è vero, un'ipotetica scelta è completamente determinata dalle leggi di natura e dagli eventi passati;
- non dipendono da noi né leggi di natura né eventi del passato;
- la scelta tra andare e restare in un preciso istante è completamente determinata da elementi fuori dal nostro controllo;
- se una nostra azione non dipende da noi non si può più definire libera.

Il determinismo 'duro' sostiene che ogni stato di cose è predeterminato causalmente da quello precedente e predeterminerà causalmente quello successivo, pertanto tutte le nostre azioni non sono l'esercizio di una libera volontà, ma eventi causati da una catena di altri eventi fuori dal nostro controllo; quindi se tutti gli eventi sono conseguenze necessarie di cause precedenti e se le nostre azioni sono eventi, allora tutto ciò che abbiamo fatto e faremo è determinato in precedenza dalla catena causale degli eventi.

L'immagine più suggestiva di questa forma di determinismo è certamente quella evocata dal filosofo illuminista Julien Offray de La Mettrie, il quale considera l'uomo una macchina e l'anima il semplice «principio di movimento o una parte materiale sensibile del cervello, che senza tema di errore si può considerare come il motore principale di tutta la macchina» [6]. L'ontologia di fondo di queste posizioni è chiaramente il

monismo materialista prima enunciato, secondo il quale esiste una sola sostanza, quella materiale, e i singoli individui non sono altro che una particolare configurazione della materia.

Per Baruch Spinoza l'esperienza della libertà s'impone al senso comune semplicemente perché gli uomini «sono consapevoli delle loro azioni e ignorano delle cause da cui sono determinati». I «decreti della mente» sono un'unica e sola cosa con gli «appetiti del corpo», i quali sono determinati dalle leggi naturali [14, parte III, prop. II, scolio].

A questa forma di determinismo naturalistico si affianca il determinismo psicologico. Secondo il determinismo psicologico, a determinare la volontà sono le inclinazioni personali, la propria educazione, le proprie esperienze passate: in ogni caso la volontà è etero-determinata da fattori a essa esterna.

Così come è stato definito di recente da Peter Van Inwagen, il determinismo è la tesi per la quale per ogni istante di tempo c'è sempre e soltanto un futuro possibile. In un mondo deterministico c'è un unico futuro fisicamente possibile e mai due mondi che abbiano lo stesso inizio. Guardando alla scacchiera in cui si muove l'essere umano, il determinismo equivale allora alla conclusione che il nostro futuro (qualunque mossa di spostamento nell'ambiente/scacchiera) è "fissato" dal nostro stato presente. Il determinismo si fonda sul meccanicismo. Il meccanicismo è una visione ontologica che considera la natura come una macchina composta da particelle in moto, dotate di una propria estensione e di una specifica massa, e tale macchina è regolata da principi generali ed immutabili; ciò implica che se potessimo descrivere lo stato del sistema in un istante qualsiasi, vale a dire la posizione e la quantità di moto di ciascuna particella del sistema in quel dato istante, allora potremmo calcolare la quantità di moto e la posizione in cui tutte le particelle si troverebbero in qualsiasi altro istante. Si tratta del principio abilmente espresso dal matematico e fisico Pierre-Simon Laplace [7].

In un universo meccanicistico non può esserci posto per il libero arbitrio, in quanto ogni evento non è altro che l'effetto dell'interazione di particelle materiali. Del resto, il determinismo coincide con la tesi secondo cui se A e B sono proposizioni che esprimono lo stato del mondo in due istanti diversi, allora la congiunzione di A con le leggi fisiche deve implicare B , ovvero, le leggi fisiche implicano che se A , allora necessariamente B ; mentre la libertà viene definita come il potere o l'abilità degli agenti di aver potuto agire alternativamente da come hanno agito. La radice dell'incompatibilità tra libertà e determinismo sta quindi nell'impossibilità di connettere il concetto di "potere" con quello di "legge". Una legge fisica è tale che non è in nostro potere renderla falsa; al contrario una proposizione è dipendente dalla libertà quando può essere resa falsa dalle nostre azioni [15, pp. 135-156].

L'argomento di Van Inwagen si basa su due presupposti:

- a) *il principio dell'inevitabilità*, per cui data una certa catena causale non è possibile cambiare un evento che ne è l'effetto, se questo è riducibile alle leggi fisiche;

- b) *il principio del predeterminismo*, per cui ogni stato di cose presente è predeterminato dagli eventi del passato, quindi cambiare lo stato di cose, ad esempio con un'azione, significa falsificare tutta la concatenazione causale degli eventi passati.

La seconda soluzione possibile, qualora si accettasse il determinismo causale, consiste nel *negare l'esistenza del libero arbitrio*: il libero arbitrio è un'illusione, un epifenomeno che non ha alcun ruolo causale nell'azione. In questo caso la volontà e le azioni sono determinate da eventi mentali che, a loro volta, sono completamente determinati da

fattori come le esperienze passate dell'agente, l'istruzione che quell'individuo ha ricevuto, l'ambiente circostante o ancora (nelle concezioni più naturalistiche) dal suo assetto biologico oppure dalle variabili fisiche in gioco [...] Non c'è nessuna rottura nella catena deterministica delle cause e degli effetti: la volontà dell'agente è determinata da cause su cui egli non può agire ed essa a sua volta determina, causandole, le azioni che l'agente compie [4, p. 61].

Ma c'è anche chi come Saul Smilansky ha sostenuto che la negazione del libero arbitrio non conduce affatto a qualche pericolo; infatti, anche ammesso che il libero arbitrio sia un'illusione cognitiva, esso ha una doppia utilità pratica:

1. garantisce un ordine morale, in quanto solo se l'agente si sente moralmente responsabile delle proprie azioni possiamo ascrivere predicati prescrittivi alle azioni («è giusto fare X» o «è sbagliato fare X»);
2. soddisfa la nostra intuizione di giustizia, perché possiamo distinguere quando un atto è stato compiuto liberamente e quando è stato compiuto sotto costrizione [13].

In un certo senso, per l'incompatibilista che sia anche un determinista, ciò che importa è che l'agente *si senta* libero, anche se non esiste alcun tipo di libero arbitrio.

6. Il naturalismo biologico di Searle

Un'altra possibile soluzione al problema consiste nel far coesistere gli eventi mentali con la causalità, considerando gli eventi mentali come proprietà fisiche, rientranti perciò nella causalità, ma non compatibili con le nostre conoscenze scientifiche, con la conseguenza che il naturalismo dovrà essere ridefinito.

L'obiezione cui deve rispondere una simile tesi è la seguente: come può un sistema biologico, composto da microelementi quali i neuroni che interagiscono meccanicamente tra di loro, far emergere qualcosa di unitario come la coscienza, che mette in grado di agire per una ragione? La risposta di John Searle è che la coscienza è «una proprietà emergente del cervello», una proprietà tale che può anche influenzare e interagire con gli stessi elementi semplici (i neuroni) che la compongono. Il sistema neurale sarebbe un sistema in grado di causare se stesso mediante processi razionali:

(la coscienza) è una proprietà emergente di determinati sistemi di neuroni nello stesso senso in cui la solidità e la liquidità sono proprietà emergenti di sistemi di

molecole: la sua esistenza, di fatto, non può essere spiegata senza far riferimento alle interazioni causali che, al microlivello, hanno luogo tra i componenti del cervello, né può essere dedotta o calcolata riferendosi unicamente alla struttura fisica dei neuroni. [12, p. 127]

Pertanto, secondo Searle, nel momento in cui ci si appresta a dare una spiegazione naturalistica della coscienza, non si può prescindere dall'intero sistema cerebrale e dalle sue proprietà emergenti, visto come un insieme le cui proprietà sono determinate dai singoli elementi ma non sono riducibili ad essi, così come la proprietà della liquidità non è riducibile ai singoli atomi che compongono il liquido.

Tra le proprietà emergenti di questo sistema troviamo la capacità di causare se stesso mediante ragioni e azioni:

1. Lo stato del cervello in t_1 non è causalmente sufficiente a determinare lo stato del cervello in t_2 ;
2. Il movimento dallo stato t_1 allo stato in t_2 può essere spiegato soltanto con le caratteristiche del sistema, in particolare con l'operato del sé cosciente;
3. Tutte le caratteristiche del sé cosciente, in qualunque momento, sono interamente determinate dallo stato, in questo istante, dei microelementi, dei neuroni, ecc. Le caratteristiche sistemiche sono interamente fissate dai microelementi, perché da un punto di vista causale non c'è nulla se non dei microelementi. Lo stato dei neuroni determina lo stato della coscienza. Tuttavia, ogni determinato stato dei neuroni/della coscienza non è causalmente sufficiente per provocare lo stato successivo. I processi razionali di pensiero propri dello stato iniziale dei neuroni/della coscienza spiegano il passaggio da uno stato all'altro. In ogni istante, lo stato totale della coscienza è fissato dal comportamento dei neuroni, ma, da un istante all'altro, lo stato totale del sistema non è causalmente sufficiente a determinare lo stato successivo. [11, pp. 40-41]

Se accettiamo il naturalismo biologico, dobbiamo accettare che ciò di cui abbiamo esperienza intuitiva sia l'esito di processi neurali che il soggetto ignora completamente in quanto tali processi lavorano a un livello non direttamente accessibile alla coscienza; se l'esperienza conscia del libero arbitrio è intuitiva allora anch'essa deve essere l'esito di processi neurali inaccessibili all'introspezione. Searle parte dal presupposto cartesiano che la nostra "introspezione" sia assolutamente trasparente a noi stessi e che, pertanto, sia infallibile. Come osserva Churchland, questa opinione è «ormai così completamente screditata che è veramente curioso trovare un filosofo della statura di Searle che le strizzi ancora l'occhio»; in realtà «*possiamo avere una concezione falsa o superficiale del carattere essenziale*» dei nostri stati interiori [2, pp. 223-224].

7. Neurofisiologia della volontà

Per dimostrare ciò, possiamo avvalerci di numerosi studi che contrastano evidentemente con l'idea dell'accesso privilegiato dell'introspezione: gli studi di neurofisiologia della

volontà.

Il neurofisiologo Benjamin Libet ha concentrato le sue ricerche sul fattore temporale nella coscienza, dimostrando che le nostre azioni hanno inizio con processi neurali di cui il soggetto non è cosciente. Secondo questi studi, gli atti volontari possono essere registrati da cambiamenti elettrici regolari e specifici (*potenziale di prontezza*, PP) nell'attività cerebrale che hanno inizio circa 800 msec. prima che un soggetto compia l'azione apparentemente volontaria. Libet osservò che il PP insorgeva fra -800 e -1000 msec. prima dell'esecuzione dell'azione, ma questa era preprogrammata, e a -550 msec. quando non lo era. In tutte le serie la consapevolezza della volontà di agire emergeva solo a -200 msec. e a -80 msec. la consapevolezza del movimento. Da ciò Libet deduce che

il processo che porta a un'azione volontaria viene iniziato dal cervello in modo inconscio, molto prima che appaia la volontà cosciente di agire. Ciò implica che il libero arbitrio, se esiste, non inizierebbe come azione volontaria [8, p. 140].

Avremmo quindi scoperto che il processo volontario dell'agire viene iniziato in modo inconscio.

Lo psicologo cognitivo Daniel Wegner ha provato a spiegare l'illusione del libero arbitrio per cui, nonostante la preparazione neurale dell'azione volontaria incominci prima dell'essere coscienti di volerla, quest'ultima sia comunque interpretata dagli agenti come «azione causata dalla volontà»: vi sarebbe un sistema cognitivo, basato su processi neurali, in grado di ricreare l'esperienza cosciente del libero arbitrio. Facciamo esperienza cosciente della volontà quando pensiamo che ci sia un rapporto causale tra i nostri pensieri e l'azione: l'esperienza della volontà cosciente emerge quando una persona inferisce un apparente percorso causale che va dai suoi pensieri all'azione; di contro i percorsi causali effettivi non sono presenti nella coscienza del soggetto.

L'esperienza cosciente della volontà sarebbe quindi una spiegazione causale apparente che collega i nostri pensieri (desideri, credenze, ecc.) alle azioni eseguite. In quest'ottica, per interpretare un'azione come volontaria, cioè causata dai nostri pensieri, il rapporto tra pensiero e azione deve infine soddisfare almeno tre condizioni:

1. *il principio di priorità*, secondo cui gli eventi causali precedono i loro effetti, l'azione volontaria deve accadere dopo la sua apparente causa;
2. *il principio di consistenza*, secondo cui ci deve essere una relazione coerente tra l'evento causale e l'evento causato. Non basta che l'evento causale accada prima di quello causato, ma ci deve essere una connessione logica tra gli eventi;
3. *il principio di esclusività*, secondo cui per considerare un evento causale bisogna escludere tutte le altre possibili cause. Nel caso dell'esperienza cosciente della volontà, i nostri pensieri devono allora poter essere considerati l'unica causa possibile che ha determinato l'azione. Il fatto se lo siano stati realmente

o no, non ha importanza, in un certo senso in questo caso ciò che appare importante è che l'agente comprenda se stesso come libero alla luce dei criteri formali appena esposti, anche se il luogo dove si consumano le cause del suo agire non coincide con la sua coscienza, ma con il complesso di processi neurali che governano il suo cervello.

8. Il libertarismo

Il libertarismo sostiene che la libertà è in aperto contrasto con il determinismo e che non ci può essere libertà in un mondo deterministico per due ragioni:

- a) se ogni evento è causato da un evento precedente, allora l'agente non può agire diversamente da come agisce;
- b) la libertà implica l'autodeterminazione, per cui l'agente determina se stesso mediante la propria volontà e le proprie azioni. A differenza del determinista, il *libertarista* sostiene che la libertà esiste; si possono distinguere due prospettive di libertarismo: il dualismo e l'indeterminismo.

Senza prendere in considerazione il dualismo interazionistico o cartesiano può risultare utile in questa sede prendere in esame – alla luce della discussione sul libero arbitrio – una particolare forma di dualismo: il dualismo pratico. Fu proposto da Kant, il quale considerava le azioni umane sotto due punti di vista: quello meramente empirico e fenomenico di apparenze subordinate alle leggi causali della natura; quello intelligibile o noumenico che interpreta le azioni come effetti sensibili di una libertà irriducibile al mondo empirico.

Secondo Kant esistono infatti due specie di causalità:

- a) «secondo natura», ovvero «la connessione di uno stato nel mondo dei sensi con uno stato precedente, cui quello segue secondo una regola», (questa causalità deve essere a sua volta causata da un'altra causa per poter sorgere);
- b) «secondo libertà», ovvero «la facoltà di dare inizio spontaneamente ad uno stato», «la causalità della libertà non è subordinata a sua volta, secondo la legge della natura, ad un'altra causa che la determini nel tempo». Considerata in questa modalità la libertà diventa un'idea trascendentale pura poiché non soggetta alle leggi naturali della causalità [5].

Il soggetto razionale gode di una duplice condizione per cui le azioni umane possono essere concepite sia come causalmente determinate che come espressione di una libertà spontanea:

Così libertà e natura, ciascuna nel suo pieno significato, si ritroverebbero simultaneamente e senza alcun contrasto proprio nelle medesime azioni, a seconda che queste vengano confrontate con la loro causa intelligibile oppure con la loro causa sensibile. [5, Parte II, Dial. Trasc., Libro II, Cap. II, Sez. IX]

L'indeterminismo è un'altra forma di libertarismo ed anche una visione generale sul

mondo; generalmente afferma che non esistono cause sufficienti in grado di determinare qualsiasi evento. Così un evento fisico A può aumentare la probabilità che accada un evento fisico B, ma non può determinarlo necessariamente. Gli indeterministi aggiungono alla catena causale A-B una fattore non causale. L'indeterminismo sostiene che:

lungo la catena causale ininterrotta che conduce al compimento dell'azione, interviene in qualche punto rilevante – tra il processo di formazione delle credenze, il processo deliberativo e l'esecuzione dell'azione – un cruciale elemento di indeterminismo (...): in questa prospettiva per definizione le azioni non sono il prodotto di una causazione deterministica, quindi potrebbero non accadere, anche in presenza dello stesso passato e delle stesse leggi di natura [4, pp. 44-45].

L'indeterminismo deve pertanto spiegare che tipo di agente interviene affinché possa accadere un evento mentale che è solo probabile. Secondo questi autori bisogna inserire nella catena causale dei predicati mentali che non siano riducibili al linguaggio fisicalista, ma che spieghino perché un evento mentale o un'azione semplicemente probabile siano accaduti. In questa prospettiva le persone sono considerate come agenti razionali che agiscono per delle *ragioni* in grado di originare delle *nuove* catene causali non-necessitanti.

Wittgenstein propose una forma d'indeterminismo causale affermando che le azioni sono causate da ragioni o motivi, senza che ciò implichi un determinismo psicologico. Il linguaggio della scienza consiste nello stabilire nessi causali tra proposizioni elementari e primitive che descrivono stati di cose [16, § 6.373, § 6.374].

Il libero arbitrio si fonda su un limite ovviamente epistemico: l'impossibilità di conoscere gli stati futuri. In ogni caso, la causalità mentale è una necessità analoga alla causalità fisica, per cui lo stato mentale A è connesso causalmente all'azione B. Questo significa che esistono nessi causali che connettono stati mentali ad azioni, ma il libero arbitrio è garantito dal fatto che ignoriamo quali saranno gli stati mentali e le nostre azioni future: il libero arbitrio sarebbe compromesso se e solo se potessimo conoscere tutti gli stati di cose futuri che descrivono le nostre azioni. La posizione di Wittgenstein può essere interpretata in modo ambivalente sia in una prospettiva indeterminista che determinista, così non aggiunge nulla alle tesi incompatibiliste. Inoltre, pur ammettendo l'esistenza di cause mentali, come le ragioni, non pone in questione la natura di questi stati, ossia se abbiano o meno un substrato materiale, e in che modo interagiscano col mondo materiale: per Wittgenstein il fatto che ci sia un *fenomeno mentale* denota già una sua autonomia ed irriducibilità esattamente come il *fenomeno naturale*.

Conclusioni

Il problema filosofico del rapporto mente-corpo, quello della coscienza e di tutte le sue proprietà – tra cui troviamo il libero arbitrio – si trova oggi di fronte alla necessità di uscire dal vicolo cieco nel quale sembra essere finito.

La filosofia deve partire dal presupposto che le questioni generali che ha sempre

affrontato (il libero arbitrio, il Sé, la coscienza, l'intenzione, i *qualia*) non possono definirsi ed essere risolte una volta per tutte *a priori* attraverso il semplice linguaggio, cioè senza adottare dati empirici che possano *delimitare* il campo di ricerca e di discussione filosofica. La conoscenza dei meccanismi neurali, che determinano le nostre decisioni, ci può permettere di reinterpretare alcuni concetti giuridici e pratici, come ad esempio quello di imputabilità o responsabilità, in particolare quando si dovrà stabilire se l'agente avesse il controllo della propria condotta [10].

Allo stesso tempo, però, qualsiasi conoscenza neuroscientifica sul libero arbitrio, non può minare il concetto di *responsabilità*, poiché anche se si dimostrasse che ogni azione umana è causata dal cervello, ciò non dimostrerebbe che il soggetto non è responsabile delle proprie azioni, a meno che non si dimostri che queste cause abbiano diminuito, nel contesto specifico, ciò che comunemente chiamiamo la sua razionalità. In tal senso, le neuroscienze non cambiano niente per quanto riguarda la responsabilità; i nostri giudizi morali sono libertaristi, si fondano cioè sull'idea che l'agente è responsabile della propria azione solo quando questa possa essere ascritta alla sua volontà e a *nient'altro*. Del resto, se assumessimo in modo esplicito e consapevole che la nostra coscienza è solo una mera illusione e che tutto il mondo di qualità, sensazioni, desideri e volontà che accompagnano la nostra esistenza non è altro che una bizzarra allucinazione, sarebbe difficile immaginare la nostra società organizzata così come adesso.

Sforzandoci ancora una volta di utilizzare la nostra immaginazione, proviamo a concepirci privi di qualsiasi potere sul nostro agire, prigionieri di un'illusione che finalmente abbiamo svelato. Proviamo a concepirci quali automi governati da leggi complesse e raffinate delle quali finalmente siamo riusciti a entrare in possesso in ogni loro dettaglio. Proviamo a concepirci privi di coscienza, svuotati della nostra vita interiore fatta di desideri e volontà. Se riusciamo a fare questo sforzo, ammesso che sia possibile farlo, proviamo a pensare (anche se una simile parola non avrebbe più senso in quelle condizioni) a quale significato dovrebbe assumere la parola "libertà". Potremo ancora concepire una società come la nostra in cui la parola "libertà" esprime un valore, e non una mera etichetta posta sopra una scatola vuota?

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chalmers, D., *La mente cosciente*, McGraw-Hill, Milano 1999.
- [2] Churchland, P. M., *Il motore della ragione, la sede dell'anima*, Il Saggiatore, Milano 1998.
- [3] Crick, F., *La scienza e l'anima*, Rizzoli, Milano 1994.
- [4] De Caro, M., *Il libero arbitrio. Una introduzione*, Laterza, Roma-Bari 2004.
- [5] Kant, I., *Critica della Ragion Pura*, Adelphi, Milano 1995.
- [6] La Mettrie, J. O. de, *L'uomo macchina e altri scritti*, Feltrinelli, Milano 1973.
- [7] Laplace, P. S. de, *Saggio filosofico sulle probabilità*, in *Opere*, UTET, Torino 1967.
- [8] Libet, B., *Mind time*, Cortina, Milano 2007.
- [9] Penrose, R., *La mente nuova dell'imperatore*, Rizzoli, Milano 1992.
- [10] Roskies, A., Neuroscientific Challenges to Free Will and Responsibility, *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 9, 2006, pp. 419-423.
- [11] Searle, J. R., *Libertà e neurobiologia*, Mondadori, Milano 2005.
- [12] Searle, J. R., *La riscoperta della mente*, Bollati Boringhieri, Torino 1994.
- [13] Smilansky, S., *Free will and illusion*, Oxford University Press, Oxford 2000.
- [14] Spinoza, B., *Etica dimostrata con ordine geometrico*, in *Opere*, Mondadori, Milano 2007.
- [15] Van Inwagen, P., *L'incompatibilità del libero arbitrio e del determinismo*, in De Caro, (a cura di), *La logica della libertà*, Maltemi, Roma 2002.
- [16] Wittgenstein, L., *Tractatus logico-philosophicus*, Einaudi, Torino 1998.

VERSO UN MONDO LIBERO DA ARMI NUCLEARI?*

FRANCESCO LENCI

Unione Scienziati Per Il Disarmo (USPID), Istituto di Biofisica, CNR, Pisa

Il Manifesto Russell-Einstein – dal 1955 autorevole e saldo punto di riferimento delle Conferenze Pugwash (premio Nobel per la Pace 1995, <http://www.pugwash.org/>) e di numerose comunità di studiosi dei problemi del disarmo – si conclude con queste parole profetiche:

Davanti a noi sta, se lo scegliamo, un lungo cammino di benessere, conoscenza e saggezza. Sceglieremo invece la morte perché non riusciamo a dimenticare le nostre controversie? Ci rivolgiamo come esseri umani ad altri esseri umani: ricordate la vostra umanità e dimenticate il resto. Se sarete capaci di farlo, si aprirà la via di un nuovo paradiso; se non ne sarete capaci, davanti a voi sarà il rischio di una morte universale.

L'Art. VI del Trattato di Non Proliferazione (TNP) del 1970 stabilisce che ogni potenza nucleare

si impegna a concludere in buona fede trattative su misure efficaci per una prossima cessazione della corsa agli armamenti nucleari e per il disarmo nucleare, come pure per un trattato sul disarmo generale e completo sotto stretto ed efficace controllo internazionale.

Oggi, dopo il lungo periodo di Presidenza Bush, disastroso per gli accordi bi- e multi-laterali sul controllo degli armamenti, l'obiettivo del disarmo nucleare sembra finalmente al centro dell'attenzione di Stati Uniti e Federazione Russa e i Presidenti Obama e Medvedev sono determinati a concludere un nuovo trattato sul disarmo nucleare: a favore di un trattato del tutto nuovo è stata scartata la scelta alternativa di mantenere lo START e aggiornare il Trattato di Mosca SORT con regole trasparenti.

Dopo anni di teorizzazione e messa in atto di guerre preventive da parte dell'Amministrazione Bush, il Presidente Obama ha avviato un processo di teorizzazione – e in parte, compatibilmente con i pesanti vincoli ereditati da Bush, di messa in atto – di una strategia di 'pace preventiva'. L'assegnazione del premio Nobel per la Pace 2009 ad Obama suona appunto – secondo me – proprio come un riconoscimento di questo nuovo corso e un invito al mondo intero a perseguirlo. Naturalmente i problemi anche interni che il Presidente Obama deve risolvere sono molti e difficili. Conservatori e scettici nei confronti del reale impegno 'pacifista' da parte della Russia, il comples-

* Lezione tenuta a Firenze il 27 ottobre 2009, presso l'Istituto Leonardo da Vinci, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

so militare-industriale (è molto interessante ricordare che nella prima stesura del suo discorso del 1961, il Presidente Eisenhower faceva riferimento al complesso militare-industriale-congressuale, e non solo militare-industriale), frange oltranziste e falchi non desisteranno certamente dal porre ostacoli su questo cammino.

Tra i tanti problemi da affrontare, nel breve e lungo termine, perché questo cammino si concluda con l'eliminazione di tutte le armi nucleari, uno dei più urgenti è senza dubbio quello del rafforzamento del regime di non-proliferazione orizzontale delle armi nucleari. La prossima Conferenza di Rassegna del TNP si terrà a Maggio 2010 e, dopo l'esito negativo di quella del 2005, sarebbe gravissimo e pericolosissimo un nuovo insuccesso, sia per la sopravvivenza del trattato stesso sia per l'avvio di un reale processo di riduzione degli arsenali nucleari di Stati Uniti e Russia.

Fondamentale sarebbe la ratifica del trattato per il bando completo dei test nucleari (CTBT, *Comprehensive Test Ban Treaty*). Approvato nel Settembre del 1996, istituisce una rete di 201 centri di ispezione in grado di registrare i test atomici, ma non è comunque ancora in forza. Lo sarà solo 180 giorni dopo essere ratificato da un gruppo di 44 'stati chiave'. Ad oggi ancora alcuni degli stati chiave (cfr. *Annex 2* sul sito <http://www.ctbto.org/>), tra i quali Stati Uniti, Iran, Israele e Cina, non hanno ratificato il trattato e India, Pakistan e Corea del Nord non lo hanno nemmeno firmato.

Al momento della consegna di questa breve nota siamo in attesa della edizione 2010-2014 della *Nuclear Posture Review* (NPR, (<http://www.defense.gov/npr/>), che sembrava dovesse essere pronta per gli inizi di Febbraio 2010 e che invece non sarà disponibile che verso la fine di Marzo 2010. L'NPR è un documento, integrato nella *Quadrennial Defence Review* (QDR, <http://www.defense.gov/qdr/>), che definisce la politica nucleare e la strategia globale degli Stati Uniti per gli anni a venire e che non può considerarsi definitivo prima che il Presidente Obama lo abbia esaminato ed approvato.

Le anticipazioni fornite dai mezzi d'informazione sembrano autorizzare speranze di passi cruciali del Presidente Obama sulla via del disarmo:

- a) Il numero dei vettori capaci di trasportare testate nucleari dovrebbe essere tra 500 e 1.100, contro le attuali 2.200 testate operative (un migliaio delle quali allertabili in tempi brevissimi) e le circa 2.550 testate di riserva, che possono comunque essere attivate;
- b) Non dovrebbero essere progettate e costruite nuove armi nucleari;
- c) Gli Stati Uniti dovrebbero impegnarsi a non usare per primi le armi nucleari (*no-first-use*);
- d) anche in vista della Conferenza di Rassegna del Trattato di Non Proliferazione dovrebbe essere rapidamente ratificato il Trattato per il Bando Completo di tutti i Test nucleari (*Comprehensive Test Ban Treaty*, CTBT).

Come già accennato, non mancano radicali opposizioni a questa strategia del

Presidente Obama, in alcuni casi definita visionaria e considerata gravemente destabilizzante per la sicurezza globale.

Naturalmente se anche questi primi passi verso il disarmo nucleare di Stati Uniti e Russia permettessero di arrivare a una significativa riduzione dei loro arsenali, passi successivi verso un mondo libero da armi nucleari (*Nuclear Weapons Free World*, NWFW) dipenderebbero dalla possibilità di passare da negoziati bi-laterali a negoziati multi-laterali, coinvolgenti tutti i paesi possessori di armi nucleari. Per questo, è assolutamente necessario e indilazionabile 'svalutare' le armi nucleari, confutare nei fatti l'idea che il possesso di armi nucleari sia uno strumento di 'prestigio' e fonte di sicurezza, apertamente denunciare le armi nucleari come armi di genocidio. E forse la recente iniziativa di Belgio, Germania, Lussemburgo, Olanda e Norvegia a favore del ritiro delle circa 200 testate nucleari tattiche americane installate in Europa, inutile retaggio dei tempi della guerra fredda, può dare un significativo contributo alla politica della Casa Bianca.

A metà degli anni Ottanta la dottrina NATO considerava il possesso ed il dispiegamento di armi nucleari tattiche uno strumento di deterrenza e compensazione della presunta forte superiorità convenzionale del Patto di Varsavia e schierava quasi 6000 armi nucleari tattiche americane sul suolo europeo (bombe aeree, mine di demolizione, proiettili di artiglieria, missili aria-aria e terra-terra. Più di 400 di questi ordigni erano installati in Italia).

Oggi, a quasi vent'anni dalla dissoluzione dell'Unione Sovietica e del Patto di Varsavia, il numero di armi nucleari tattiche è drasticamente diminuito (circa 20 in Belgio, in Olanda e in Germania, una cinquantina in Italia ad Aviano e circa 90 in Turchia), ma la strategia della NATO sembra ancora considerare essenziale il ruolo delle armi nucleari per garantire la sicurezza dell'Alleanza. Non insisto, in questa breve nota, sulla perversa oggettiva minaccia al regime di non proliferazione orizzontale delle armi nucleari che tali posizioni costituiscono. Ricordo però che lo schieramento di armi nucleari 'straniere' in Paesi non possessori di armi nucleari che aderiscono al Trattato di Non Proliferazione (TNP) può essere considerata una violazione del Trattato stesso e che il ritiro da parte degli Stati Uniti delle armi nucleari americane schierate in Europa (peraltro assolutamente inutili dal punto di vista strategico e militare) costituirebbe un contributo di straordinaria importanza per il successo della Conferenza di Rassegna del TNP che si terrà a Maggio 2010.

Nei mesi di febbraio e marzo di quest'anno, rispettivamente il *Panel On Public Affairs* (POPA) dell'*American Physical Society* (APS) e la *Royal Society* hanno reso pubblici due rapporti sul contributo che la scienza e la tecnologia possono dare per perseguire l'obiettivo di ridurre gli arsenali nucleari (<http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/nucdown-exec.cfm> e <http://royalsociety.org/nuclear-disarmament/>). Due le speranze che questi autorevoli documenti autorizzano:

- a) che costituiscano un valido aiuto per i sostenitori della necessità di andare

verso un mondo libero da armi nucleari, liberando il campo da timori di non fattibilità tecnica del tutto strumentali;

- b) che ispirino la comunità scientifica internazionale a rifarsi al Manifesto Russell-Einstein (riportato nell'originale qui di seguito) e ad assumersi la responsabilità di dare un suo contributo.

Aggiunta in bozze

Qualche tempo dopo avere consegnato questa breve nota per la stampa nel volume di atti di Pianeta Galileo 2009, l'8 aprile 2010 è stato finalmente firmato da Barack Obama e Dmitri Medvedev il nuovo trattato sulla riduzione delle armi nucleari strategiche (New START). Il 6 aprile era stata resa pubblica l'edizione 2010-2014 della *Nuclear Posture Review* (NPR, <http://www.defense.gov/npr/>), un documento fondamentale che definisce la politica nucleare e la strategia globale degli Stati Uniti per gli anni a venire. Il testo del New START e le novità contenute nella NPR (impegno degli Stati Uniti a evitare la proliferazione orizzontale delle armi nucleari, attenzione (*finalmente*, dopo quarant'anni!) all'Art. VI del Trattato di Non Proliferazione, impegno a non usare o minacciare di usare armi nucleari contro Paesi non nucleari aderenti al TNP, 'demirvizzazione' – eliminazione delle testate multiple e installazione di una unica testata nucleare – dei missili strategici) autorizzano grandi speranze. Ci auguriamo di poter discutere con dovizia di particolari queste novità, assieme ad ulteriori progressi, nella prossima edizione di Pianeta Galileo.

[Le idee e le opinioni riportate in questo articolo sono personali dell'autore e non rappresentano le posizioni delle Istituzioni]

THE RUSSELL-EINSTEIN MANIFESTO

London, 9 July 1955

In the tragic situation which confronts humanity, we feel that scientists should assemble in conference to appraise the perils that have arisen as a result of the development of weapons of mass destruction, and to discuss a resolution in the spirit of the appended draft.

We are speaking on this occasion, not as members of this or that nation, continent, or creed, but as human beings, members of the species Man, whose continued existence is in doubt. The world is full of conflicts; and, overshadowing all minor conflicts, the titanic struggle between Communism and anti-Communism.

Almost everybody who is politically conscious has strong feelings about one or more of these issues; but we want you, if you can, to set aside such feelings and consider yourselves only as members of a biological species which has had a remarkable history, and whose disappearance none of us can desire.

We shall try to say no single word which should appeal to one group rather than to

another. All, equally, are in peril, and, if the peril is understood, there is hope that they may collectively avert it.

We have to learn to think in a new way. We have to learn to ask ourselves, not what steps can be taken to give military victory to whatever group we prefer, for there no longer are such steps; the question we have to ask ourselves is: what steps can be taken to prevent a military contest of which the issue must be disastrous to all parties?

The general public, and even many men in positions of authority, have not realized what would be involved in a war with nuclear bombs. The general public still thinks in terms of the obliteration of cities. It is understood that the new bombs are more powerful than the old, and that, while one A-bomb could obliterate Hiroshima, one H-bomb could obliterate the largest cities, such as London, New York, and Moscow.

No doubt in an H-bomb war great cities would be obliterated. But this is one of the minor disasters that would have to be faced. If everybody in London, New York, and Moscow were exterminated, the world might, in the course of a few centuries, recover from the blow. But we now know, especially since the Bikini test, that nuclear bombs can gradually spread destruction over a very much wider area than had been supposed.

It is stated on very good authority that a bomb can now be manufactured which will be 2,500 times as powerful as that which destroyed Hiroshima. Such a bomb, if exploded near the ground or under water, sends radio-active particles into the upper air. They sink gradually and reach the surface of the earth in the form of a deadly dust or rain. It was this dust which infected the Japanese fishermen and their catch of fish. No one knows how widely such lethal radio-active particles might be diffused, but the best authorities are unanimous in saying that a war with H-bombs might possibly put an end to the human race. It is feared that if many H-bombs are used there will be universal death, sudden only for a minority, but for the majority a slow torture of disease and disintegration.

Many warnings have been uttered by eminent men of science and by authorities in military strategy. None of them will say that the worst results are certain. What they do say is that these results are possible, and no one can be sure that they will not be realized. We have not yet found that the views of experts on this question depend in any degree upon their politics or prejudices. They depend only, so far as our researches have revealed, upon the extent of the particular expert's knowledge. We have found that the men who know most are the most gloomy.

Here, then, is the problem which we present to you, stark and dreadful and inescapable: Shall we put an end to the human race; or shall mankind renounce war? People will not face this alternative because it is so difficult to abolish war.

The abolition of war will demand distasteful limitations of national sovereignty. But what perhaps impedes understanding of the situation more than anything else is that the term "mankind" feels vague and abstract. People scarcely realize in imagination that the danger is to themselves and their children and their grandchildren, and not only to a dimly apprehended humanity. They can scarcely bring themselves to grasp that they, individually, and those whom they love are in imminent danger of perishing

agonizingly. And so they hope that perhaps war may be allowed to continue provided modern weapons are prohibited.

This hope is illusory. Whatever agreements not to use H-bombs had been reached in time of peace, they would no longer be considered binding in time of war, and both sides would set to work to manufacture H-bombs as soon as war broke out, for, if one side manufactured the bombs and the other did not, the side that manufactured them would inevitably be victorious.

Although an agreement to renounce nuclear weapons as part of a general reduction of armaments would not afford an ultimate solution, it would serve certain important purposes. First, any agreement between East and West is to the good in so far as it tends to diminish tension. Second, the abolition of thermo-nuclear weapons, if each side believed that the other had carried it out sincerely, would lessen the fear of a sudden attack in the style of Pearl Harbour, which at present keeps both sides in a state of nervous apprehension. We should, therefore, welcome such an agreement though only as a first step.

Most of us are not neutral in feeling, but, as human beings, we have to remember that, if the issues between East and West are to be decided in any manner that can give any possible satisfaction to anybody, whether Communist or anti-Communist, whether Asian or European or American, whether White or Black, then these issues must not be decided by war. We should wish this to be understood, both in the East and in the West.

There lies before us, if we choose, continual progress in happiness, knowledge, and wisdom. Shall we, instead, choose death, because we cannot forget our quarrels? We appeal as human beings to human beings: Remember your humanity, and forget the rest. If you can do so, the way lies open to a new Paradise; if you cannot, there lies before you the risk of universal death.

Resolution:

WE invite this Congress, and through it the scientists of the world and the general public, to subscribe to the following resolution:

In view of the fact that in any future world war nuclear weapons will certainly be employed, and that such weapons threaten the continued existence of mankind, we urge the governments of the world to realize, and to acknowledge publicly, that their purpose cannot be furthered by a world war, and we urge them, consequently, to find peaceful means for the settlement of all matters of dispute between them.

Max Born

Percy W. Bridgman

Albert Einstein

Leopold Infeld

Frederic Joliot-Curie

Herman J. Muller
Linus Pauling
Cecil F. Powell
Joseph Rotblat
Bertrand Russell
Hideki Yukawa

IL MANIFESTO RUSSELL-EINSTEIN

Londra, 9 luglio 1955

Nella tragica situazione che l'umanità si trova a fronteggiare, pensiamo che gli scienziati debbano incontrarsi in una conferenza unitaria per valutare i pericoli scaturiti dallo sviluppo di armi di distruzione di massa e per discutere una risoluzione ispirata alla bozza in appendice.

In questa occasione parliamo non come membri di una nazione, di un continente o di una fede, ma come esseri umani, membri della specie umana, la cui futura esistenza è messa in pericolo.

Il mondo è pieno di conflitti; e, davanti a tutti i conflitti minori, c'è la lotta titanica tra comunismo e anticomunismo.

Pressoché ogni persona con una coscienza politica è coinvolta emotivamente nelle questioni che ciò pone, ma noi vi chiediamo di metter da parte, se potete, tali sentimenti e considerarvi unicamente come membri di una specie biologica che ha avuto una storia importante e che nessuno di noi può desiderare che scompaia.

Cercheremo di non dire neanche una parola che avvantaggi una parte rispetto all'altra. Tutti allo stesso pari sono in pericolo e, se questo pericolo sarà compreso, c'è la speranza che possa essere congiuntamente evitato.

Dobbiamo imparare a pensare in modo nuovo. Dobbiamo imparare a chiederci non quali passi è possibile compiere per dare la vittoria militare alla parte che preferiamo, qualunque essa sia, perché non ci sono più passi del genere; la domanda che dobbiamo porci è: quali passi possono essere compiuti per impedire un confronto militare il cui esito sarebbe disastroso per tutti i contendenti?

L'opinione pubblica, al pari di molte autorità, non si è resa conto di quali sarebbero le conseguenze di una guerra con bombe nucleari. L'opinione pubblica pensa ancora nei termini della cancellazione di città: si crede che le nuove bombe siano più potenti delle vecchie e che, mentre una bomba A poteva cancellare Hiroshima, una bomba H potrebbe sterminare la popolazione delle città più grandi, come Londra, New York e Mosca.

È fuor di dubbio che, in una guerra con bombe H, le grandi città verrebbero cancellate. Ma questo è soltanto uno dei disastri minori tra quelli ai quali si andrebbe incontro.

Se tutta la popolazione di Londra, New York e Mosca venisse sterminata, il mondo

potrebbe pur sempre, nel giro di qualche secolo, riprendersi dal colpo. Ormai, sappiamo invece, specie dopo l'esperimento di Bikini, che le bombe nucleari possono arrivare a seminare distruzione su un'area ben più vasta di quanto si supponeva prima.

È stato dichiarato da fonte sicuramente autorevole che oggi è possibile produrre una bomba 2500 volte più potente di quella che distrusse Hiroshima. Una bomba simile, che esploda vicino al suolo o sott'acqua, diffonde particelle radioattive negli strati superiori dell'atmosfera. Queste particelle poi ricadono, raggiungendo la superficie terrestre sotto forma di polveri o di pioggia letali. Sono state queste polveri a contaminare i pescatori giapponesi e a contaminare i pesci che prendevano. Nessuno sa quanto queste letali particelle radioattive possano essersi diffuse, ma i maggiori esperti sono unanimi nell'affermare che una guerra combattuta con bombe H potrebbe porre fine alla specie umana. Il timore è che, se verranno impiegate numerose bombe H, ne seguirà una morte universale, immediata solo per una minoranza, mentre alla maggioranza delle persone sarebbe riservata una lenta tortura, fatta di malattia e disfacimento.

Molti ammonimenti sono stati pronunciati da personalità eminenti della scienza e da esperti di strategia militare. Nessuno di loro dirà che i peggiori risultati sono una certezza. Ciò che si limitano a dire è che tali risultati sono possibili, anche se nessuno può escludere che essi si verifichino. Non ci risulta che le vedute degli esperti in materia dipendano in qualche misura dalle loro idee politiche e dai loro pregiudizi. Esse dipendono soltanto, per quanto ci hanno rivelato le nostre ricerche, dall'ampiezza delle conoscenze del singolo esperto. Abbiamo riscontrato che coloro i quali ne fanno di più, sono i più pessimisti.

Ecco dunque il problema che vi presentiamo, crudo, terribile e inevitabile: dovremo porre fine alla specie umana oppure l'umanità dovrà rinunciare alla guerra? Non si vuole affrontare questa alternativa perché è così difficile abolire la guerra.

L'abolizione della guerra richiederà sgradite limitazioni alla sovranità nazionale. Tuttavia, ciò che forse più di ogni altra cosa impedisce di capire la situazione è il fatto che il termine "umanità" pare vago e astratto. La gente stenta a rendersi conto, o anche solo a immaginare, che il pericolo riguarda loro, i loro figli e i loro nipoti, e non solo un'indistinta umanità. Si stenta a capire che sono proprio loro, in persona, e i loro cari a trovarsi nell'imminente pericolo di una morte straziante. E così sperano che, in fin dei conti, si possa anche accettare che le guerre continuino purché non si usino le armi moderne.

Questa speranza è illusoria. Qualunque fossero gli accordi presi in tempo di pace al fine di non usare le bombe H, questi accordi non sarebbero più considerati vincolanti in tempo di guerra; e i contendenti si metterebbero a fabbricare bombe H non appena scoppiata la guerra, perché, se uno dei due avesse le bombe e l'altro no, chi le avesse risulterebbe inevitabilmente vittorioso sull'altro.

Benché un accordo sulla rinuncia alle armi nucleari nel quadro di una riduzione generale degli armamenti non garantisca una soluzione definitiva, esso servirebbe ad alcuni importanti scopi.

In primo luogo, ogni accordo fra Est e Ovest è vantaggioso in quanto tende a diminuire le tensioni. In secondo luogo, l'abolizione delle armi termonucleari, se ognuna delle parti fosse convinta della buona fede dell'altra nell'ottemperare a quanto convenuto, ridurrebbe il timore di un attacco improvviso del tipo di Pearl Harbour – timore che attualmente tiene entrambe le parti in uno stato di nervosa apprensione. Dovremmo perciò salutare con soddisfazione un tale accordo, anche se solo come primo passo.

La maggior parte di noi non è neutrale nei suoi sentimenti, ma, come esseri umani dobbiamo ricordare che, se è possibile risolvere le questioni fra Est e Ovest in un qualsiasi modo che soddisfi qualcuno – e qui non importa se è comunista o anticomunista, asiatico o europeo o americano, bianco o nero –, le questioni non devono essere risolte con la guerra. Vorremmo che questo fosse capito sia a Est che a Ovest.

Davanti a noi sta, se lo scegliamo, un lungo cammino di benessere, conoscenza e saggezza. Scegliremo invece la morte perché non riusciamo a dimenticare le nostre controversie?

Ci rivolgiamo come esseri umani ad altri esseri umani: ricordate la vostra umanità e dimenticate il resto. Se sarete capaci di farlo, si aprirà la via di un nuovo paradiso; se non ne sarete capaci, davanti a voi sarà il rischio di una morte universale.

Risoluzione

NOI invitiamo questo Congresso e, attraverso esso, gli scienziati di tutto il mondo, al pari delle persone comuni, a sottoscrivere la seguente risoluzione:

In considerazione del fatto che in una futura guerra mondiale saranno certamente impiegate armi nucleari e del fatto che tali armi sono una minaccia per la continuazione stessa dell'umanità, esortiamo i governi di tutto il mondo affinché si rendano conto, e riconoscano pubblicamente, che i loro obiettivi non possono essere perseguiti mediante una guerra mondiale, e conseguentemente li esortiamo a cercare mezzi pacifici per la soluzione di tutte le controversie.

Max Born

Percy W. Bridgman

Albert Einstein

Leopold Infeld

Frederic Joliot-Curie

Herman J. Muller

Linus Pauling

Cecil F. Powell

Joseph Rotblat

Bertrand Russell

Hideki Yukawa

Epistemologia

SCIENZA E FILOSOFIA

PAOLO PARRINI

Dipartimento di Filosofia, Università di Firenze

I rapporti fra scienza e filosofia sono assai stretti; non sono però né semplici né ‘pacifici’. Al contrario, sono complessi e, molto spesso, conflittuali. Fra gli svariati punti di vista dai quali è possibile discuterne (etico e bioetico, ontologico, metafisico, pedagogico, antropologico, sociologico, psicologico, epistemologico) sceglierò la prospettiva che mi è più congeniale, quella epistemologica, e affronterò il problema distinguendo tra la sua dimensione storica e quella teorica.

1. La dimensione storica

Molte discipline scientifiche sono state inizialmente branche della filosofia e sono venute emancipandosi da essa attraverso un cammino più o meno lungo e complesso. Per esempio, l’opera di Newton che insieme ai grandi contributi di Galileo sta all’origine della fisica così come oggi la pratichiamo porta il titolo di *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Dopo quest’opera, però, la fisica ha preso una strada che l’ha del tutto affrancata dal pensiero speculativo. Qualcosa di analogo è avvenuto anche per altre parti di quello che costituiva una volta lo scibile filosofico. È avvenuto per esempio per la biologia, per la scienza della società che diverrà sociologia, per lo studio dell’anima che diverrà psicologia (e in taluni casi psicologia scientifica con aspetti quantitativi matematizzati).

Un interessante caso a sé è costituito dalla logica. Se da un lato, a partire all’incirca dalla metà dell’Ottocento, essa ha conosciuto un processo di simbolizzazione che l’ha condotta a trasformarsi in ‘logica matematica’, dall’altro lato ha continuato ad avere un solido aggancio con problematiche ontologiche, gnoseologiche e deontiche. La logica, cioè, per certi versi è divenuta uno dei tanti settori della matematica, ma per altri ha conservato uno statuto filosofico.

Il processo storico appena descritto è stato talvolta illustrato con una metafora abbastanza famosa. All’origine – si è detto – la filosofia era un grande impero che comprendeva come sue province la maggior parte dei territori conosciuti; progressivamente, però, è andata perdendo quei territori i quali si sono resi completamente indipendenti dallo stato centrale dandosi un assetto autonomo. Questa metafora, tuttavia, coglie solo l’aspetto più appariscente di una vicenda in realtà molto più complicata e interessante. Essa non esprime (e neppure fa trasparire) il fatto che, anche dopo il processo di emancipazione, rapporti tra i due tipi di indagine hanno continuato a sussistere e sono andati in entrambe le direzioni: dalle scienze alla filosofia e dalla filosofia alle scienze.

2. Dalle scienze alla filosofia

Questo 'verso' della direzione appare con particolare chiarezza proprio nel caso per così dire più avanzato di affrancamento dalla filosofia, il caso della fisica. Fin dall'inizio Galileo si impegna in una ricerca che investe non solo problemi di natura sperimentale e matematica (le sensate esperienze e le necessarie o certe dimostrazioni), ma anche questioni in senso lato filosofiche quali, per esempio, che cosa studiare, come studiare quel qualcosa e come parlarne. In lui, modalità di descrizione linguistica, principi di metodo e convinzioni teorico-ontologiche sulla natura dell'oggetto d'indagine sono intrecciate a questioni scientifiche in senso stretto. E Newton, nei suoi *Principia mathematica*, accanto ai temi fisici e matematici affronta problemi metodologici e 'metafisici' come, per esempio, quello se spazio e tempo abbiano carattere assoluto oppure relazionale e relativo. Nel corso dei secoli successivi questa componente 'filosofica' della disciplina diverrà sempre più marcata tanto che, a un certo punto, si dovrà constatare che la fisica, oltre ad essersi 'accaparrata' molti degli argomenti tipici della filosofia, aveva anche costretto quest'ultima a modificare alcuni dei suoi presupposti di fondo.

Si pensi, per esempio, a ciò che è avvenuto con la relatività e la meccanica quantistica. Entrambe le teorie hanno prodotto un'alterazione del quadro filosofico precedente, e da un duplice punto di vista. Anzitutto, hanno affrontato 'in prima persona' questioni speculative fondamentali come appunto la natura dello spazio e del tempo, oppure la struttura causale del mondo, oppure ancora le ipotesi sulle origini e il divenire dell'universo. In secondo luogo, contestando la validità assoluta, a priori, di interi settori del sapere tradizionale (la geometria euclidea, o il determinismo causale o alcuni principi della logica classica), hanno provocato la crisi di teorie filosofiche di ampia portata come la concezione kantiana dei giudizi sintetici a priori. Per non dire dei risultati dell'etologia, che hanno condotto Konrad Lorenz a elaborare una teoria biologica dell'a priori alternativa a quella di Kant.

Per tale ragione, nei primi decenni del Novecento, a chi lamentava l'assenza nel nostro tempo di grandi filosofi Adolf Harnack rispondeva che questo rammarico non aveva ragion d'essere. Di grandi filosofi, infatti, ce ne erano ancora, solo che non andavano più cercati nei Dipartimenti di Filosofia, ma in quelli di Fisica e rispondevano ai nomi di Einstein, Planck, Heisenberg, ecc. [15, p. 51]. Il che equivaleva a dire che, negli ultimi secoli, la filosofia non soltanto aveva perduto alcune delle sue province di maggior significato, ma per molti versi era stata addirittura 'rimpiazzata' da quelle delle sue ex-province che erano meglio sviluppate. I progressi delle scienze naturali erano stati di tale portata che una ricerca speculativa seria non poteva in alcun modo prescindere dalle loro conquiste.

Gli empiristi logici – da sempre particolarmente sensibili al rapporto con la scienza – finiranno per auspicare e per tentare di fondare una filosofia 'intessuta' dei risultati delle scienze particolari. Riprendendo e approfondendo una tesi di Helmholtz, Moritz Schlick dirà persino, nell'*Allgemeine Erkenntnislehre* (1918, 1925²), che la filosofia na-

sce allorché il discorso scientifico viene condotto fino alle sue estreme conseguenze e che tale radicalità può essere posta in atto dallo scienziato stesso se questi si trova nella situazione di star trasformando le basi della propria disciplina [16, p. 21 e ss.]. Così è avvenuto, per esempio, a Einstein allorché ha elaborato la teoria della relatività. Se di lui si può parlare come di uno 'scienziato-filosofo' non è perché, o non è solo perché, egli amava 'filosofeggiare' sulla scienza, ma perché 'filosofeggiava' mentre faceva scienza e proprio per farla! Non per niente, discutendo nel 1921 del significato filosofico della teoria della relatività, un altro (futuro) empirista logico, Hans Reichenbach, dirà che lo scopo suo e di pensatori a lui vicini quali Schlick non era quello «di incorporare la teoria in qualche sistema filosofico», bensì «di formularne le conseguenze filosofiche indipendentemente da qualsiasi punto di vista e assimilarle come parte permanente della conoscenza filosofica» [12, p. 44].

3. Dalla filosofia alle scienze

Tuttavia, i rapporti fra i due ambiti disciplinari non sono andati sistemandosi, sul piano storico, a tutto e solo vantaggio della scienza. Anche negli ultimi secoli, la speculazione filosofica ha continuato ad influire, e profondamente, sugli sviluppi delle scienze. Anzitutto, l'atteggiamento critico che è tipico di essa è stato un ingrediente fondamentale di alcuni tra i più significativi momenti di trasformazione e di crescita dell'impresa scientifica. Da questo punto di vista gli esempi sono numerosissimi e meritano di essere indicati con una certa ampiezza.

Il caso più interessante è costituito, ancora una volta, dalla genesi e dallo sviluppo della teoria della relatività. Einstein, infatti, ha dichiarato più volte che non avrebbe potuto giungere alle sue 'rivoluzionarie' idee sullo spazio e sul tempo (con tutto ciò che ne è conseguito a livello filosofico) se non avesse compiuto un'analisi empiristico-operazionale della nozione di simultaneità a distanza 'modellandola', per così dire, sia sulla critica di Hume alla causalità e all'induzione sia su quella di Mach ai concetti di spazio, tempo e moto assoluti. Su tale analisi si è innestato poi l'influsso di un'altra componente filosofico-epistemologica centrale nel suo discorso, e cioè l'opzione convenzionalista di Poincaré (e, per certi versi, di Duhem) che gli è di guida, oltre che nel formulare la teoria speciale della relatività, in quella discussione dei rapporti fra geometria ed esperienza che sta al centro della relatività generale [15, p. 8 e ss., 12, p. 623 e ss.]. Si noti, inoltre, che tanto l'atteggiamento critico-operativo quanto il convenzionalismo – i quali per altro, come specificherò tra breve, non esauriscono la dimensione filosofica del lavoro scientifico di Einstein – saranno un elemento propulsore anche dei primi passi della meccanica quantistica. Incideranno infatti in modo decisivo, insieme all'idea che è la teoria a determinare ciò che può venir osservato, sul percorso seguito da Heisenberg per arrivare a formulare il principio di indeterminazione.

Un altro esempio rilevante si può trovare nell'Italia del Novecento. Qui, a partire dagli anni Trenta, il matematico Bruno de Finetti ha elaborato una concezione della probabilità di tipo soggettivista. Considerata inizialmente poco plausibile, con il passa-

re degli anni, o meglio dei decenni, tale concezione è divenuta una delle più importanti teorie di riferimento nel dibattito internazionale odierno, tanto che le carte definettiane sono state acquisite dall'Università di Pittsburgh e collocate negli Archives of Scientific Philosophy accanto a quelle di molti altri esponenti della cosiddetta 'filosofia scientifica' del secolo scorso (Ramsey, Carnap, Reichenbach, Hempel, Feigl, Salmon).

Ebbene, alla base della teoria di de Finetti stanno due tipi di acquisizioni concettuali: alcune sono di natura matematica, legate a importanti teoremi come quello di Bayes, ma alcune sono di natura filosofica. Per giungere alla sua nozione della probabilità come grado di fiducia soggettivo nel verificarsi di certi eventi, de Finetti si serve di ciò che aveva appreso dalla lezione dei filosofi pragmatisti Giovanni Vailati e Mario Calderoni, ossia che

una definizione valida di una grandezza avente senso (dal punto di vista metodologico, pragmatista, rigoroso) [...] non va costruita su più o meno vani o lambiccati giri di parole, ma deve essere *operativa*, cioè basata sull'indicazione degli esperimenti – sia pure esperimenti concettuali – da eseguire per ottenerne la misura [4, p. 172 e ss.].

Il grado di fiducia soggettivo mediante cui de Finetti caratterizza la probabilità è appunto numericamente valutabile facendo riferimento al rischio che si è disposti a correre accollandosi, o non accollandosi, una scommessa (o una serie di scommesse composte) effettuata nel rispetto della condizione logica di coerenza (indispensabile per evitare scommesse di tipo 'olandese', ossia scommesse il cui risultato sarebbe una perdita certa da parte di colui che incautamente le accettasse).

Ma la filosofia ha influito sugli sviluppi del pensiero scientifico anche per quanto attiene agli aspetti di contenuto. Pure in questo caso gli esempi che si potrebbero citare non sono pochi. Il più eclatante è forse costituito dalla nascita delle geometrie non-euclidee. Come è noto, la costruzione di sistemi geometrici di questo tipo è stata fra le principali ragioni della crisi che ha colpito concezioni filosofiche tradizionali basate sull'evidenza intuitiva di alcune verità logiche e matematiche, e quindi sulla loro validità universale e necessaria (pensiamo, per esempio, alla concezione kantiana delle matematiche come insiemi di giudizi sintetici a priori). Meno noto è però che uno di coloro i quali hanno di più contribuito alla costruzione e alla rigorosa sistemazione matematica delle geometrie non-euclidee, Bernhard Riemann, ha operato sotto l'influsso non solo della teoria delle superfici curve del suo maestro Gauss – il 'principe dei matematici' – ma anche del filosofo Herbart.

Se si va a leggere la fondamentale opera di Riemann *Sulle ipotesi che stanno alla base della geometria*, si può constatare che essa si apre con la distinzione fra varietà discrete e varietà continue. Alle varietà continue appartengono lo spazio e il tempo, ma questo spazio e questo tempo non sono più concepiti, kantianamente, come intuizioni, e più precisamente come intuizioni formali pure a priori, bensì come concetti secondo il modo difeso da Herbart contro Kant. In particolare, lo spazio diviene un concetto il

quale comprende sotto di sé una molteplicità di spazi possibili (euclideo e non euclideo). Ed è appunto sulla base di tale mutata prospettiva filosofica che Riemann riesce a trattare il problema delle grandezze continue in tutta la sua generalità, e a concepire la possibilità di una molteplicità infinita di spazi, di cui quello euclideo è solo un caso particolare (seppure il più significativo).

Lo sviluppo di queste dottrine matematiche è stato una componente essenziale del passaggio dalla fisica newtoniana alla teoria della relatività generale. E oggi, a circa un secolo dalla nascita delle idee relativiste, è ancora vivace e serrato il dibattito (scientifico e filosofico insieme) sia sul problema della conoscenza a priori, sia sulla natura dello spaziotempo – dibattito nel quale si fronteggiano opzioni teoriche diverse che vanno dall'assolutismo al relazionalismo, dal realismo al relativismo, dal convenzionalismo all'oggettivismo, dall'apriorismo all'empirismo.

Un discorso analogo potrebbe essere fatto per le discussioni sull'interpretazione della meccanica quantistica, ove tra l'altro giocano un ruolo importante il ricorso alle logiche non classiche e le controversie sulla stessa natura della logica, in particolare sulla semantica dei mondi possibili. Recentemente, poi, si è aperto un nuovo fronte: quello del dibattito sul valore oggettivo delle teorie nel quale si fa uso di nozioni come simmetria e invarianza che trovano sostegno sia in aspetti delle teorie fisiche più recenti, sia nelle concezioni filosofiche elaborate da Ernst Cassirer nella prima metà del Novecento (e in altre simili). Come si vede, in tutti questi casi il lavoro di analisi e di scavo vede partecipi, sia pure con modalità e finalità anche diverse, studiosi di entrambi gli ambiti disciplinari.

Un altro rilevante esempio del ruolo attivo svolto dalla ricerca filosofica nel rapporto con la scienza è stato offerto, proprio in questi ultimi decenni, dal problema del riduzionismo. Quando si sente dichiarare, poniamo, che gli stati mentali sono riducibili a stati cerebrali, oppure che le affermazioni della biologia sono riducibili a quelle della chimica e quest'ultime, a loro volta, a quelle della fisica, tutte queste tesi non solo rimandano a conoscenze empirico-fattuali appartenenti alle discipline da ridurre e/o riducenti (cioè la psicologia, le neuroscienze, la biologia, la chimica e la fisica), ma pongono pure il problema della nozione stessa, generale, di riduzione. Cosa si deve intendere per riduzione di una disciplina ad un'altra, di un dominio di conoscenze ad un altro? Parliamo di riduzionismo epistemologico, di riduzionismo ontologico o di tutti e due? E quali strumenti entrano in gioco in un'opera di riduzione? Le questioni appena menzionate non sono di natura esclusivamente scientifica; sono questioni di interesse e di competenza anche filosofici [6]. Questioni, tra l'altro, che in molti casi la filosofia, a sua volta, può essere in grado di affrontare solo servendosi della logica. È infatti nella logica, come oggi viene sviluppata, che troviamo strumenti formalmente raffinati atti ad analizzare le relazioni interteoriche, comprese quelle utili per elaborare una teoria della riduzione.

Di più. La logica può anche servire a stabilire quali rapporti intercorrano tra teorie cronologicamente successive vertenti su quello che pare essere un medesimo dominio di fenomeni. Per molto tempo si è accettato in modo abbastanza pacifico che il sus-

seguirsi di teorie come la fisica aristotelica, la fisica galileiano-newtoniana e la fisica relativista andasse considerato come un passaggio da strutturazioni concettuali più specifiche ad altre di maggiore generalità. Le teorie che precedono, cioè, sarebbero state per così dire conservate, o inglobate, in quelle che seguono come loro casi particolari, i quali valgono sulla base di condizioni più restrittive, e quindi per domini più limitati di fenomeni. In tale prospettiva, per esempio, la teoria della relatività ristretta va sì oltre la fisica classica, ma al tempo stesso sancisce la validità di quest'ultima per velocità relativamente piccole rispetto alla velocità della luce.

Alcuni epistemologi e storici della scienza hanno però qualificato come semplicistico questo modo di guardare al mutamento scientifico. Al suo posto, hanno avanzato la famosa tesi della incommensurabilità, secondo la quale teorie di ampia portata come quelle sopra citate devono essere considerate non già concezioni inglobabili le une nelle altre, ma costruzioni intellettuali implicanti un diverso modo di costituire la realtà. Quando, per l'intervento di una rivoluzione scientifica, i paradigmi mutano – è arrivato a osservare Kuhn – bisognerebbe dire che è il mondo stesso a mutare con loro [5, p. 139]. Ebbene, un modo per cercare di evitare conclusioni tanto drastiche ed estreme (e tutti i problemi che pongono per l'oggettività e la validità delle affermazioni scientifiche!) è proprio la messa a punto di modelli logico-formali che chiariscano le possibili relazioni fra le varie teorie. E mi pare quasi inutile aggiungere che tutte le discussioni che ho citato fin qui, compresi i dibattiti in filosofia della mente e nelle neuroscienze sulla validità delle tesi riduzioniste e eliminativiste, difficilmente potranno ricevere risposte che prescindano dalle risposte che diamo al problema filosofico della natura della conoscenza e di quanto e come possiamo conoscere.

4. La dimensione teorica

E con ciò sono già entrato nel vivo dell'altra prospettiva da cui guardare alla relazione fra scienza e filosofia, la prospettiva teorica. A proposito della quale non si può non partire dal famoso detto di Einstein secondo cui

il rapporto reciproco fra epistemologia e scienza è molto importante. Esse dipendono l'una dall'altra. L'epistemologia senza contatto con la scienza diventa uno schema vuoto. La scienza senza epistemologia – se pure si può concepirla – è primitiva e informe [15, p. 629].

Le parole di Einstein esprimono in modo mirabile il fatto seguente: gli aspetti storici del rapporto scienza-filosofia – quelli di cui fin qui ho parlato – non sono che l'espressione di caratteristiche per così dire 'strutturali' di tale rapporto, quanto meno nella forma che esso ha assunto finora. Sembra proprio, insomma, che una valenza filosofica sia inerente o intrinseca alla natura di molti risultati scientifici e che ciò faccia sì che quei risultati siano un importante fattore di stimolo per le indagini della filosofia. D'altra parte, proprio nella misura in cui le scienze si rendono autonome e addirittura invadono terreni già di esclusiva pertinenza filosofica, esse continuano a nutrirsi in vario modo della disciplina 'spodestata'.

A me pare assai significativo, per esempio, che i due ricercatori italiani ai quali si deve la scoperta dei neuroni specchio (sulla cui base possiamo meglio comprendere il problema dell'intersoggettività) abbiano ripetutamente dichiarato di essere stati, loro malgrado, 'trascinati' nel campo della filosofia. Oppure che dallo studio della struttura dei mutamenti scientifici di tipo più radicale (quelli che molti chiamano 'rivoluzionari') sia emerso che quei mutamenti comportano la messa in questione, il superamento e infine la sostituzione dei presupposti teorico-filosofici – da alcuni chiamati 'metafisici' – del paradigma rimpiazzato. E si badi che di questo fatto pure un filosofo come Heidegger, per il quale «la scienza non pensa», ha mostrato di essere consapevole [9]. Insomma, diversamente da ciò che è stato talvolta suggerito, la filosofia non si trova solo nelle 'pieghe' del discorso scientifico; essa può trovarsi anche nelle parti costitutive delle teorie scientifiche e nelle loro implicazioni!

5. Le tensioni tra scienza e filosofia

Proprio allora, però, tra i due ambiti disciplinari nascono le tensioni più aspre, tensioni che si avvertono con particolare acutezza in paesi come il nostro, che non possono vantare una robusta tradizione epistemologica alle proprie spalle. Fra i non pochi ostacoli che rendono difficile intesa e interazione mi limiterò a indicarne, qui, un paio dei più significativi.

Tanto per cominciare, ci sono difficoltà di origine diciamo così 'sociologico-culturale' sulle quali tornerò anche in sede conclusiva. Molti scienziati, infatti, giudicano la filosofia senza conoscerla abbastanza e, d'altro canto, molti filosofi hanno il vezzo di pronunciarsi su una scienza (sentita per lo più come nemica) della quale possiedono un'immagine quasi sempre generica per non dire imprecisa e talvolta persino caricaturale. Soprattutto in Italia, troppi di coloro che lavorano in campo filosofico tengono in scarso conto i versi di Giacomo Noventa, «Un poeta pol far de note zorno, Un filosofo nò ...» anche quando si addentrano nei territori della logica, o della fisica, o delle neuroscienze. E ciò produce risultati per più versi deplorabili, mentre, in passato, proprio i filosofi hanno talvolta contribuito a rimuovere ostacoli che stavano se non impedendo, quantomeno ritardando l'affermarsi di una teoria scientifica. Si pensi, per esempio, al peso avuto negli anni Venti dal giovane filosofo della fisica Hans Reichenbach nel patrocinare la causa della teoria relativista con i brillanti interventi oggi raccolti nel volume *Defending Einstein* [13].

In secondo luogo – e questo è un problema di natura per così dire 'sostanziale' e quindi ben più importante del precedente – non sempre si ha sufficiente consapevolezza di un fatto in realtà assai semplice: e cioè che scienziati e filosofi, pur potendo avere qualcosa o anche molto in comune, procedono pur sempre secondo metodologie e interessi propri, alquanto differenti fra loro. Per un filosofo, contano soprattutto l'analisi dei concetti e la ricerca di prospettive tendenzialmente 'totalizzanti'. Consideriamo, per esempio, una dottrina logica come la teoria delle descrizioni definite di Bertrand Russell. Sarebbe impossibile capirne genesi e sviluppo senza tener conto dei problemi

filosofici che assillavano il suo autore negli anni dei *Principles of mathematics*; ed è difficile comprendere il deciso orientamento di Russell verso una certa soluzione piuttosto che altre (e cioè quella di dare un valore di verità a enunciati contenenti sintagmi nominali che non designano, anziché le soluzioni prospettate da Frege e da Hilbert) se si prescinde dal suo desiderio squisitamente filosofico di eliminare, o quanto meno di limitare, le compromissioni platonistiche dei discorsi matematici e comuni.

Viceversa, per uno scienziato conta soprattutto la 'crescita' della propria disciplina. Così ad un matematico starà a cuore, in primo luogo, lo sviluppo della matematica, indipendentemente da eventuali gravami ontologici di tipo astratto e, caso mai, dalle contraddizioni logiche che potrebbero derivare da un eccesso di platonismo (almeno nella misura in cui queste contraddizioni non intralciano il lavoro sul campo). Se poi prendiamo un cultore di questa o quella scienza empirica, per lui conteranno più di tutto i dati di esperienza, le prove logicamente e matematicamente fondate, il vaglio attento di congetture circoscritte o circoscrivibili. Inoltre, sempre forte sarà la sua speranza di trovare soluzioni tali da evitare il ricorso a congetture e ipotesi che vadano oltre gli elementi di fatto al momento disponibili. *Hypotheses non fingo*, dichiarava Newton, anche se poi di ipotesi ne faceva pure lui, e per di più assai impegnative, come risulterà in seguito dalle analisi epistemologiche di Mach, Poincaré, Duhem e, in qualche modo, dello stesso Einstein.

Un altro esempio significativo di tale (relativa) eterogeneità di interessi è dato dal dualismo fra *immagine scientifica* e *immagine manifesta* del mondo, dualismo sottolineato, nell'ultimo cinquantennio, soprattutto da Wilfrid Sellars. L'astronomo Arthur Eddington, all'inizio di un suo celebre lavoro, aveva dichiarato che, per scrivere il proprio saggio, si era seduto davanti ai suoi due tavoli: il tavolo di quella che poi Sellars chiamerà immagine manifesta, costituito da pezzi di legno dotati di certe proprietà visibili e connessi in determinati modi, e il tavolo dell'immagine scientifica, secondo la quale, come ci dice la microfisica, esso è uno sciame di elettroni governato da leggi. A differenza di quanto avviene per gli scienziati (o per la maggior parte di essi) che non hanno particolari motivi per occuparsi di tale dualismo, per un filosofo è assai rilevante comprendere, poniamo, se dobbiamo rassegnarci all'esistenza di esso oppure se vi è un senso in cui si può continuare a dire che, nonostante la diversità dei due tipi di immagini, quello davanti a cui ci sediamo è un unico e medesimo tavolo.

Per approfondire l'argomento possiamo ricorrere di nuovo ad Einstein, e in particolare al celebre passo in cui egli presenta il proprio atteggiamento di 'opportunismo metodologico' dicendolo tipico di chi svolge ricerca scientifica rispetto a chi pratica la filosofia. Nello stesso testo in cui compare il detto citato poco fa che una scienza senza epistemologia è primitiva e informe e una epistemologia non fecondata dal contatto con la scienza è vuota, Einstein subito dopo aggiunge:

Ma non appena l'epistemologo, nella sua ricerca di un sistema chiaro, riesce ad aprirsi la strada verso di esso, è portato a interpretare il contenuto di pensiero della scienza secondo il suo sistema, e a rifiutare tutto ciò che al suo sistema

non si adatta. Lo scienziato, però, non può spingere fino a questo punto la sua esigenza di una sistematica epistemologica. Egli accetta con riconoscenza l'analisi concettuale epistemologica; ma le condizioni esterne, che per lui sono date dai fatti dell'esperienza, non gli permettono di accettare condizioni troppo restrittive, nella costruzione del suo mondo concettuale, in base all'autorità di un sistema epistemologico. È inevitabile, quindi, che appaia all'epistemologo sistematico come una specie di opportunista senza scrupoli: che gli appaia come un *realista*, poiché cerca di descrivere il mondo indipendentemente dagli atti della percezione; come un *idealista*, perché considera i concetti e le teorie come libere invenzioni dello spirito umano (non deducibili logicamente dal dato empirico); come un *positivista*, poiché ritiene che i suoi concetti e le sue teorie siano giustificati *soltanto* nella misura in cui forniscono una rappresentazione logica delle relazioni fra le esperienze sensoriali. Può addirittura sembrargli un *platonico* o un *pitagoreo*, in quanto considera il criterio della semplicità logica come strumento indispensabile ed efficace per la sua ricerca [15, pp. 629-30.].

A mio modo di vedere, c'è molta verità in queste parole. E proprio perciò quando ci si avventura in problematiche che sono di interesse tanto della scienza quanto della filosofia bisognerebbe fare grande attenzione a non partire con il piede sbagliato. Tanto per cominciare, i filosofi dovrebbero guardarsi dal dare valutazioni del lavoro scientifico sulla base delle loro pur legittime esigenze di sistematicità ed esaustività. Non astenersi da tali valutazioni significa rendere un cattivo servizio a entrambe le discipline. La filosofia, infatti, verrà costantemente messa a rischio di sonore smentite scientifiche; la scienza si troverà ad essere giudicata sulla base di richieste di tipo normativo che – se prese sul serio – non potranno non tradursi nella imposizione di assurde limitazioni alle direzioni in cui la ricerca scientifica può muoversi.

D'altra parte, è altrettanto importante che gli scienziati evitino di riconoscere legittimità alle riflessioni della filosofia sulla scienza solo nella misura in cui tali riflessioni portino la filosofia a occuparsi di specifici problemi scientifici con l'intento di contribuire alla loro soluzione. Gli scienziati, in altre parole, dovrebbero saper accettare che la filosofia ha scopi di chiarificazione e di ricostruzione che sono suoi propri. Per esempio, è più che ovvio che uno scienziato, per svolgere il suo lavoro, non abbia bisogno di interrogarsi preliminarmente sulla possibilità della conoscenza e tanto meno di elaborare un'articolata risposta allo scetticismo. Ma è assai poco sensato inferire da ciò (come alcuni scienziati fanno ed anche – ahimé! – qualche filosofo) che il problema dello scetticismo sia privo di ogni importanza concettuale e che trattarne non possa recare alcun contributo utile allo sviluppo delle conoscenze. Nel dare una risposta a quel problema, o nell'elaborare una migliore formulazione dell'istanza scettica, i filosofi possono mettere in movimento idee non prive di interesse anche per lo scienziato. Non è una questione che possa essere decisa a priori. Del resto, non è stato il fisico Einstein a riconoscere – come ricordavo poc'anzi – di aver subito l'influsso dell'analisi humeana della causalità e dello «scetticismo incorruttibile» con cui Mach aveva condotto la sua

analisi storico-critica della meccanica?

Si potrebbe perfino aggiungere che la diffidenza dello scienziato verso l'esigenza di sistematicità caratteristica di buona parte del lavoro filosofico può anche scaturire, talvolta, dalla volontà di lasciarsi 'mano libera' nell'affrontare questioni scientifiche assai spinose. Quando teorizzava il suo opportunismo metodologico, Einstein pensava soprattutto alle controversie in cui restano impigliati i filosofi; ma si potrebbe osservare – con un pizzico di malizia – che quell'opportunismo gli era assai funzionale nella battaglia che egli stava allora conducendo in favore del realismo e del determinismo causale («Dio non gioca ai dadi») contro l'interpretazione della meccanica quantistica data dalla scuola di Copenhagen. Esponenti di quella scuola quali Bohr e Heisenberg, per sostenere il proprio antirealismo e indeterminismo, non avevano esitato ad appellarsi anch'essi alla componente operazionista dell'atteggiamento che Einstein aveva adottato quando aveva formulato la teoria della relatività ristretta. E ciò, sebbene poi essi avessero temperato il loro operazionismo con una buona dose di razionalismo, ossia avessero detto (continuando ad attenersi ad altre indicazioni einsteiniane) che è la teoria a determinare ciò che può essere osservato. Così, proprio allo scopo di fronteggiare le posizioni di Copenhagen, Einstein aveva dichiarato – appunto 'opportunisticamente' – che un bel gioco non poteva essere ripetuto, ossia 'giocato', più di una volta; il che significava pure, fuor di metafora, che egli riteneva improprio che si cercasse di 'inchiodarlo', per ragioni di sistematicità e coerenza, a una posizione metodologica (l'operazionismo) assunta una volta per tutte. Germi dell'anarchismo metodologico di Paul K. Feyerabend sono già chiaramente presenti nell'opportunismo einsteiniano.

6. Aree di intersezione tra scienze e filosofia

Premesso, quindi, che gli atteggiamenti e gli interessi di fondo di scienziati e filosofi sono del tutto legittimamente anche diversi, vorrei fare ora alcune osservazioni sulle aree di intersezione tematica tra le due discipline, o più precisamente tra la filosofia e le varie scienze. Per limitarmi agli aspetti più generali, direi che sono soprattutto due le 'zone' in cui l'opera di elucidazione analitica e di ricostruzione (più o meno) sistematica dell'epistemologia e della filosofia in genere si incontra, in modo (più o meno) diretto, con il lavoro proprio dell'indagine scientifica.

Chiarificazione epistemologica e nozioni del discorso scientifico – Un primo terreno d'incontro è offerto da tutte quelle tematiche che rientrano nel campo della filosofia della scienza. Tali tematiche, naturalmente, non sono di interesse *immediato* per lo scienziato. Per esempio: tanto lo scienziato quanto il filosofo della scienza si interessano di spiegazioni scientifiche, di leggi di natura e di teorie; ma certamente l'interesse primario dello scienziato è arrivare alla formulazione di esse e a scoprire connessioni nomologiche tra i fenomeni; quello del filosofo della scienza, invece, è chiarire che cosa si debba intendere per spiegazione scientifica, per legge di natura e per teoria, caso mai con un occhio rivolto al tentativo (squisitamente filosofico) di indicare possibili differenze fra una costruzione teorica di tipo scientifico e una concezione di natura

metafisica [1, 3, 11].

Un altro piano di convergenza tematica – e un piano, tra l'altro, potenzialmente 'scabroso' – è costituito dallo studio epistemologico e dall'eventuale formulazione di criteri riguardanti la conferma induttiva e il valore probatorio degli esperimenti. Dico potenzialmente scabroso perché l'analisi condotta dal filosofo della scienza può anche sfociare nella messa in questione delle credenziali di scientificità di una teoria (si pensi allo spinosissimo caso della psicoanalisi) o delle modalità secondo cui un esperimento scientifico è stato condotto. È di particolare interesse, per esempio, la discussione sul valore probatorio degli esperimenti di Benjamin Libet. Questi, studiando il rapporto tra l'esperienza cosciente e l'attivazione di certe zone cerebrali, è giunto a risultati che comporterebbero, per alcuni, quantomeno una limitazione del ruolo tradizionalmente assegnato al libero arbitrio.

La filosofia può inoltre occuparsi di nozioni che intervengono tanto nel discorso filosofico quanto in quello scientifico. Per esempio, nel momento attuale anche la filosofia della mente oltre alla scienza sta dando il proprio contributo alla comprensione di fenomeni complessi quali la natura della coscienza e degli stati mentali, e quindi al tentativo di rispondere a problemi assai antichi come la contrapposizione tra materialismo e spiritualismo, tra dualismo e monismo (esistenza di due entità sostanziali autonome: la mente e il corpo, o esistenza di una sola di esse?), tra determinismo e libertà del volere, tra riduzionismo e anti-riduzionismo (riducibilità degli stati soggettivi a stati cerebrali o ineliminabilità degli stati qualitativi o *qualia*? – vedi, per esempio, [6]).

Tutte queste indagini comportano il rinvio non semplicemente a fatti, scoperte, ipotesi e teorie scientifiche, ma anche alla chiarificazione, costruzione e ricostruzione di alcune nozioni chiave della filosofia. Prendiamo, per esempio, la tesi dell'identità fra stati soggettivi e stati cerebrali. Per sostenerla al meglio non si dovrà disporre solo di conoscenze empirico-fattuali le quali mostrino che il verificarsi di uno stato di coscienza (per esempio, la sensazione di rosso) si accompagna alla attivazione, secondo certe modalità, di ben precise terminazioni nervose o zone cerebrali. Si dovrà anche sapere come vada intesa la nozione di identità nell'affermazione di carattere generale (e per certi versi generico) che gli stati soggettivi sono identici a stati cerebrali. Si tratta di un'identità di occorrenza (*token*) o di tipo (*type*)? Di un'identità necessaria o di una meno impegnativa coestensività empiricamente accertabile? In altri termini, asserendo quella identità, intendiamo dire che gli stati soggettivi sono *essenzialmente* stati cerebrali, qualunque cosa ciò realmente significhi, oppure soltanto che a un certo stato soggettivo corrisponde, come dato di fatto empirico, uno stato cerebrale? E in quest'ultimo caso, la coestensività che asseriamo è una coestensività 'condensabile' in una generalizzazione empirica o è una coestensività che può essere ricavata da una teoria complessa della vita mentale e cerebrale? Si noti inoltre, a proposito di quest'ultima possibilità, che un precedente interessante lo si può trovare nella fisica per quanto riguarda l'equivalenza empirica fra massa pesante e massa inerte. Questa equivalenza infatti, con l'avvento della teoria della relatività generale, può essere ricavata deduttivamente dai principi alla

base della teoria stessa.

Un altro caso notevole è rappresentato dalla nozione di simultaneità a distanza nella teoria della relatività ristretta. Ho già detto che nella memoria del 1905 Einstein, prendendo le mosse da un'analisi operativa, stabilisce la necessità di introdurre alcune definizioni e convenzioni. Ebbene, uno dei principali argomenti poi dibattuti da scienziati e filosofi (valgano per tutti i nomi di Eddington e Reichenbach) è quello che segue: nella relatività ristretta e in quella generale è presente o no, accanto alla componente empirica, una componente di tipo convenzionale? Nel caso della relatività ristretta, la discussione ha riguardato lo statuto da riconoscere all'assunzione einsteiniana che stabilisce la simultaneità fra eventi spazialmente distanti, ossia l'assunzione che nelle condizioni fisiche opportune i tempi di andata e di ritorno di un segnale luminoso sono uguali, ovvero ancora, nella simbologia oggi adottata, che ϵ è uguale a $\frac{1}{2}$. Quello che si è tentato di chiarire attraverso il dibattito è se, in questa particolare teoria, vi sia o non vi sia spazio per assunzioni diverse rispetto a quella standard adottata da Einstein e appena richiamata ($\epsilon = \frac{1}{2}$). Nel 1977 il filosofo della fisica David Malament, allievo di un altro importante epistemologo, Howard Stein, ha dimostrato che in essa vi sarebbe spazio per una sola relazione di simultaneità, ossia appunto per quella standard. Nel 1999 il risultato di Malament è stato contestato da Sahotra Sarkar e John Stachel. Sviluppando un suggerimento dello stesso Einstein, costoro hanno mostrato che il teorema di Malament «comporta un'assunzione fisica non garantita» rimossa la quale anche *all'interno* della relatività speciale sarebbero possibili relazioni diverse di simultaneità tali da garantire – così essi hanno sostenuto – un margine di scelta convenzionale [7, 14, 2, 10].

7. Analisi filosofica e lavoro scientifico. Il problema dello specialismo

Il dibattito sul teorema di Malament e sui problemi di carattere più ampio che esso solleva è ancora in corso, ma mi pare che quanto fin qui avvenuto possa comunque insegnarci tre cose importanti sui rapporti fra filosofia e scienza.

La prima di queste cose è la seguente: muovendo da una preoccupazione tipicamente filosofica come quella del tasso di convenzionalità presente o non presente in una teoria scientifica, è possibile chiarire meglio la strutturazione interna di questa stessa teoria e individuare gli eventuali presupposti più generali e astratti su cui essa riposa. Tali presupposti, spesso, sono dati come ovvi e non vengono problematizzati. Viceversa, il portarli alla luce può risultare di notevole interesse per lo sviluppo scientifico. Talvolta, infatti, proprio l'esplicitazione dei presupposti 'taciti' di una teoria assurta a punto di riferimento consolidato congiunta alla riflessione critica su di essi conduce – con o senza l'emergere di nuovi dati di esperienza – all'elaborazione di teorie nuove dotate di una adeguatezza e di una portata empirica superiori.

Il secondo insegnamento riguarda, invece, i potenziali vantaggi per la filosofia. La questione della convenzionalità o meno di certi principi scientifici si lega strettamente a problemi quali quello del valore conoscitivo delle teorie scientifiche e quindi di quale

sia il rapporto fra le nostre rappresentazioni teoriche e la realtà (problema del realismo). E tutte queste tematiche, a loro volta, si connettono alla cosiddetta sottodeterminazione empirica delle teorie, cioè all'idea che l'accettazione di una teoria scientifica non sia determinata in modo univoco dai dati di esperienza, ma dipenda pure da opzioni di natura convenzionale. Il dibattito che, a partire dalle prime discussioni sulla relatività, ha condotto al, e seguito il, teorema di Malament mostra con chiarezza che la tradizionale controversia sul valore oggettivo della conoscenza può uscire dalla genericità e dall'approssimazione da cui per lunghissimo tempo è stata caratterizzata, e trovare un solido aggancio a problemi concreti e specifici di filosofia della fisica. Problemi, cioè, che possono essere trattati con lo stesso rigore logico, matematico e per così dire fattuale con cui sono trattate le questioni scientifiche.

Credo che gli scienziati, nella fattispecie i fisici, farebbero bene a non guardare con troppa sufficienza a tematiche filosofiche di questo genere. Da esse possono discendere conseguenze di notevole importanza sul posto e il valore da riconoscere alla scienza nel quadro della cultura umana. Non si dimentichi che, per 'abbassare' i concetti scientifici a pseudoconcetti, Croce si servì proprio di una certa lettura – che in buona parte era un fraintendimento [8, cap. 2] – delle tesi sul valore oggettivo della scienza avanzate da scienziati-epistemologi quali Mach e Poincaré. E si pensi alla rilevanza della medesima questione per l'attuale dibattito (motivato essenzialmente da preoccupazioni religiose) circa la validità dell'evoluzionismo darwiniano o per il senso epistemologico da attribuire al 'caso Galileo' (un senso che mi sembra essere stato trascurato in alcune recenti, e talvolta assai solenni, riconsiderazioni dell'argomento).

Il terzo insegnamento riguarda, infine, il tema oggi cruciale dello specialismo. Per i rapporti fra filosofia e scienza questo fenomeno può costituire un ulteriore fattore di disturbo del tipo che prima ho chiamato 'sociologico-culturale'. Per certi versi lo specialismo può essere considerato uno dei mali del nostro tempo, anzi uno dei più temibili perché è un male necessario e inevitabile, connesso all'avanzamento, e alla possibilità stessa di ulteriore avanzamento, delle nostre conoscenze. Inoltre, se comporta pericoli per ogni tipo di disciplina, in quanto rende sempre più difficile collocarla in un'idea globale del momento culturale che stiamo vivendo, esso costituisce una vera e propria minaccia per la filosofia che per sua vocazione originaria tende a vedute quanto più possibile ampie e generali. Eppure, discussioni come quella sul posto delle convenzioni entro una teoria scientifica mostrano, a mio parere, che proprio lo sviluppo dello specialismo può attenuare i mali provocati dallo specialismo stesso. Cercherò di mostrare brevemente come.

Più di una volta, quando ho tenuto conferenze sugli argomenti di oggi, mi sono sentito obiettare: sì, certo, di principio è possibile e sarebbe assai utile sviluppare più stretti rapporti tra filosofia e scienza, ma per farlo in modo non dilettantesco si dovrebbero avere serie competenze in entrambi i campi: e questo è difficile a realizzarsi a causa della sempre maggiore specializzazione delle discipline sia scientifiche sia filosofiche. Vero. Ma a me pare, come dicevo, che un rimedio possa venire proprio da tale fatto.

L'importante sarebbe riuscire a realizzare, per così dire, una circolarità virtuosa tra le varie specializzazioni, come quella che è nata appunto nelle discussioni sulle implicazioni filosofiche della teoria della relatività. Certo, un fisico interessato a studiare quella teoria può legittimamente scegliere di disinteressarsi del tutto dei problemi su cui verte il teorema di Malament; così come altrettanto legittimamente può disinteressarsene un filosofo che si occupi, in generale, della tradizionale caratterizzazione della conoscenza come 'credenza vera giustificata'. L'essenziale però è che poi, se e quando tanto il fisico-fisico quanto il filosofo-filosofo passano a parlare, anche solo a livello giornalistico e divulgativo, del valore conoscitivo delle teorie scientifiche o della contrapposizione tra realismo e strumentalismo, lo facciano sapendo che risultati come quello di Malament esistono. La correttezza di un teorema come il suo può essere vagliata sia dal fisico-fisico che per qualche ragione abbia deciso di pronunciarsi su questioni di natura filosofica, sia da quei fisici che nutrono per così dire stabilmente interessi epistemologici, sia, infine, da filosofi della fisica come Malament, ed a tutti costoro, ma specialmente a questi ultimi filosofi della fisica 'specializzati' potrà fare utile riferimento il filosofo 'generalista', il nostro filosofo-filosofo, che abbia sentito il bisogno di estendere i suoi interessi fino a questo problema.

È da un simile incrocio di competenze specialistiche serie che può nascere qualcosa di buono per sviluppare i rapporti tra scienza e filosofia. Oggi, forse, si comincia anche in Italia a fare qualche passo in tale direzione per quanto riguarda un argomento culturalmente (e mediaticamente) 'caldo' come la teoria dell'evoluzione. E ciò fa intravedere qualche speranza pure per un paese come il nostro finora poco permeabile alle modalità di approccio appena indicate e tradizionalmente vocato, invece, a una 'tuttologia retorica' che sembra vivere al contrario di un 'incrocio di incompetenze'.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Boniolo, G., Dorato, M. (a cura di), *La legge di natura. Analisi storico-critica di un concetto*, McGraw Hill, Milano 2001.
- [2] Calosi, C., *Minimality, geometry and simultaneity*, *Iris*, in corso di pubblicazione.
- [3] Casamonti, M., *Le leggi di natura. Per un'interpretazione epistemica*, Guerini e Associati, Milano 2006.
- [4] de Finetti, B., *La logica dell'incerto*, a cura di M. Mondadori, Il Saggiatore, Milano 1989.
- [5] Kuhn, T. S., *The structure of scientific revolutions* (1962), trad. it., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969.
- [6] Lanfredini, R. (a cura di), *Mente e corpo. La soggettività fra scienza e filosofia*, Guerini e Associati, Milano 2003.
- [7] Malament, D., *Causal theories of time and the conventionality of simultaneity*, *Noûs*, 11 1977, pp. 293-300.
- [8] Parrini, P., *Filosofia e scienza nell'Italia del Novecento. Figure, correnti, battaglie*, Guerini e Associati, Milano 2004.
- [9] Parrini, P., *La scienza come ragione pensante*, in *Pianeta Galileo 2008*, A. Peruzzi (a cura di), Consiglio regionale della Toscana, Firenze 2009, pp. 235-242.
- [10] Parrini, P., *Epistemological conventionalism beyond the geochronometrical problems*, in M. De Caro, e R. Egidi (a cura di), *Architecture of theoretical and practical knowledge. Epistemology, agency, and sciences*, Carocci, Roma (in corso di pubblicazione).
- [11] Peruzzi, A., *Modelli della spiegazione scientifica*, Firenze University Press, Firenze 2009.
- [12] Reichenbach, H., *Der gegenwärtige Stand der Relativitätsdiskussion* (1921), trad. it. dalla versione inglese con alcune omissioni, *Lo stato attuale della discussione intorno alla teoria della relatività*, in Reichenbach, H., *L'analisi filosofica della conoscenza scientifica*, Marsilio, Padova 1968, pp. 11-65.
- [13] Reichenbach, H., *Defending Einstein. Hans Reichenbach's writings on space, time, and motion*, S. Gimbel e A. Walz (a cura di), Cambridge University Press, Cambridge 2006.
- [14] Sarkar, S., Stachel, J., *Did Malament prove the non-conventionality of simultaneity in the special theory of relativity?*, *Philosophy of Science*, 66, 1999, pp. 208-19.
- [15] Schilpp, P. A. (a cura di), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (1949), trad. it., *Albert Einstein, scienziato e filosofo*, Einaudi, Torino 1958.
- [16] Schlick, M., *Allgemeine Erkenntnislehre* (1918, 1925²), trad. it., *Teoria generale della conoscenza*, Angeli, Milano 1986.

KANT E LA MATEMATICA*

ALBERTO PERUZZI

Università di Firenze

1. Introduzione

Nato nel 1724 e morto nel 1804, Immanuel Kant è noto per essere il filosofo del “criticismo”, teorizzatore della “rivoluzione copernicana” in filosofia e ideatore del metodo “trascendentale” come strumento per fondare l’oggettività delle scienze naturali; è colui che ha visto nel motto *Sapere aude!* l’espressione degli ideali illuministici ed è anche il padre del temibile “imperativo categorico” in ambito morale.¹ Kant ha ipotizzato che l’origine del nostro sistema solare sia dovuta a un processo di accorpamento da una nube di gas e polveri, così come ha elaborato una complessa teoria estetica che distingue il bello dal sublime. Ha affrontato i più diversi argomenti ma è stato, in particolare, e non poteva evitare di esserlo, un filosofo della matematica, alla quale ha dedicato pagine che tutt’oggi fanno discutere.

Della matematica Kant ha trattato in vari scritti, ora parlandone in generale ora entrando in dettagli anche minuti. Nel corso degli anni è tornato più volte su uno stesso tema, precisando il senso delle sue osservazioni in merito. Qui, per semplicità espositiva, conviene privilegiare la più famosa, fra le opere in cui Kant ne parla, anche se non è un testo che entra in dettagli di carattere matematico. Questo testo è la *Critica della ragion pura*, che uscì in prima edizione nel 1781 e in seconda (rivista e ampliata) nel 1787. Che uno ne condivida o no le tesi, l’impianto o le specifiche argomentazioni, la *Critica della ragion pura* è uno dei più importanti testi filosofici che siano mai stati scritti. In quest’opera viene esposta una filosofia della matematica che differisce, per più aspetti, da tutto quanto era stato scritto prima al riguardo e soprattutto differisce dai modi in cui si parlava della matematica ai tempi di Kant.

Aritmetica e geometria fanno parte della matematica e il carattere delle conoscenze aritmetiche e geometriche è inteso da Kant come paradigmatico per tutta la matematica. Ora, qual è la natura delle verità che s’incontrano in aritmetica o in geometria? Ci vuole poco a rendersi conto che attribuiamo loro uno status diverso da quello delle verità logiche, da quello delle verità fisiche e da quello delle verità filosofiche. Come esempio di verità logiche Kant avrebbe addotto il principio di identità (*ogni cosa è uguale a se stessa*) e il principio di non-contraddizione (*non è possibile che sia vera la proposizione p e sia vera la proposizione non-p*); come esempio di verità fisica, avrebbe

* Lezione tenuta a Massa il 5 novembre 2009, presso il Teatro dei Servi, nell’ambito dell’edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

addotto il secondo principio della dinamica newtoniana ($F = ma$); e come esempio di verità filosofica? Be', qui si poteva discutere ... essendoci scarso accordo fra i filosofi, ma di sicuro avrebbe potuto addurre le proposizioni filosofiche argomentate da lui stesso nella *Critica della ragion pura*. A ogni modo, le verità filosofiche – ammesso che ci siano e qualunque esse siano – sono generalmente considerate diverse da quelle della matematica. D'accordo, direte, ma cos'è che contraddistingue le verità matematiche rispetto a tutte le altre?

Questo è, appunto, uno dei problemi che Kant si pone. Per affrontarlo, mette in campo la sua impostazione generale, incentrata, prima che sulla verità o no di un'asserzione riguardo a qualcosa, sulla conoscenza che ne abbiamo, la quale fonda tale asserzione. Innanzitutto, Kant rileva che ci sono tipi diversi di *conoscenza* e, per l'esattezza, ce ne sono tre: una conoscenza di tipo puramente razionale, cui il nostro intelletto arriva per conto suo senza bisogno d'altro che saper comporre e scomporre i concetti; una conoscenza di tipo empirico, che ha bisogno di osservazioni ed esperimenti; e una conoscenza intuitiva che è al contempo conoscenza a priori, ovvero non-ricavata da esperienze. In quale di questi tre tipi di conoscenza rientra la matematica? Kant argomenta che la conoscenza matematica non rientra nei primi due tipi di conoscenza: non è un prodotto del puro razio-cinio e non è neppure ricavata da dati empirici. Dunque resta solo una possibilità: che la matematica sia intuitiva e a priori e, conseguentemente, le verità che in essa si trovano avranno uno status molto particolare.

Vediamo più da vicino come fa ad arrivarci e cerchiamo di precisare il senso di quest'idea, cominciando con alcuni esempi che aiutano a capire la differenza che c'è tra due tipi fondamentali di verità.

Verità di tipo 1

I pianeti sono pianeti.

I gatti bianchi sono bianchi.

I cassetti pieni non sono vuoti.

I corpi sono estesi.

Verità di tipo 2

I pianeti sono nove.

Alle ore 11 del 16 ottobre 2009 non è caduto un fulmine sul Ponte Vecchio.

I cassetti della mia scrivania sono pieni.

I corpi sono pesanti.

Nel gergo filosofico, le verità di tipo 1 si chiamano “analitiche” e le verità di tipo 2 “sintetiche”. Le proposizioni di tipo 1 sono dette analitiche perché risultano vere in base alla sola analisi dei concetti. Per esempio, l'essere bianco è una proprietà “analitica” dei gatti bianchi, perché nel concetto di *gatto bianco* è già incluso il concetto di *bianco*: basta analizzare i componenti del concetto di *gatto bianco* per rendersi conto che esso si scompone in *gatto* e in *bianco*. Riferita alle proposizioni di forma soggetto-predicato, l'idea di Kant è che analitiche sono quelle verità in cui il concetto espresso dal predi-

cato è già *contenuto* nel concetto espresso dal soggetto. Kant dice, più brevemente, che i giudizi analitici sono quelli in cui “il predicato è contenuto nel soggetto” (parla di “giudizi” e non di “proposizioni”, ma ai nostri fini non è essenziale la precisazione della differenza). Sintetiche saranno, di conseguenza, le proposizioni in cui quando si pensa il soggetto non è detto che si pensi anche il predicato.

Fin qui è emersa una differenza fra due tipi di *verità*. Alla differenza tra analitico e sintetico se ne aggiunge un'altra, riguardante i due modi possibili di *conoscere* una qualsiasi verità. Ci sono infatti le verità note a priori e le verità note a posteriori.

Le verità a priori sono necessarie, cioè, hanno la seguente caratteristica: è impossibile che loro negazione sia vera. Dunque, sono incontrovertibili. L'esempio di Kant è proprio *I corpi sono estesi*, cioè, tutti i corpi, in quanto materiali, occupano necessariamente un volume di spazio: il concetto di essere esteso è già implicito nel concetto di corpo, dunque non può esserci un corpo che sia inesteso.

Le verità a posteriori sono, invece, contingenti: è possibile che la loro negazione sia vera, anche se di fatto sono vere. Dunque le verità a posteriori sono controvertibili.

Incrociando la prima distinzione con la seconda abbiamo quattro possibili classi di verità:

	A priori	A posteriori
Analitiche	Tipo 1
Sintetiche	Tipo 2

Per come si sono impostate le cose, tutte le verità di tipo 1 risultano a priori, ma non danno alcuna informazione sul mondo. Anche se m'inventassi una nuova specie di animali, i *grublodandi*, potrei dire *I grublodandi monogami sono grublodandi* e la dovrei considerare una verità analitica, senza con ciò sapere se al mondo ci sono o non ci sono grublodandi, così come voi non siete tenuti a sapere se effettivamente è vero o no che i cassetti della mia scrivania sono pieni per poter riconoscere la verità di *I cassetti pieni non sono vuoti*.

Invece, tutte le verità di tipo 2 danno informazioni sul mondo, ma ... non sono *necessariamente* vere. Anche se è vero che i pianeti del nostro sistema solare sono nove (volendo considerare un pianeta anche Plutone), non era escluso che potessero essere otto, oppure dieci. Anche se il giorno ... non è caduto nessun fulmine sul Ponte Vecchio, poteva anche cadere, ecc.

Resta da stabilire cosa mettere al posto dei puntini nella prima e nella seconda riga della tabella. Nel caso della prima riga la soluzione è facile: se una verità è tale perché il

soggetto comprende già in sé il predicato, allora non c'è bisogno di fare alcuna osservazione. E viceversa: se per affermare una proposizione come vera c'è bisogno di fare osservazioni (dunque c'è bisogno di dati ricavati dall'esperienza), allora non può trattarsi di una verità analitica. Perciò, non esistono verità analitiche a posteriori. La classe delle verità analitiche a posteriori è vuota.

Nel caso della seconda riga, la soluzione non è facile. Esistono verità a priori non di tipo 1? Cioè, esistono verità sintetiche a priori? La risposta di Kant è: sì, esistono. E quali sono? Sono appunto le verità che si trovano in matematica, più i principi che stanno alla base della cinematica pura, più eventuali altri principi che stiano a fondamento di tutte le conoscenze che abbiamo della natura. Qui ci interessa solo la matematica e perciò non saranno considerate altre verità che quelle matematiche.

2. Il tempo e l'aritmetica

Per Kant, la matematica pura si articola in tre grandi aree: l'aritmetica, la geometria e l'algebra. In aritmetica si incontrano verità come $7 + 5 = 12$. In geometria, si trovano i teoremi dimostrati negli *Elementi* di Euclide. In algebra si trovano i metodi per risolvere vari tipi di equazioni. E l'analisi? Non è che Kant le riservi quell'attenzione che già alla metà del Settecento ci saremmo aspettato. Forse la collegava strettamente alla cinematica pura e a quella che oggi indichiamo come meccanica razionale. Comunque, le questioni che Kant pone intorno alle aree della matematica da lui esplicitamente considerate bastano e avanzano per mettere a fuoco l'idea che aveva della matematica. La sua tesi fondamentale è che le verità matematiche sono sintetiche a priori. La prima grande domanda è dunque: *perché le verità matematiche sono sintetiche a priori?* La risposta di Kant s'incentra su una fondazione epistemica della matematica, ovvero, sul ruolo che la matematica occupa nel sistema della conoscenza umana.

Ci sono due forme dell'intuizione: spazio e tempo. Alla struttura dello spazio corrisponde l'insieme di conoscenze che fanno parte della geometria; alla struttura del tempo corrisponde l'insieme di conoscenze che fanno parte dell'aritmetica. La struttura dello spazio potrà non essere esaurita dalla geometria e la struttura del tempo potrà non essere esaurita dall'aritmetica, ma sicuramente geometria e aritmetica colgono aspetti centrali delle rispettive strutture.

Che la geometria riguardi lo spazio non desta problemi. Che l'aritmetica riguardi il tempo, non è altrettanto scontato. Alla base dell'aritmetica ci sono i numeri. E alla base dei numeri c'è il processo del "contare", inteso come iterazione ricorsiva dell'operazione «aggiungere 1». Ora, un processo del genere – argomenta Kant – ha a che fare con una serie di passi *successivi*, dunque nel tempo. Il tempo, aveva detto Leibniz, è l'ordine della successione; e anche se Kant non sottoscriveva in tutto e per tutto la concezione leibniziana, intendeva il tempo come una totalità infinita, ordinata linearmente, di istanti che *si succedono* dal prima al poi. Per Kant la nozione di tempo è a priori, è presupposta da qualunque esperienza di noi stessi, non è un concetto bensì una forma dell'intuizione e, più specificamente, è "la forma del senso interno". Ciò che corrisponde a tale

forma è una totalità continua.

Queste proprietà ascritte al tempo non sono prese come assiomatiche o definitorie: sono argomentate nelle pagine dell'*Estetica*. Per accettarle o rifiutarle, bisognerebbe dunque entrare nel merito degli argomenti addotti da Kant. Non potendo entrare nel merito per ragioni ... di tempo, vi chiedo di prenderle come ipotesi.

Il ragionamento che ha condotto dalla nozione di numero alla nozione di tempo presuppone che ci si riferisca ai numeri naturali (\mathbf{N}), ottenuti a partire da zero aggiungendo un'unità alla volta. Si genera così una totalità *discrèta* – fra il numero n e il numero $n+1$ non c'è nessun numero naturale. Ma oltre ai naturali, ci sono gli interi (\mathbf{Z}), i razionali (\mathbf{Q}) e i reali (\mathbf{R}), che non si ottengono iterando l'operazione di «aggiungere 1», ma che possono disporsi tutti quanti in uno stesso ordine lineare. Già qui cominciano ad affiorare i problemi. Evitando di entrare in questioni tecniche, emergono due difficoltà fondamentali.

La prima difficoltà consiste nel fatto che Kant fonda sul tempo il concetto di numero che sta alla base dell'aritmetica, ma il tempo è un *continuo*, non qualcosa di *discrèto*. La seconda difficoltà è che, anche limitandosi ai numeri naturali, le verità dell'aritmetica non sono ricondotte da Kant a una lista finita di assiomi sulla nozione di numero, come invece le verità della geometria, che sono riconducibili agli assiomi (postulati) del sistema euclideo. La formulazione degli assiomi dell'aritmetica arriverà solo nell'Ottocento, con Dedekind e Peano. Se volessimo una corrispondenza adeguata tra il tempo come continuo e la nozione di numero, dovremmo affidarci non alla struttura dei numeri naturali, ma a quella dei numeri reali. Purtroppo, la nozione di numero reale non era chiara ai tempi di Kant, né lo era la nozione di continuità. Bisognerà aspettare Cauchy, Weierstrass, Cantor e ancora Dedekind per avere un quadro preciso.

Come si poteva rimediare in presenza di queste lacune? Un primo rimedio poteva consistere nel discretizzare il tempo. Dopotutto, il nostro senso della continuità potrebbe essere il risultato di una elaborazione analoga a quella che ci fa percepire un film invece di una sequenza *discrèta* di fotogrammi. La discretizzazione potrebbe piacere a uno psicologo, non però a chi vuole fare del tempo anche un concetto basilare della fisica, che era per Kant il modello di scienza e aveva in Newton il suo campione. La meccanica sfruttava la grandezza “tempo” come avente valori *reali*, dunque fin dall'inizio come qualcosa di *continuo*. Un secondo rimedio poteva essere quello di intendere “numero” in senso lato e non più unicamente come numero naturale. A questo proposito, Kant parla di “*arithmetica generalis*”, da associarsi a una teoria pura del tempo che include propriamente l'aritmetica come consuetamente intesa. In tal caso, però bisogna ammettere che i numeri non si ottengono iterando l'aggiunta di un'unità alla volta. Questo processo funziona solo per un tipo particolare di numeri – un tipo che non si capisce bene come isolare partendo dal tempo come continuo. Infine, un terzo rimedio poteva consistere nel puntare decisamente sulla *costruttività* dei ragionamenti sui numeri, in modo coerente con quanto Kant dice sul metodo matematico, da lui riconosciuto come essenzialmente diverso dal metodo filosofico, e anche in modo

coerente con la costruttività che attribuisce alle costruzioni geometriche. Adottando questo terzo rimedio, c'è però un prezzo da pagare, per comprendere il quale conviene prima illustrare quel che succede nel caso della geometria.

3. Lo spazio e la geometria

Kant individua una serie di caratteri che, congiuntamente presi, dovrebbero fornirci le proprietà intrinseche dello spazio: lo spazio è dato a priori, è presupposto da ogni intuizione di qualcosa di esterno, non è un concetto ma una forma dell'intuizione e, più precisamente, è la "forma del senso esterno"; infine, lo spazio è una molteplicità estesa, continua, infinita, omogenea ed isotropa.

Da tali caratteri si deducono i principi della geometria euclidea? La risposta è negativa. Nel caso del tempo, ci siamo ritrovati a dover passare dall'aritmetica alla teoria dei numeri reali (che non è ancora l'analisi). Supponendo di dover fare l'analogo per quanto riguarda il rapporto tra spazio e geometria, dovremmo passare dalla geometria alla... *topologia*. Kant fa riferimento a una "teoria pura dello spazio", come più comprensiva della geometria, ma non si sofferma a elaborarne i contenuti. In precedenza, Leibniz aveva parlato di *analysis situs*, come teoria degli aspetti più generali della "posizione" (si suppone: aspetti indipendenti dalle misure, dunque precedenti all'introduzione di una metrica). Si dovrà attendere Poincaré e Hausdorff per avviare lo studio della topologia; e questo avverrà un secolo dopo Kant. Tuttavia, Kant stesso pone una serie di quesiti che oggi riconosciamo appartenenti di diritto alla topologia.

Un primo quesito riguarda il concetto di *dimensione*. Perché lo spazio fisico è tridimensionale? Kant se lo chiede in relazione alla legge di gravitazione universale, secondo cui l'attrazione esercitata da un corpo sull'altro è direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che li separa. Un secondo quesito riguarda l'orientabilità, così come risulta da un saggio del 1768 che Kant dedica al problema degli oggetti enantiomeri, o enantiomorfi (il termine kantiano è "opposti incongruenti"): pensate, per esempio, alla mano destra e alla mano sinistra.

Quanto al primo quesito, Kant cerca di dimostrare che la legge di gravitazione universale implica la tridimensionalità dello spazio, ma non riesce a dimostrarlo e qualche anno dopo la pubblicazione della *Critica della ragion pura* ammetterà:

la stessa essenza reale dello spazio e del tempo e il fondamento primo per cui a quello convengono tre dimensioni, mentre a questo ne conviene una sola, ci sono imprescrutabili (Lettera a Reinhold, 12 maggio 1789).

Quanto al secondo quesito, già nel 1768 Kant aveva impostato l'analisi delle simmetrie e delle asimmetrie, che s'incontrano in natura, con l'intenzione di mostrare che una concezione relazionista dello spazio (come era quella di Leibniz) non può darne conto, senza con ciò avallare la tesi newtoniana circa l'esistenza di uno spazio assoluto, che resterebbe dopo aver tolto tutti i corpi, dotato di una serie di proprietà non meno assolute. La differenza tra una mano destra e una mano sinistra non è dovuta alle rela-

zioni tra corpi, ma l'esser una mano destra o sinistra non è neppure una proprietà "in sé" di una certa regione di spazio. E allora? Il criticismo gli offrirà una cornice per uscire da questo stallo: possiamo avere conoscenza soltanto dei fenomeni, e non del mondo come è in sé. Lo spazio (come pure il tempo) è il nostro formato-base per rappresentarci quel che è accessibile fuori di noi, non quanto sta sotto a ciò che è accessibile.

Restando all'ambito "metrico", ci sono due difficoltà:

- la prima difficoltà è dovuta alla successiva scoperta delle geometrie non-euclidee, relative a spazi a curvatura costante: la geometria iperbolica di Bolyai-Lobacevskij (curvatura negativa) e la geometria ellittica di Riemann (curvatura positiva), che si aggiungono alla geometria euclidea (corrispondente al caso di uno spazio a curvatura nulla);
- la seconda difficoltà è dovuta all'uso di una geometria non-euclidea da parte di Einstein nella formulazione della teoria generale della relatività.

La prima difficoltà è di natura puramente matematica, la seconda riguarda la fisica. Quanto alla prima difficoltà, è bene evitare un fraintendimento ricorrente. Kant non pensava che la geometria euclidea fosse l'unica logicamente possibile. Se avesse pensato questo, avrebbe dovuto dire che le verità della geometria (euclidea) sono analitiche. Invece ha detto che sono sintetiche. Egli stesso anticipa l'ipotesi di sistemi alternativi, ma respinge quest'ipotesi in quanto, anche se logicamente coerente, colliderebbe con la struttura a priori della nostra sensibilità. In breve: il carattere euclideo dello spazio è scritto nell'architettura del nostro sistema operativo. Alla fine dell'Ottocento, Poincaré conserverà l'idea che esistano verità sintetiche a priori sostenendo allo stesso tempo che l'adozione di una geometria piuttosto che un'altra è convenzionale, dunque libera, ma non arbitraria, nel senso che sarà scelta la geometria più semplice; e per lui la geometria euclidea è la più semplice in assoluto.

La seconda difficoltà è quella essenziale, perché la mera esistenza di sistemi geometrici alternativi, come curiosità matematiche mai utilizzate nella scienza della natura, non sarebbe bastata a mettere in crisi la concezione kantiana dello spazio. Se invece la fisica ha bisogno di una geometria non-euclidea, come si fa a dire che la geometria euclidea corrisponde al modo in cui ci rappresentiamo tutto ciò che è fuori di noi?

Anche qui un'avvertenza: la geometria usata nella relatività generale non è quella di uno spazio a curvatura costante non-nulla. Lo spaziotempo relativistico, allorché si tenga conto della gravità, ha una curvatura variabile, in funzione della stessa intensità del campo gravitazionale. Questo non significa ancora che si può ricavare per induzione, osservando e poi ancora osservando, quale sia la geometria "vera", ma certo non si può più dire che la geometria *vera* è fissata a priori una volta per tutte. C'è una famosa frase di Einstein che coglie il punto della questione: «Nella misura in cui le leggi della matematica si riferiscono alla realtà, non sono certe; e nella misura in cui sono certe, non si riferiscono alla realtà».

4. L'algebra

Dopo l'aritmetica e il suo rapporto problematico con il tempo, dopo la geometria e il suo rapporto problematico con lo spazio, dopo l'analisi e il non meno problematico silenzio di Kant al riguardo, resta l'algebra. In algebra non si parla esclusivamente di grandezze numeriche specifiche e non si ricorre a figure e diagrammi. Eppure, anche in algebra si eseguono *costruzioni* e, per Kant, la matematica è caratterizzata dal fatto di essere la disciplina in cui ogni concetto usato, se non è un primitivo intuito come tale, è accompagnato dalla sua costruzione. Ma quale tipo di costruzioni troviamo nell'algebra? Nella *Critica della ragion pura* (B 762) Kant afferma:

Lo stesso procedimento dell'algebra è una costruzione secondo caratteri.

Che cosa significa “secondo caratteri”? Leibniz aveva progettato una *characteristica universalis* come ideale ambiente simbolico in cui rappresentare la combinatoria di tutti i concetti. Il termine “carattere” qui è usato nello stesso senso in cui oggi parliamo dei caratteri a stampa: lettere, simboli, ideogrammi o quel che si vuole. In algebra si manipolano simboli, senza preoccuparsi che ciascuno di essi sia il nome di una specifica grandezza.

Posso capire $a^2 - b^2$ senza bisogno di sapere per che cosa stanno a e b . Anzi, posso trovare a che cosa si riferiscono certi simboli (quelli, come x , y , z , che stanno per le “incognite”) eseguendo una serie di passaggi algebrici — vedi i metodi per risolvere un sistema di più equazioni. Arrivo alle radici di un'equazione sfruttando le proprietà delle operazioni coinvolte (associatività della somma, distributività del prodotto sulla somma, ecc.) e individuando una formula risoltrice, che è la stessa in ogni caso, una volta fissato il grado di un'equazione. Sembra che in tutto ciò non ci sia alcuna intuizione a priori. Allora Kant si sarebbe sbagliato a dire che le verità matematiche trovano il loro fondamento in intuizioni a priori? Ma qui l'intuizione sta nella *costruzione per caratteri*, non nei caratteri, dunque sta nel cogliere le regole algebriche senza bisogno di sapere per che cosa stanno le x e le y .

Se si trattasse di una forma autonoma d'intuizione rispetto allo spazio e al tempo, allora Kant avrebbe potuto fare un piccolo passo in più e dirci che gli stessi principi *logici* si fondano su questo tipo d'intuizione. In tal caso, però, le verità logiche non sarebbero più analitiche, ma sintetiche. Invece, Kant non solo non fa questo piccolo passo in più, ma si guarda bene dal dire che si tratta di una forma autonoma d'intuizione. Dunque, resta solo una possibilità: che in algebra si sfruttano le risorse costruttive presenti in aritmetica e geometria, esercitandole però non più su grandezze numeriche o geometriche, ma su simboli che possono stare per arbitrarie grandezze. Sparito il gatto, si continua a vedere il suo sorriso, come in *Alice nel paese delle meraviglie*. È uno stratagemma di enorme efficacia, perché può essere di volta in volta iterato, conseguendo livelli di astrazione crescente che sfruttano sempre la stessa capacità di “costruire per caratteri”.

5. Alcune questioni conclusive

Nelle considerazioni precedenti sono implicite varie domande, e difficoltà, che portano fuori dal quadro kantiano e sulle quali ancor oggi si lavora, partendo dal diffuso riconoscimento che Kant ha sbagliato sul tale e talaltro punto, si è dimenticato di aggiornarsi e si è lasciato fuorviare dal modello newtoniano di scienza... Ci sono anche altre domande, e difficoltà, *sotto l'ipotesi che tutto sia a posto nella trattazione kantiana della matematica*. Per prima cosa, ciò significa supporre che ci siano tutti gli assiomi che servono. Anche supponendo questo, e già nel caso della geometria, ci rendiamo subito conto che non bastano i soli assiomi. Le conoscenze geometriche non si esauriscono nella lista degli assiomi (siano quelli euclidei o altri). Perché non si esauriscono? Sembra una domanda peregrina, ma segnala invece un problema fondamentale tanto per la matematica quanto per la filosofia.

Kant afferma (*Critica della ragion pura*, B 14):

I giudizi matematici sono tutti sintetici.

Molte pagine dopo, aggiunge (*ivi*, B 740):

La conoscenza filosofica è conoscenza razionale per concetti. La conoscenza matematica è conoscenza razionale per costruzione di concetti.

La prima affermazione (B 14) implica che anche una banale identità come $a = a$, nell'ambito del ragionamento matematico, non è più una verità analitica. Il motivo di ciò è indicato da Kant nel fatto che è coinvolta l'intuizione/costruzione di a . Se è così, allora sembra proprio che ci sia un problema interno al quadro kantiano, perché nel caso dell'algebra non si richiede di intuire le grandezze corrispondenti ai simboli. Anche trovando un modo per risolvere coerentemente questo problema, ne sorge subito un altro: Kant avrebbe dovuto bloccare ogni progetto, come quello leibniziano, di trattare algebricamente i concetti (un progetto poi ripreso sistematicamente da Boole), perché in tal caso una verità come *I gatti siamesi sono mammiferi* comporta una costruzione per caratteri e in tal caso sarebbe sintetica, mentre Kant l'avrebbe considerata analitica.

Lo sviluppo della logica matematica nel Novecento ha portato all'idea che sia possibile ridurre tutta la matematica a logica, sottintendendo che i principi logici *sono* analiticamente veri. Anche per Kant i principi logici sono analitici, ma la matematica non è riducibile a logica. Molti oggi sostengono che il progetto di riduzione della matematica a logica sia fallito e fra questi molti c'è anche chi contesta che i principi logici siano analitici. Chi lo contesta, tende a riproporre in veste nuova l'idea base di Kant. Perciò, a dispetto delle difficoltà che ho segnalato, la sua lezione non è morta.

La seconda affermazione (B 740) ci riporta a quanto detto sulle costruzioni geometriche e sulle manipolazioni algebriche di simboli, ma si applica anche agli specifici calcoli numerici. Il luogo dell'intuizione in matematica non è confinato a cogliere le nozioni primitive e le relazioni-base in cui stanno le une con le altre nozioni (relazioni espresse da assiomi). Ci sono da considerare anche le 'costruzioni' che si effettuano

all'interno delle teorie assiomatiche, in ogni ambito della matematica. E queste costruzioni riguardano tanto le *dimostrazioni* quanto le *definizioni*.

Il guaio è che, se prendiamo sul serio tale requisito kantiano, ne risente lo stesso pacchetto di schemi logici di cui ci serviamo per ragionare in matematica: ogni risultato matematico deve essere provato in maniera costruttiva. In tal caso, sono da escludere i risultati ottenuti ragionando per assurdo e dunque sfruttando il principio logico del terzo escluso: *per ogni proposizione p , o è vera p o è vera $\text{non-}p$* . Se infatti voglio affermare la verità di p , in matematica, devo provare p . Se non so provare p , non è detto che io sappia provare $\text{non-}p$. Dunque il requisito kantiano è molto selettivo. Per coerenza, Kant avrebbe dovuto respingere alcuni risultati della matematica del suo tempo che invece accettava in blocco come verità sintetiche a priori.

Infine, *ammettiamo* che ci siano conoscenze filosofiche. Allora esistono verità puramente concettuali, cui la ragione umana giunge senza bisogno di fare osservazioni ed esperimenti. In quanto puramente concettuali, queste verità dovrebbero essere analitiche. Ma se sono tutte quante analitiche, allora la filosofia si riduce a logica (più qualche bella definizione). Se ci sono conoscenze filosofiche che non sono soltanto logiche, allora quali sono? Kant era convinto che ci fossero. Erano le conoscenze raggiunte con un metodo speciale, cui dette il nome di “metodo trascendentale”.

Il metodo trascendentale è essenzialmente un metodo regressivo: da ciò che è dato a ciò che ne è la condizione di possibilità. Esempio: data la seconda legge della dinamica, che cosa dobbiamo presupporre per renderne possibile la conoscenza? Altro esempio: data la comune esperienza di oggetti intorno a noi, che cosa rende possibile quest'esperienza? Sono appunto domande “trascendentali” ed esigono risposte dello stesso tipo.

Le conoscenze matematiche sono, per Kant, a priori ma non sono trascendentali. Quelle filosofiche sono a priori e trascendentali, perché specificano le condizioni di possibilità del sapere matematico. Questa è una prima netta differenza tra filosofia e matematica. Ci sono anche altre differenze, che Kant descrive con chiarezza.

Ora, c'è un solo discorso filosofico che prescindendo dall'*uso* di nozioni di tipo spaziale e temporale? Se non è possibile prescindere, la differenza non può essere così netta come voleva Kant e allora sorge la questione se anche il discorso filosofico debba o non debba essere *costruttivo*. Direte che l'analisi filosofica non è in forma assiomatica come la geometria e, prima ancora, non è in simboli. Semmai, l'analisi filosofica è condotta *sui* sistemi assiomatici che si trovano in matematica e indaga cosa li rende possibili. D'accordo, ma tra le condizioni di possibilità c'è anche la *coerenza* (non-contraddittorietà) e l'indagine che porta a considerare se un sistema assiomatico sia coerente o no rientra oggi nella matematica ...¹

NOTE

¹ Per maggiori dettagli circa la concezione kantiana della matematica, mi limito a segnalare [1], [2] e [3].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Coffa, A., *La tradizione semantica da Kant a Carnap*, Il Mulino, Bologna 1991.
- [2] Friedman, M., *Kant and the exact sciences*, Harvard University Press, Cambridge (MA) 1992.
- [3] Peruzzi, A., *Dialoghi della ragione impura*, 3 voll., Aracne, Roma 2009-2010.

INTERVISTA A BAS VAN FRAASSEN*

DUCCIO MANETTI

Università di Firenze

SILVANO ZIPOLI CAIANI

Università di Milano

Bas Van Fraassen può certamente essere considerato uno tra i più importanti filosofi della scienza contemporanei. Erede e innovatore della tradizione empirista novecentesca, van Fraassen ha sviluppato a partire dagli anni ottanta una personale posizione epistemologica nota come “empirismo costruttivo”, riassunta nel suo celebre *The scientific image* (1980). Oltre a numerosi articoli e libri dedicati alla ricerca filosofica e scientifica (van Fraassen [4], [5], [7], [8], [9], [10]), van Fraassen ha pubblicato opere di letteratura e raccolte di racconti ([1], [2], [3]). Alla base della concezione epistemologica di van Fraassen si trova l’idea secondo la quale lo scopo della scienza è quello di “salvare i fenomeni” fornendo teorie *empiricamente adeguate*, ovvero sviluppando modelli e rappresentazioni in grado di catturare e descrivere la maggior quantità possibile di dati osservativi, senza valicare il limite della speculazione metafisica.

Con il suo empirismo costruttivo, van Fraassen si colloca tra i principali critici del realismo scientifico, preferendo una concezione prettamente osservativa della verità. Distinguendosi dalla precedente tradizione neopositivista, nella concezione di van Fraassen è presente una costante attenzione per il ruolo del carico teorico nella determinazione del dato osservativo, un atteggiamento che rimanda alla tradizione pragmatista americana, per l’enfasi posta da van Fraassen sulla ‘convenzionalità’ del criterio della semplicità esplicativa, come di quello della simmetria, assunti quali guide nel conseguimento degli scopi della scienza.

Van Fraassen è un pensatore che ha lasciato il segno, rappresentando un esempio di filosofo tra i pochi in grado di conciliare un’analisi epistemologica rigorosa con la competenza matematica e sperimentale di uno scienziato.

La Sua vita è caratterizzata da una continua interazione tra filosofia e scienza. Come ha sviluppato questo duplice interesse? È stato naturale riconciliare questi due approcci speso così in contrasto tra loro?

È iniziato tutto molto tempo fa, forse addirittura durante le scuole superiori. Il mio in-

* L’intervista è stata rilasciata il giorno 21 novembre 2009 a Firenze. Si ringrazia per la consulenza linguistica Livia Lentini.

contro con la filosofia è avvenuto si può dire per caso. Stavo lavorando part-time presso la biblioteca pubblica di Edmonton, in Canada; era un lavoro molto semplice e c'erano molti tempi morti in cui potevo semplicemente mettermi lì a leggere. C'erano libri di psicologia, psicoanalisi, yoga ... la filosofia. Era tutta un'unica sezione, e io leggevo di tutto. Un giorno – avevo 17 anni – ho preso un dialogo di Platone, il *Fedone* e ho capito subito che era qualcosa di totalmente diverso. È stato questo libro ad avvicinarmi e farmi appassionare davvero alla filosofia.

A quei tempi ancora non pensavo che sarei andato all'università, ma i professori a scuola iniziarono a incoraggiarmi in questa direzione. E quando decisi che effettivamente sarei andato all'università, mi chiesero cosa avrei voluto studiare. E io risposi: "Voglio studiare filosofia". I professori mi consigliarono di non farlo e mi dissero che l'industria non avrebbe certo pagato per quello: "Non porterai il pane a casa con la filosofia". Mi proposero di seguire un solo corso di filosofia all'università.

Nel primo anno di università la mia intenzione era quella di studiare filosofia, letteratura, psicologia, fisica e matematica. Ovviamente non potevo fare tutto. Quasi subito mi resi conto che il corso di psicologia che stavo seguendo non mi soddisfaceva. Il corso di filosofia era invece meraviglioso. Così decisi che avrei voluto diventare filosofo nonostante quello che avevano detto i miei professori del liceo.

Poi affiancai allo studio della filosofia quello della matematica e della fisica. Il problema era che stavo anche seguendo corsi di letteratura e avrei voluto tantissimo approfondire questa materia, ma per forza di cose dovette rimanere un interesse minore.

Chi, alla fine, mi ha portato a interessarmi al rapporto tra filosofia e scienza fu il mio professore di filosofia, che era un logico ed era interessato alla relazione tra filosofia e scienza, quindi fin dall'inizio, a partire dal primo anno di università, ho avuto qualcuno che mi ha guidato su questa strada.

Prima di iniziare a parlare del suo lavoro nel campo della filosofia della scienza, il suo articolo del 2004, *Transcendence of the Ego (The non-existent knight)* [Trascendenza dell'Ego (*Il cavaliere inesistente*)], dà l'opportunità di chiederle come è venuto in contatto con Italo Calvino.

Innanzitutto posso dire che ho conosciuto Italo Calvino qui a Firenze. La prima volta che venni a Firenze fu nel 1978, per un grande convegno dal titolo *Livelli della realtà*¹ organizzato da Massimo Piattelli Palmarini. Sia io che Italo Calvino intervenimmo, e c'erano molte altre persone, tra cui anche Grünbaum (il mio supervisore di tesi) e Hilary Putnam. Con quest'ultimo ho avuto uno scontro, il che era già successo varie volte.

Italo Calvino lesse alcuni brani; c'era la traduzione simultanea e rimasi molto colpito e affascinato dai suoi scritti. Più tardi andammo tutti a visitare il Corridoio Vasariano, che aveva aperto esclusivamente per noi del convegno. E mi ritrovai a parlare con lui, sua moglie e sua figlia. E nonostante Calvino fosse molto famoso, li ho trovati estremamente alla mano e disponibili al dialogo.

Poi, un paio di anni più tardi, un editore alla Yale University Press mi chiese di andare a Roma a incontrare Italo Calvino per parlargli della pubblicazione di alcuni suoi scritti. E così ebbi l'opportunità ancora una volta di parlargli. Ora sono un pochino imbarazzato a dirlo... ma in quell'occasione Calvino lesse una mia storia, e fu emozionante perché io ero un suo fan... Leggevo sempre tutto ciò che riuscivo a trovare scritto da lui. Sfortunatamente morì molto presto, e quindi non se ne fece nulla di quel progetto di pubblicazione.

Per quel che riguarda la relazione tra filosofia, scienza e letteratura, poco fa ho raccontato che quando ero studente dovetti lasciar perdere la mia ambizione di intraprendere la carriera letteraria, ma conservai questa passione, e di tanto in tanto ho tenuto corsi di filosofia della letteratura. E in un modo o nell'altro finivo sempre per parlare di Calvino.

Temi filosofici e letteratura credo che siano strettamente interconnessi tra loro in moltissimi modi. Sono convinto che ci siano cose in filosofia che si possono comprendere solo attraverso la letteratura, e cose che si possono capire solo attraverso la scienza. E credo che questi corsi di filosofia della letteratura siano tra i corsi più belli che abbia mai tenuto, proprio per l'incredibile entusiasmo degli studenti riguardo a temi così collegati tra loro.

EMPIRISMO

Nel Suo ultimo libro, *Scientific Representation*, Lei presenta in modo nuovo la visione 'empirica' della scienza. Per esempio, si nota una particolare attenzione alle pratiche scientifiche della sperimentazione e della misurazione. Qual è il motivo di questa speciale attenzione?

Posso capire perché me lo chiedete. La maggior parte del mio lavoro in filosofia della scienza è sempre stato su un livello molto teorico: teoria della relatività, meccanica quantistica, meccanica classica. Ma il mio orientamento è cambiato grazie all'influenza di mia moglie Isabelle Peschard.

Nel 2003 avevo pubblicato *The empirical stance*, Michel Bitbol mi chiese di venire a Parigi per una giornata in cui le persone discutevano sul mio libro e io avrei avuto la possibilità di rispondere. Michel è un filosofo della meccanica quantistica, ma è sempre stato orientato verso la comprensione della sperimentazione, non solo a livello teorico. E quello è stato il giorno in cui ho incontrato Isabelle, che più tardi è diventata mia moglie. Michael e Isabelle – entrambi lavoravano nello stesso istituto – mi convinsero che un'eccessiva attenzione per la filosofia della scienza rischiava di offuscare la reale pratica scientifica e la cruciale funzione del lavoro sperimentale. Decisi allora di occuparmi dei problemi legati alla misurazione, un tema che avevo già incontrato nel corso dei miei studi dato che il mio primo mentore era stato Hans Reichenbach.

Nella filosofia della scienza di Reichenbach è possibile riscontrare un problema centrale riguardante la coordinazione delle percezioni sensibili che possono essere misurate

all'interno di una data teoria fisica. Grazie a Michel e a mia moglie ho compreso che dovevo guardarmi indietro: avrei dovuto ripensare i problemi legati alla misurazione per poi rapportarli al tema più generale dell'osservazione empirica. Questo ha rappresentato una svolta nel mio percorso di studio.

Invece di occuparsi di “empirismo costruttivo”, come ha fatto in *The scientific image*, nell'ultimo libro Lei introduce la nozione di strutturalismo empirico, ritenendo che «la nostra conoscenza scientifica non sia altro che una conoscenza di strutture». Adottando quest'idea, secondo cui le teorie sono entità astratte/matematiche, Lei riconosce che il problema principale della posizione empirista è capire in quale modo entità astratte possano rappresentare qualcosa che astratto non è, come gli oggetti naturali. La Sua risposta suppone che un modello teorico sia rilevante perché costruito sulla base di risultati raccolti usando specifici criteri di rilevanza in un certo contesto storico. Questo sembra far eco, almeno in parte, alla posizione convenzionalista adottata da Reichenbach e da Grünbaum riguardo al problema della coordinazione tra geometria e spazio fisico. Vede qualche affinità tra la Sua posizione e le loro strategie?

Beh, mi state facendo due tipi di domande. In primo luogo esiste una relazione tra l'empirismo costruttivo e lo strutturalismo empirico, la versione empirica dello strutturalismo. Non credo che sia un sostituto, credo piuttosto si tratti di un'ulteriore elaborazione della posizione, ma è importante innanzitutto sottolineare che quanto detto a proposito dell'empirismo costruttivo ha essenzialmente lo scopo di delineare il fine della scienza, ovvero rappresentare i fenomeni osservabili, ottenendo modelli che siano empiricamente adeguati, il che significa in grado di rappresentare i fenomeni osservabili, magari per arrivare ad altro, ma sempre rispettando criteri di adeguatezza.

Lo strutturalismo, che si è sviluppato in Inghilterra tra gli anni Ottanta e Novanta come realismo strutturale (Warhol) insiste sul fatto che la rappresentazione teoretica è strutturale. Per me questa era un'idea nuova e naturalmente gli stessi strutturalisti si rifacevano ai primi del Novecento. Questo sviluppo è connesso molto ai lavori di Reichenbach, Poincaré e Duhem. Lo strutturalismo non è nato per favorire il realismo scientifico; al contrario, è qualcosa che era associato a quei tempi con questioni a carattere marcatamente empirico. Per esempio l'*Aufbau* di Carnap inizia dicendo che svilupperemo una visione *strutturalista* della scienza.

La questione è che ci sono stati molti problemi nei programmi strutturalisti e non era chiaro se i realisti strutturali sarebbero riusciti a risolverli. Ho sempre pensato che se lo strutturalismo fosse stato presentato di nuovo come era prima, cioè come un approccio empirico alla scienza, allora avrebbe sviluppato quella che io chiamo una visione semantica delle teorie. E ho sempre pensato che la visione semantica delle teorie fosse il naturale veicolo per un approccio empirico alla scienza. Ho notato che

hai detto ‘convenzionalista’; è vero che Reichenbach, Grünbaum e il Poincaré degli inizi davano molta importanza alle convenzioni, ma Reichenbach e Grünbaum non erano convenzionalisti così radicali come Poincaré. La nozione di ‘convenzione’ entra in gioco quando questi autori discutono la coordinazione tra proprietà teoriche e ciò che può essere misurato e notando che c’è una sorta di margine, tale che spesso bisogna integrare la forma del risultato della misurazione con alcune convenzioni per arrivare alla rappresentazione teorica.

In *Scientific representation* Lei introduce una distinzione tra fenomeni e apparenze, cioè tra le entità osservabili e i valori dei risultati delle misurazioni. Di conseguenza, un esperimento può essere considerato una procedura attraverso la quale certe apparenze sono rese esplicite. Poiché gli oggetti di una scienza empirica sono le apparenze, lo scopo della scienza diventa quindi quello di *salvare le apparenze* invece che quello di *salvare i fenomeni*?

Per me la risposta è NO. Assolutamente no. Ma questo è l’argomento su cui Michel Bitbol e Isabelle Peschard mi hanno dato molto da pensare, poiché loro appartengono a una tradizione più continentale-trascendentalista-kantiana, anche se ora in forma molto pragmatica. E al mio insistere che le apparenze suggeriscono l’esistenza di fenomeni osservabili e che ciò che la teoria riguarda sono proprio i fenomeni osservabili, loro rispondono «in questo modo diventi un realista metafisico». Ma io non sono d’accordo, dico che è semplicemente realismo di senso comune e che a parte tutti i modi in cui qualcosa mi può apparire: in una misurazione, vedendolo, o grazie a una sua immagine, quello è un oggetto osservabile e non può essere identificato con le apparenze. Ora, nel caso della meccanica quantistica diventa un po’ più difficile sottolineare questo fatto perché gli esperimenti sono stati progettati in modo tale che risulta difficile trovare una via di mezzo tra i processi postulati teoricamente e le apparenze, che sono i risultati delle misurazioni. Per questo, capisco che dire che c’è una via di mezzo possa suonare un’affermazione molto realista, specialmente per qualcuno come Michel Bitbol, che concepisce la meccanica quantistica in termini di come costruiamo le misurazioni e le sperimentazioni. Ma io insisto che quel qualcosa che c’è in mezzo è ciò che lo scienziato prepara per compiere le sue misurazioni. In questo senso rimango un realista, più precisamente mi considero un realista scientifico *di senso comune*.

L’idea che la scienza sia qualcosa che ha a che fare solo con strutture matematiche sembra essere basata su una visione tipicamente fiscalista dell’intera pratica scientifica. Come si rapporta lo strutturalismo empirico con altre discipline come la psicologia, le neuroscienze o la botanica?

Credo che in questo caso, quando voi dite “riduzione fiscalista”, intendiate qualcosa come riduzione alla fisica. Non negherò certo la particolare attenzione per la fisica. Ma, vedete, il fatto è che io faccio solo esempi con i quali mi sento a mio agio, e la mia

conoscenza delle altre scienze è minima rispetto agli esperti di queste materie. È per questo che i miei esempi prendono sempre spunto dalla fisica.

L'anno scorso ho avuto alcune discussioni con persone che partecipavano a un convegno. Loro sostenevano che quando un biologo parla di una cellula di sangue, per fare un esempio, il biologo intende riferirsi al nucleo, alla forma, e così via, senza mai tirare in ballo nozioni di matematica.

Io do un senso molto ampio al concetto di matematica: ritengo che si tratti dello studio delle strutture, non dei numeri. Nel caso di una cellula, i biologi hanno un modello topologico e una struttura topologica che riguarda la cellula, e hanno una dinamica. È vero che, in una disciplina scientifica, specialmente quando si analizzano i suoi stadi iniziali, si tratta principalmente di descrivere le *qualità* che contraddistinguono il proprio campo di studio. Ma anche se si guarda solo agli aspetti qualitativi di un oggetto, ciò che viene isolato per essere studiato è la struttura, e per me tutte le strutture sono matematiche.

Mi ricordo quando studiavo botanica al liceo. Avevamo un piccolo libro e dovevamo identificare dei campioni di fiori. Quanti petali? Qual è il colore dei petali? E il libro era organizzato in un modo talmente sistematico che ci permetteva di arrivare a dare un nome alla pianta che avevamo davanti. Questo libro presentava una struttura complessa e ben organizzata delle forme che le piante possono avere, e ciò che dovevamo fare era semplicemente situare il nostro campione nello spazio logico presentato nel libro, il che è in generale esattamente la stessa procedura che si applica durante una misurazione fisica.

Come colloca la Sua concezione dell'adeguatezza empirica in rapporto alla tradizione neo-positivista? Quali sono le affinità e le divergenze tra il suo approccio e quello dei neopositivisti?

Ebbene, dobbiamo ammettere che il loro modo di vedere le cose è cambiato molto tra il 1920 e il 1948. Mi riferisco in particolar modo alla svolta semantica che ha contraddistinto il movimento empirista da Carnap in poi. Penso che un simile atteggiamento appiattito sugli aspetti linguistici possa addirittura aver favorito lo sviluppo di alcune forme di realismo scientifico. Del resto, i neopositivisti furono criticati molto per la loro concezione della scienza, e le critiche dipendevano essenzialmente dal loro focalizzarsi sul linguaggio, in particolare sulla loro concezione delle teorie come costruzioni meramente linguistiche.

È stata la reazione a questo tipo di approccio a influenzarmi fin dall'inizio. Abbandonando l'analisi linguistica è stato possibile recuperare temi tipici della tradizione empirista. Credo che i neopositivisti puntassero seriamente alla definizione di una teoria empirista della conoscenza, ma durante il loro percorso si sono ritrovati in un vicolo cieco. Credo che a un certo punto abbiano imboccato la strada sbagliata. Anch'io sono sempre stato affascinato dallo studio del linguaggio e della logica; credo

ancora che vi sia molto da imparare da Carnap, ma allo stesso tempo credo occorra separare il mio percorso da quello dei neo-positivisti.

Facendo ancora riferimento alla Sua valutazione del ruolo dell'esperienza nella costruzione delle teorie scientifiche, ritiene che ciò possa portare alla definizione di un criterio di demarcazione tra ciò che può legittimamente essere considerato "scienza" e ciò che non può esserlo?

Non ne sono sicuro. Prendiamo, innanzitutto, la distinzione tra scienze che sono puramente teoriche e scienze che sono invece empiriche. Già a questo livello non sempre è facile tracciare una linea tra le due. Lo studio dei linguaggi antichi, ad esempio, è una disciplina teorica o empirica? Ovviamente anche in questo caso occorrono delle evidenze empiriche, dopodiché tutto il lavoro si svolge all'interno di un *frame* puramente teorico. Quando s'intende tracciare una linea tra ciò che è scientifico e ciò che non lo è non si ha di mira soltanto l'aspetto empirico. L'appellativo "scientifico" porta con sé anche un complesso di valori.

Cos'è un'impresa genuinamente scientifica? Non saprei rispondere a questa domanda. Mi trovo per lo più d'accordo con Feyerabend nel ritenere che la differenza tra uno scienziato e un ciarlatano non consiste nel contenuto delle loro ipotesi, ma in come queste vengono impiegate, nel modo in cui vengono maneggiate le evidenze, o le mancanze di evidenza, gli argomenti e i contro-argomenti. Non si tratta di una distinzione tra diversi contenuti teorici, ma di una differenza nella pratica, una differenza di cui è impossibile delineare accuratamente i contorni.

Qualche tempo fa ho incontrato una vecchia amica che lavorava alla Rutgers University. Adesso si occupa di scrivere inchieste e quello che mi ha raccontato e mostrato mi ha fatto riflettere. Da qualche tempo la mia amica segue l'operato di alcuni "ricercatori" a caccia di fantasmi nella città di New York. Il gruppo utilizza strumenti altamente tecnologici, come ad esempio telecamere a raggi infrarossi e cose del genere. Nel corso di una conversazione, mi ha mostrato anche alcuni filmati dove si intravedevano strani oggetti e figure in movimento. Non era chiaro cosa fossero; così ho detto alla mia amica che avrebbe dovuto suggerire ai suoi ricercatori di fare qualcosa affinché potesse essere esclusa l'ipotesi che quelle immagini fossero semplicemente viziate da dei riflessi sullo strumento. Per questo sarebbe bastato impiegare nella ricerca più di una telecamera piazzata in punti diversi in modo da ottenere immagini da angolazioni diverse. Questo avrebbe permesso di capire se quelle strane figure erano dovute a riflessi o a veri e propri oggetti nello spazio. Ma, come ebbe modo di raccontarmi successivamente, l'atteggiamento dei ricercatori di fantasmi di fronte a quella proposta fu del tutto negativo. Il loro metodo non seguiva esattamente tutti gli stessi principi comuni alla ricerca scientifica. Il fatto che la loro attività richieda l'utilizzo di apparecchiature altamente tecnologiche lascia pensare che il loro metodo sia raffinato. Eppure non sembra essere così.

Esiste una linea di confine incerta tra ciò che è scienza e ciò che non lo è, ma allo stesso tempo sembra possibile individuare casi in cui l'assenza di carattere scientifico risulta palese.

REALISMO

Nel suo ultimo libro Lei sostiene che l'esame di un modello teorico isolato, indipendentemente da un più ampio contesto metodologico non permette di discriminare se si tratti o no di una rappresentazione del mondo. Seguendo la sua analisi, le rappresentazioni scientifiche non sono semplici relazioni binarie tra strutture formali e mondo, quanto invece relazioni ternarie in cui trovano collocazione le strutture astratte, i fenomeni e anche le prassi d'uso. Sembra inevitabile leggere in questo un richiamo alla tradizione pragmatista.

Sì, credo che vi sia una connessione. Il pragmatismo ha certamente influenzato lo sviluppo delle correnti empiriste in America. Occorre notare innanzitutto il ruolo di Peirce, James e Dewey riguardo all'importanza della pratica per la formazione della conoscenza. Ma non si deve dimenticare neanche la figura di Charles Morris, una figura non certo di primo piano nel contesto della filosofia americana dell'epoca, ma al quale va il merito di aver scritto un importante capitolo dedicato al linguaggio all'interno della così detta *Enciclopedia delle Scienze Unificate*. In quell'occasione Morris introdusse un'acuta distinzione tra sintassi, semantica e pragmatica destinata a fare scuola. La sintassi si occupa della forma del linguaggio, la semantica del rapporto tra le parole e gli oggetti, mentre la pragmatica contiene in sé la relazione tra la parola, gli oggetti e l'utilizzatore del linguaggio. Credo che l'idea di prassi mi sia giunta proprio grazie a Morris e alla sua concezione del linguaggio. Fin dai miei primi lavori ho insistito sul fatto che le costanti semantiche non sono altro che delle astrazioni a partire da forme pragmatiche, nel senso che il rifermento non è altro che un'astrazione derivante dall'uso di qualcosa impiegato per indicare qualcos'altro.

Per tornare al campo della ricerca scientifica, possiamo dire che al fondo del rapporto che lega una teoria con il proprio oggetto di studio, i fenomeni, si trova un modello sviluppato dagli scienziati a partire dalle misurazioni grezze allo scopo di rappresentare l'esperienza. La questione è quale relazione lega il modello ai fenomeni? L'unico modo per descrivere questo rapporto è facendo riferimento alle pratiche d'impiego di coloro che utilizzano il modello.

Prendiamo come esempio una mappa, un caso tipico di modello: la sua relazione con i fenomeni dipenderà sempre dai modi con cui viene impiegata. Poniamo che per puro caso una mappa dei monumenti di Firenze potesse andar bene anche come rappresentazione della posizione di alcune stelle all'interno di una galassia. Cosa rappresenterà quella mappa? Di cosa sarà il modello? Nient'altro che il suo impiego può determinarlo. Non credo si possa comprendere la natura delle rappresentazioni in modo diverso.

Lei non ha mai nascosto le sue riserve rispetto all'uso del ragionamento abduttivo in difesa di una concezione realista delle teorie scientifiche. Va detto che il modello inferenziale abduttivo è certamente caratteristico non solo del pensiero scientifico, ma anche di quello comune. Ogni giorno facciamo ricorso a ragionamenti abduttivi per inferire l'esistenza di oggetti ed eventi che non siamo in grado di percepire direttamente. Può chiarirci meglio la sua posizione riguardo alle possibilità d'impiego di questo modello di ragionamento? Possiamo distinguere tra diversi impieghi?

Certo, com'è noto, ho un approccio piuttosto negativo rispetto al modello di ragionamento abduttivo. Vorrei iniziare avanzando qualche riserva riguardo alla vostra seconda affermazione per cui «il modello inferenziale abduttivo è certamente caratteristico non solo del pensiero scientifico, ma anche di quello comune». Non credo che questo corrisponda al vero.

Indubbiamente, si possono trovare molti esempi in cui ricorre l'impiego di una forma di ragionamento abduttivo, ma questi potrebbero essere ridescritti anche attraverso il ricorso a modelli inferenziali diversi. In alcuni casi, certi esempi di abduzione possono semplicemente essere ricondotti a semplici esemplificazioni del *modus ponens*: “se vedo impronte di topo allora c'è un topo, vedo impronte di topo; quindi c'è un topo”. In questo caso non faccio altro che utilizzare un condizionale ordinario. Certo, esistono anche casi in cui questa equivalenza non è così evidente, sono disposto a riconoscerlo, ma anche per descrivere queste circostanze più complesse non occorre fare affidamento a forme di ragionamento abduttivo.

Crede possibile individuare almeno un esempio genuino di abduzione?

No

Nel suo libro *Laws and symmetry* viene difesa la tesi secondo la quale non esistono leggi di natura nè motivi per credere che esistano. Secondo quanto sostiene, con il supporto di numerosi esempi tratti dalla storia della scienza, un ruolo cruciale nello sviluppo della conoscenza scientifica è rivestito dal concetto di simmetria. Può chiarire come tale concetto si è imposto quale criterio di riferimento all'interno della comunità scientifica? Qual è, secondo Lei, la giustificazione epistemica della sua affidabilità?

Occorre innanzitutto fare una distinzione tra quello che s'intende assumendo un principio di simmetria anziché uno di natura. Un argomento che faccia leva su rapporti di simmetria non è altro che una forma di ragionamento deduttivo in grado di estrarre una conseguenza efficiente ed elegante. Ma si tratta pur sempre di un ragionamento deduttivo. Pertanto, le conseguenze tratte dal suo impiego sono sempre qualcosa già contenuto nelle premesse. La simmetria è uno strumento matematico molto potente,

in grado di sfruttare al meglio le nostre doti d'immaginazione: si appoggia sulla sensazione che il riscontro di una relazione di simmetria sia indice di profondità d'analisi, di una caratteristica essenziale di ciò che ci sta di fronte. Non esiste niente che possa giustificare la convinzione che la natura favorisca l'instaurarsi di relazioni di simmetria, si tratta di una condizione strettamente empirica e contingente.

Uno degli argomenti più celebri a favore di un atteggiamento realista metafisico rispetto alla conoscenza scientifica consiste nell'assumere con convinzione l'indipendenza dell'oggetto di ricerca rispetto alle pratiche di laboratorio quale stimolo per la stessa impresa scientifica. Qual è la Sua opinione riguardo al ruolo motivazionale del realismo scientifico?

Innanzitutto, conviene distinguere l'una dall'altra le diverse forme di realismo. Una concezione della realtà come indipendente dall'attività conoscitiva non coincide esattamente con una forma di realismo *scientifico*. Da questo punto di vista, credo di poter prendere le parti di un certo realismo *del senso comune*.

Tutti possediamo una percezione della realtà come indipendente dal nostro operato. Sarebbe difficile pensare come qualcuno possa mantenere una motivazione al lavoro di ricerca senza assumere che ci sia qualcosa che non dipende strettamente dalle sue intenzioni e dalle sue convinzioni.

Invece, intendo il realismo scientifico come un punto di vista riguardo agli scopi dell'impresa scientifica. Il semplice fatto che nell'Ottocento si credesse nell'esistenza del flogisto non fa degli scienziati di quell'epoca dei realisti scientifici. Occorre avere una particolare concezione filosofica di quel che è la scienza per poter essere dei realisti scientifici. Occorre distinguere due domande: la scienza ha lo scopo di scoprire regolarità empiriche? Oppure lo scopo della scienza è di scoprire la struttura nascosta della realtà che si cela oltre le semplici misurazioni?

Quanto le credenze di 'sfondo' riguardo agli obiettivi dell'impresa scientifica influiscono nella costruzione del sapere scientifico stesso?

Si tratta di una questione psicologica piuttosto sottile. Non credo possibile lavorare in modo efficace con teorie e misurazioni se non si è immersi in uno sfondo di assunzioni e di credenze. Immergersi in un ambiente teorico è l'unico modo di lavorare con le teorie.

Mi è capitato spesso di parlarne con scienziati e di valutare la loro reazione di fronte ad argomenti di natura filosofica. Devo dire che ho riscontrato atteggiamenti diversi in proposito. Per esempio, nel campo della meccanica quantistica sono state avanzate ipotesi interpretative molto diverse dalla cosiddetta versione standard. Prendiamo per esempio la meccanica quantistica *à la* Bohm. Siamo di fronte a immagini del mondo alternative contraddistinte dalle stesse conseguenze empiriche. Il fatto che non esistano possibilità di distinguere empiricamente la concezione di Bohm da quella standard

fa sì che per molti scienziati la sola domanda riguardo a quale sia, tra le due, l'interpretazione più fedele alla realtà diviene una questione del tutto estranea all'impresa scientifica. Per altri, invece, le due teorie si equivalgono, nonostante che affermino cose radicalmente in contrasto l'una con l'altra. Non credo che vi sia un'unica convinzione metafisica che spinge gli scienziati verso la ricerca.

Nell'articolo *The Transcendence of the Ego* si fa uso di uno stratagemma metaforico per introdurre alcuni argomenti riguardanti il dibattito ontologico contemporaneo. Qual è la funzione della metafora nel contesto della ricerca scientifica? Può giocare un ruolo determinante per il progresso della conoscenza?

Sì, credo che la metafora rivesta un ruolo centrale per il progresso della conoscenza scientifica. Credo che si possa dire altrettanto anche nel contesto della conoscenza filosofica. La metafora riveste un ruolo chiave in tutti i processi comunicativi. Essa fornisce la possibilità di portare alla luce qualcosa di nuovo che altrimenti non saremmo capaci di comunicare attraverso il ricorso a descrizioni di tipo fattuale, o letterale.

COSCIENZA

Nell'articolo *The Transcendence of Ego* si può leggere (in trad. it.):

I filosofi che confessano di avere perplessità di fronte al quesito *Come avrebbe mai fatto a emergere la coscienza in questo mondo fisico?* devono intendere il quesito in un modo diverso – un modo che non ha nulla a che fare con la scienza [...]

C'è un mistero che riguarda la coscienza. Ma non rientra fra i misteri che le scienze affrontano e che esse riescono, con tanto frequente successo, a trattare e risolvere.

Pensa che la filosofia sia in grado di dialogare con la scienza nello studio della coscienza?

Si tratta di una questione difficile. Gli scienziati hanno molto lavoro davanti a loro nel campo dello studio dei processi cognitivi. La comprensione dei fenomeni legati alla coscienza sembra ancora fuori portata. Per rispondere a questa domanda devo ancora una volta far riferimento al costruttivismo empirico [*empirical constructivism*] e all'idea di adeguatezza empirica di una teoria scientifica.

Proprio l'adeguatezza osservativa di una teoria può essere qualcosa che si ottiene facilmente, a patto di non voler formulare un modello troppo informativo. Se ci guardiamo indietro, dobbiamo ammettere che la coscienza è qualcosa che è comparso nel corso dell'evoluzione. Probabilmente c'è stato un tempo in cui esistevano solo organismi incoscienti, ai quali si sono aggiunti in seguito organismi dotati di coscienza. Oggi, alcune teorie scientifiche tentano di coprire questo periodo storico, ma il problema è che a volte non sono così informative come desideriamo, specialmente riguardo ai pro-

cessi di transizione. A ogni modo, i dati osservativi di cui disponiamo – non importa quali siano – possono in linea di principio essere rappresentati all'interno di una teoria scientifica. Se questo è ciò che riteniamo sufficiente per spiegare il fenomeno della coscienza, allora possiamo sperare che un giorno la scienza risponderà. Ma se crediamo che vi sia qualcos'altro da dire oltre alla rappresentazione dei fenomeni osservabili, allora, per quel che posso dire, non vedo possibilità per la scienza.

In diverse occasioni, nei suoi scritti si trovano accenni alla controversia riguardo al libero arbitrio. Ritiene che una più stretta collaborazione tra filosofi della mente che si occupano di causalità mentale e chi si occupa di argomenti metafisici come l'identità e la sua persistenza nel tempo, possa favorire lo sviluppo di nuove soluzioni riguardo al tema della volontarietà e del libero arbitrio?

Mi state chiedendo di esprimere al riguardo i miei ... pregiudizi. I termini che avete usato nel formulare la domanda rimandano a una forma di metafisica analitica rispetto alla quale sono molto critico.

Quando parlo di volontarismo mi riferisco al volontarismo epistemologico. In questo caso la nozione di libera scelta è assunta come basilare. Si tratta di un piano di analisi che si limita al modo ordinario d'intendere la possibilità di scelta. Molti filosofi condividono l'idea che, dal punto di vista epistemologico, abbia senso parlare di scelta. Se ci rivolgiamo alla metafisica, però, le cose cambiano.

NOTE

¹ Il convegno internazionale *Livelli della realtà* si tenne a Firenze nelle sedi di Palazzo Vecchio e Palazzo dei Congressi, dal 9 al 13 settembre 1978. Per un resoconto, si veda *Le Scienze*, XX, 1978, p. XX).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Van Fraassen, B. C., *St. Xaviera* (story), *Poetic License*, 1979.
- [2] Van Fraassen, B. C., *The Game* (story), *Corona*, 1981.
- [3] Van Fraassen, B. C., *La Città Invisibile/The Invisible City*, in L. Mazza, catalogue of the *Milan triennale exhibition*. Milano: Electa S.p.a. 1988.
- [4] Van Fraassen, B. C., *An introduction to the philosophy of time and space*, Random House, New York 1970.
- [5] Van Fraassen, B. C., *Formal Semantics and Logic*, Macmillan, New York 1971.
- [6] Van Fraassen, B. C., *The Scientific Image*, Oxford University Press, Oxford 1980.
- [7] Van Fraassen, B. C., *Laws and Symmetry*, Oxford University Press, Oxford 1989.
- [8] Van Fraassen, B. C., *Quantum Mechanics: An Empiricist View*, Oxford University Press, Oxford 1991.
- [9] Van Fraassen, B. C., *The Empirical Stance*, Yale University Press, New Haven and London 2002.
- [10] Van Fraassen, B. C., *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford University Press, Oxford 2008.

Scienza, fumetti e cinema

A PROPOSITO DEL METODO SCIENTIFICO ... LEGGENDO FUMETTI*

MARCO SALUCCI

Società Filosofica Italiana e Liceo Scientifico Gramsci, Firenze

1. Supereroi e superscienziati

In ogni epoca e in ogni civiltà l'umanità ha avuto i suoi supereroi. Non c'è bisogno di dilungarsi, molti fanno ancora parte dell'immaginario collettivo: Ulisse, Ercole, Achille sono ancora in grado di dire qualcosa all'uomo del XXI secolo. Tuttavia anche l'età contemporanea ha i suoi supereroi: Superman, Batman, L'Uomo Ragno, Capitan America, il Dr. Manhattan e innumerevoli altri costituiscono una sorta di novello Olimpo che si materializza non più in templi di marmo e in statue di bronzo ma in immagini di carta o di celluloidi¹. Non tutti i supereroi contemporanei hanno superpoteri, ma molti hanno conoscenze superiori, superconoscenze, che in alcuni casi consistono in una perfetta padronanza della scienza; in più, non è infrequente trovare che i supereroi hanno acquistato i loro poteri a causa di qualche evento eccezionale cui l'autore cerca di conferire un'plausibilità scientifica². I supereroi dei *comics* non derivano i loro superpoteri da una parentela con una divinità o da una qualche frequentazione con un'entità soprannaturale. Il piè veloce Achille è figlio di una ninfa, Flash deriva la sua velocità da un incidente di laboratorio; Ercole era figlio di Zeus, Superman trae la sua forza dall'effetto che le condizioni fisiche della Terra hanno sulla sua natura aliena; per cavarsi d'impaccio Ulisse riceve suggerimenti da Atena, Batman si affida al suo talento di scienziato e al suo laboratorio privato.

Certamente non vale per tutti, ma la maggioranza (ed è quella che ci interessa) dei supereroi ha a che fare con la scienza. È vero che i supereroi della fantascienza devono vedersela, da qualche anno in particolare, con gli eroi della magia – un paio per tutti: Harry Potter e la saga di Tolkien – spesso ibridandosi in personaggi e storie in cui magia e scienza, soprannaturale e naturale, si intrecciano³, ma, per i miei intenti, è decisamente più significativo considerare i supereroi della fantascienza.

Non è difficile trovare motivazioni per questa scelta: i *comics* di fantascienza sono, come ogni comic, prima di tutto letteratura per immagini e, anche se la loro origine è più recente, la letteratura fantascientifica a cui si rifanno nacque nel clima positivista tipico dell'Ottocento fondato sull'incondizionata fiducia nel progresso dell'umanità. Artefice di tale progresso era considerata la scienza e la conseguente tecnologia.

* Lezioni tenuta a Firenze i giorni 7 e 19 novembre 2009, nell'Auditorium del Consiglio regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

L'Ottocento, il secolo del romanzo, è anche il secolo del romanzo di fantascienza, valga per tutti un solo esempio: quello di Jules Verne.

I progressi nel campo della medicina, dei trasporti, dell'industria ecc. colpiscono profondamente l'immaginazione dell'uomo comune che, almeno fino alla Grande Guerra, nutriva un'incrollabile fiducia nelle «magnifiche sorti e progressive»⁴ che il futuro riservava all'umanità. Si era compiuta così una sorta di proiezione e alienazione feuerbachiana: il potere della scienza e della tecnica era proiettato all'infinito e diventava un superpotere. Ora, i supereroi simboleggeranno sì il potere dell'uomo e della scienza sulla natura – e, mediatamente, anche sui vari *villains* di turno – non secondariamente essi rappresentano la distanza che corre fra l'uomo comune e la scienza, fra l'uomo medio e lo scienziato. Ne è prova il carattere spesso irrimediabilmente fantastico e a volte, volutamente o meno, ridicolo delle teorie scientifiche che circolano nei *comics*, teorie tanto sbagliate da non presentare spesso nessun elemento a cui appellarsi per preferirle a quelle più schiettamente occulte presenti nelle storie *fantasy*. Il supereroe è tale perché è inarrivabile dall'uomo comune, i suoi poteri sono sovraumani e dunque lo è anche il suo aver a che fare con la scienza e con la tecnica. In ciò il supereroe rappresenta una figura dell'immaginario comune: la spiegazione scientifica della realtà è accessibile solo agli scienziati – sono costoro che detengono in realtà ciò che più assomiglia ai superpoteri – e solo limitatamente o in forma molto semplificata all'uomo comune. Se questo è vero, deve essere notato che è singolare come l'impresa più democratica che esista, spesso anzi l'ultimo rifugio della democrazia, cioè l'impresa scientifica, appaia all'uomo appannaggio di una aristocratica setta esoterica.

La percezione comune della difficoltà della scienza, e dunque della distanza che ce ne separa, è motivo ispiratore di molte terzine dantesche di cui si compone una parodia disneyana dell'*Inferno*⁵ in cui Topolino-Dante e Pippo-Virgilio incontrano una vecchia tormentata da una schiera di ragazzini che così si qualifica:

[...] Io sono l'Aritmetica,

ebbi per padre il siculo Archimede
che mi nutrì con succo di radici.

Or son punita come qui si vede:

tutti i ragazzi a me son inimici,
qui nell'inferno con le mani pronte
fan la vendetta dei miei malefici.

Proprio in virtù del suo successo pratico, nessuno dubita che la scienza fornisca una spiegazione, anzi *la* spiegazione, della realtà. Carattere esoterico e capacità esplicativa mi sembrano i due elementi che caratterizzano l'opinione che l'uomo della strada ha della scienza e degli scienziati. Si tratta di due caratteri che hanno a che fare con ambiti diversi: il primo concerne i risultati conseguiti *dalla* scienza – ritenuti, appunto, comprensibili solo a pochi – il secondo attiene alla riflessione *sulla* scienza, a ciò che essa

intrinsecamente è. Ma, mentre nel primo caso si ammette esplicitamente un'ignoranza – ritenuta spesso insuperabile o almeno superabile solo a costo di grandi (super) fatiche, che richiedono un super cervello – nel secondo caso si ritiene di essere nel giusto: che cosa potrebbe altrimenti essere la scienza se non una spiegazione di cosa accade in natura? Ebbene, in quanto segue cercherò di accennare a qualcuno dei molti modi con cui è possibile mettere in dubbio i luoghi comuni relativi al modo di procedere della scienza; nel finale accennerò a una ragione che spiega il carattere esoterico che l'uomo comune attribuisce alla scienza. Lo scopo complessivo è quello di porre nella giusta luce la distanza che corre fra noi e la scienza.

Comincerò, prevedibilmente, da un fumetto.

2. L'assassino invisibile

Nel numero 20 del *Corriere dei Ragazzi* uscito il 14 maggio 1972 è narrata una storia intitolata *L'assassino invisibile*⁶. La storia è stata scritta da Mino Milani, celeberrimo scrittore per ragazzi (il quale si firma con lo pseudonimo di E. Ventura nella storia di cui ci occupiamo), e disegnata da Dino Battaglia, uno degli autori che hanno fatto la storia del fumetto italiano. La pagina iniziale ci trasporta nella grande Vienna della metà del XIX secolo, capitale di un vasto e secolare impero. In uno dei due reparti maternità dell'Ospedale Centrale di quella città si verifica da qualche tempo un preoccupante aumento della mortalità fra le donne che hanno appena partorito. Un medico che opera in quel reparto si propone allora di trovare la causa dei decessi e comincia a passare in rassegna le varie ipotesi che gli si presentano alla mente: può essere l'alimentazione? No, perché l'alimentazione è la stessa in entrambi i reparti maternità e solo in uno si verifica l'aumento della mortalità. Può essere un'influenza originata dalla terra o dal cielo? No, perché entrambi i reparti si trovano nello stesso luogo. Le visite del prete alle moribonde possono avere un influsso negativo prima sulla psiche e poi sul corpo delle pazienti? Si prova a nascondere alle pazienti le visite che il prete fa alle moribonde ma non si registra nessun cambiamento. Può essere l'imperizia delle ostetriche? Le cose non cambiano neppure dopo che le visite vengono effettuate sotto la sorveglianza dei medici o addirittura ridotte.

Un giorno un collega del nostro protagonista riceve una ferita da bisturi mentre effettua un'autopsia su un cadavere; cade gravemente ammalato, manifesta gli stessi sintomi clinici delle puerpere decedute e in poche ore muore. Il nostro eroe ha allora un'intuizione (la didascalia dice «una folgorazione»): la causa del decesso del collega è la stessa di quella delle pazienti cioè il contatto con una sostanza presente nei cadaveri che viene trasmessa alle pazienti dai medici in visita dopo aver effettuato autopsie. Il nostro impone ai suoi colleghi di disinfettarsi le mani con ipoclorito di calcio prima di visitare le pazienti e in poco tempo la mortalità del reparto diminuisce e si stabilizza sui livelli dell'altro. La differenza rilevante fra i due reparti era infatti che solo in uno di essi i medici effettuavano autopsie. I dati confermeranno che l'aumento della mortalità coincideva con l'inizio della pratica autoptica nel reparto.



Come si sarà immaginato la storia non è frutto della fantasia di Milani e Battaglia, si tratta di una storia vera: essa racconta la vicenda del medico ungherese Ignaz Semmelweis, del suo sfortunato collega Kolletscha e della scoperta dell'agente eziologico di una forma di setticemia: quella che all'epoca era chiamata febbre puerperale. Oggi a Budapest, la città natale di Semmelweis, c'è un monumento e una clinica dedicati alla memoria del 'medico delle madri', ma la gloria di Semmelweis è tutta postuma: la comunità medica dell'epoca lo accusò di screditarne il prestigio ed egli «ebbe una vita triste e infelice che si concluse presto» – scrive Milani – «abbandonato in un ospedale psichiatrico»⁷.

L'ostilità dei colleghi di Semmelweis verso le sue scoperte può essere spiegata a un livello superficiale come una difesa pregiudiziale di interessi corporativi ma occorre anche ricordare che all'epoca non era ancora nota l'esistenza dei microrganismi patogeni. Perfino Semmelweis attribuirà la causa della febbre puerperale a una generica sostanza cadaverica. Solo pochi anni più tardi Pasteur proverà la correttezza delle intuizioni di Semmelweis dimostrando l'esistenza dei microrganismi patogeni e con ciò dando inizio alla microbiologia e quindi a una rivoluzione nell'ambito delle pratiche terapeutiche. Nel numero del 16 marzo 1867 della rivista *The Lancet* (ancora oggi una delle più prestigiose riviste scientifiche mondiali) Lister userà per la prima volta il termine *antisepsi* nel descrivere procedure simili a quelle già adottate da Semmelweis [20]. È l'inizio della storia della medicina moderna, un inizio appassionante non solo perché

è l'inizio di una storia di per sé appassionante ma anche perché ha qualcosa da dirci su come funziona la scienza.

Consideriamo dunque il modo in cui Semmelweis ha risolto il caso⁸.

3. Il contesto della scoperta

Cominciamo con un po' di metafore. Semmelweis ha avuto una 'folgorazione', come abbiamo visto, un'intuizione. Metaforicamente si potrebbe dire che una lampadina si è accesa nella sua mente e che la luce gli ha permesso di vedere come stanno le cose. La metafora della lampadina indica la comparsa improvvisa di un'idea. È la metafora visiva privilegiata dai fumetti e dai cartoni animati per indicare che si è indicata la soluzione a un problema: Edì, l'aiutante di Archimede Pitagorico, per esempio, ha per testa una lampadina. In verità si tratta di una metafora universale diffusa in epoche e culture diverse, come mostrano le statuette e le raffigurazioni orientali di Buddha che riproducono una fiammella sulla sommità dei capelli dell'Illuminato, appunto, appellativo che è la traduzione dell'originale *Buddha*. La metafora che sta nell'espressione "vedere la verità" ha senso solo se correlata a quella della luce poiché si vede qualcosa solo in condizioni di illuminazione. Ancora più lontano ci porta l'etimologia della parola "idea" che va fatta risalire, nientedimeno, a un verbo greco che significa ... "vedere". L'"Idea" è allora "ciò che è stato visto". In latino, vedere si dice *tueor*, da cui "intuizione", "intuito". Dire che si hanno delle idee o delle intuizioni è dunque la stessa cosa. Il termine "folgorazione" usato da Milani nel fumetto è dunque perfettamente pertinente.

Ora, il punto è che le idee si 'fanno vedere' solo quando pare a loro; non casualmente si dice «mi è venuta un'idea». La differenza fra l'intuizione e il ragionamento è che nel secondo caso la procedura che mettiamo in atto nel ragionare è sotto il nostro controllo: in un numero finito di passi arriviamo a una soluzione o alla dimostrazione di un teorema, per esempio. Con l'intuizione non è così.

Nel 1865 il chimico tedesco Kekulé stava cercando la formula di struttura del benzene. Era noto che una molecola di benzene era composta da sei atomi di carbonio e da sei atomi di idrogeno ma non era chiaro come fossero disposti nello spazio. Durante una pausa dal suo lavoro, Kekulé si addormentò in poltrona davanti al caminetto acceso e sognò degli anelli che danzavano nelle fiamme. Improvvisamente si svegliò perché aveva trovato – aveva *visto* – la soluzione: la molecola del benzene aveva la forma di un esagono.

Il modo in cui avvengono le scoperte è dunque spesso incontrollabile, apparentemente casuale, spontaneo. Impossibile individuare una procedura per arrivare con certezza alla soluzione di un problema: se avessimo una tale procedura non avremmo più nessun problema! Avremmo la cura per il cancro, avremmo risolto il problema energetico, sapremmo come arrivare a una teoria del tutto. Ma non è così, e dobbiamo faticosamente spremere i nostri cervelli finché non secernono spontaneamente qualche buona idea. Già, perché non è detto che tutte le idee che ci vengono in sogno o in veglia, siano buone. Un volta che le abbiamo avute dobbiamo verificare se funzionano:

è con questo scopo che Semmelweis ha imposto ai suoi colleghi la disinfezione delle mani, ed è per lo stesso scopo che Kekulé una volta sveglio si è messo alla scrivania a scrivere formule e a disegnare esagoni.

La validità dell'intuizione di Semmelweis è confermata dal fatto che dopo l'adozione della disinfezione la mortalità del suo reparto tornò in poco tempo a livelli normali (per l'epoca, ovviamente: nel periodo 1998-2002 in Italia la percentuale era intorno allo 0,003): dall'11,4% del 1846 scese all'1,27% del 1848. Inoltre, per dimostrare l'efficacia batteriostatica o battericida di certe sostanze non è per fortuna necessario osservare se le persone si ammalano oppure no, è una pratica comune in qualunque laboratorio di analisi coltivare colonie batteriche in apposite piastre di vetro per effettuare antibiogrammi.

Quando ci si occupa del modo in cui si arriva ad effettuare una scoperta, ci si occupa di quello che nella filosofia della scienza si chiama *contesto della scoperta*. Quando invece si studiano le procedure che si debbono mettere in atto per verificare la bontà delle intuizioni che abbiamo avuto si ha a che fare con il *contesto della giustificazione*. Sul contesto della scoperta non c'è molto da dire, non sappiamo come nascono le idee, non sappiamo in cosa consiste quel lavoro inconscio della mente che a un certo punto e improvvisamente si manifesta in un'intuizione. Però sappiamo molto sui modi con i quali possiamo controllare la bontà delle idee che abbiamo: solo il contesto della giustificazione è oggetto della filosofia della scienza, mentre quello della scoperta dovrebbe essere appannaggio della psicologia.

Un esempio dei problemi che devono essere affrontati quando si a che fare con il contesto della scoperta è ricavabile riflettendo anche sulla nostra storia a fumetti. Semmelweis elabora una serie di ipotesi sulle cause del fenomeno che mette alla prova una ad una; è necessario farlo poiché se ne verificassimo più di una contemporaneamente non potremmo sapere quale causa sia responsabile del verificarsi dell'evento che stiamo studiando. Se Semmelweis avesse sospeso contemporaneamente le visite del prete e quelle delle ostetriche e la mortalità fosse diminuita non avrebbe potuto sapere quale delle due fosse la causa dei decessi. Ma, attenzione, con tale procedura Semmelweis avrebbe individuato la causa dell'aumento della mortalità materna solo se la sua lista di ipotesi da verificare una a una fosse stata completa. Di fatto, finché il caso non gliela presentò, l'ipotesi dell'infezione da cadavere non era stata neppure presa in considerazione. Ciò significa che non possiamo mai essere certi della completezza delle nostre ipotesi: la causa di un fenomeno potrebbe sfuggirci non solo per insufficiente perspicacia ma anche perché non disponiamo di una teoria che ci permette di ipotizzarla (è il caso degli scettici colleghi di Semmelweis).

Poniamoci adesso un altro compito caratteristico della filosofia della scienza: esaminiamo la struttura logica del contesto della giustificazione in cui opera Semmelweis. Egli fa l'ipotesi I secondo la quale «le visite del prete sono la causa dei decessi». Se I è vera allora dovremmo osservare una diminuzione dei decessi, cioè l'enunciato O «i decessi diminuiscono» sarà vero. Poiché invece O è falso anche I è falsa. Semmelweis si è

avvalso in questa deduzione del *modus tollens*, esemplificato anche dalla deduzione; «se piove allora le strade sono bagnate, ma le strade non sono bagnate quindi non piove».

Scartate le varie ipotesi con la modalità appena descritta, Semmelweis formula quella che si rivelerà corretta: se I' «la sostanza cadaverica provoca infezione» è vera lo sarà anche «evitando il contatto con la sostanza cadaverica non ci sarà infezione». Quindi mette in atto pratiche antisettiche e osserva che O «i decessi diminuiscono» è vera. In questo caso la struttura del ragionamento non è però più quella, valida, del *modus tollens* ma è simile a «se piove le strade sono bagnate, ma le strade sono bagnate dunque piove» che è falsa perché le strade potrebbero essere bagnate per altri motivi. Questa deduzione errata si chiama “fallacia dell’affermazione del conseguente”. L’osservazione O della diminuzione dei decessi non prova in via definitiva la verità dell’ipotesi I', di fatto avremmo potuto osservare O anche se i medici non avessero toccato cadaveri ma una sostanza putrida di altro genere. Benché non si possa allora affermare che l’osservazione di O dimostra in via definitiva I' si può però pensare che abbia ricevuto un certo grado di conferma, conferma che invece I non ha ricevuto per nulla. Con I si può cercare allora di stabilire un progetto di ricerca che porti I' a essere ulteriormente confermata.

La distinzione fra contesto della scoperta e contesto della giustificazione risale al neoempirismo, un movimento culturale che ha sostenuto tesi alcune delle quali si sono dimostrate insostenibili ma che ha fondato la contemporanea filosofia della scienza. Per quanto superate possano sembrare oggi alcune posizioni dei neoempiristi, se non ci fosse stato il neoempirismo non ci sarebbe oggi, semplicemente, la filosofia della scienza. Il neoempirismo (o neopositivismo, o positivismo logico o neopositivismo) fu un movimento filosofico sorto intorno agli anni Venti del secolo scorso a Vienna e a Berlino. Con l'avvento del Nazismo quasi tutti i suoi componenti emigrarono soprattutto negli Stati Uniti d'America; questo il motivo, unito al fatto che gli Stati Uniti sono stati a lungo all'avanguardia nella ricerca scientifica e tecnica, che spiega perché la filosofia della scienza è maturata prevalentemente in area anglofona. Fra gli esponenti principali del movimento ricordo Carnap, Schlick, Reichenbach, Hempel, Hahn, Neurath, Feigl. Nel dopoguerra il neoempirismo ha conosciuto una serie di critiche e revisioni che ne hanno determinato il tramonto. Fra coloro che maggiormente hanno contribuito alla crisi del neoempirismo ricordo Popper e Kuhn.

Una delle tesi fondamentali dei neopositivisti era quella secondo la quale un enunciato può essere considerato sensato solo se esiste un metodo per verificarlo, non importa che sia verificato ma che sia possibile verificarlo. La credenza di Wallace e Gromit - due personaggi realizzati in plastilina protagonisti di una serie di cortometraggi e di un film⁹ - secondo la quale la Luna è fatta di formaggio è perfettamente sensata poiché c'è un metodo per verificare se è vera o falsa. Il criterio della verifica distingue frasi sensate da quelle che non lo sono, come molte frasi della metafisica e della teologia. La frase «Dio è onnipotente» per esempio non è verificabile. La metafisica era, per i neopositivisti, espressione di sentimenti ed i metafisici erano, secondo un'espressione di Carnap, «musicisti senza talento» [2]. Un enunciato che appartiene legittimamente

alla scienza è un enunciato che può essere vero o falso ma che comunque è verificabile; una volta che è stato formulato l'enunciato potrà essere verificato, non importa se dopo un momento o dopo anni – questo dipende dai mezzi di verifica a disposizione, come per esempio la disponibilità di strumenti adatti. Ma basta che sia stato verificato una sola volta stabilire che è vero? E se occorrono più verifiche, quante sono necessarie? Per rispondere alla domanda dobbiamo considerare il problema dell'induzione.

4. Il problema dell'induzione

Comunemente si afferma che la scienza moderna è caratterizzata dal metodo sperimentale. Innegabile. Quando si cerca, però, di precisare in cosa tale metodo consista, ci si sente raccontare più o meno la (solita) storia seguente: uno scienziato elabora una teoria e poi procede a effettuare esperimenti per verificarla. Se una teoria ha superato un certo numero di verifiche sperimentali è, appunto, vera. Questo metodo funziona, si conclude, in quanto sono i fatti stessi a decidere della verità di una teoria. Ebbene non c'è una sola fra le affermazioni che ho appena riportato che sia pacifica, universalmente accettata da tutti coloro che si occupano di metodo scientifico. In primo luogo non si può dire di aver verificato una teoria basandosi su osservazioni, perché il numero delle osservazioni è necessariamente limitato e le teorie o le leggi scientifiche hanno la forma dell'universalità.

In una vecchia storia – sempre a fumetti – dell'Uomo Mascherato un'astronave aliena approda sulla Terra con lo scopo di verificare se gli abitanti possono essere sconfitti e la Terra colonizzata [7]. Una pattuglia di alieni scende dall'astronave e si imbatte nell'Uomo Mascherato («uno vale l'altro», aveva affermato il comandante della nave istruendo la pattuglia «gli uomini sono tutti uguali») e lo sottopone a ogni genere di prove che egli ovviamente supera fra lo stupore degli alieni. Tornati sull'astronave, costoro riferiscono al comandante che gli uomini sono imbattibili e il progetto di invasione della Terra viene abbandonato. È evidente che la Terra si è salvata per un soffio, l'equipaggio alieno era epistemologicamente così sprovveduto da non essersi mai posto il problema cosiddetto dell'induzione: un enunciato universale non è mai completamente giustificato dalle osservazioni perché queste, necessariamente, saranno in numero limitato. Pertanto invece che di verificabilità di una teoria si preferisce parlare di confermabilità. Poiché la confermabilità ammette gradi diversi, nel tentare di giustificare una teoria occorre introdurre anche il calcolo della probabilità.

In una striscia a fumetti della serie olandese *Padre e Figlio* [31] una ragazza chiede ad un ragazzo: «E così hai paura delle donne, eh?». «Chi, io? Ma come ti viene in mente? Chi lo dice?» risponde il ragazzo. «Elly. E Thea, e Yvonne, e Suzy, e Paula, e Ingrid...» replica la ragazza. «E che significa? Io ho paura solo di Elly, Thea, Yvonne, Suzy, Paula, e Ingrid. E di nessun'altra» precisa il ragazzo con una battuta. Il fatto che il ragazzo abbia paura di 'sei' donne, non autorizza a concludere che egli tema 'tutte' le donne. Sei donne, infatti, non sono tutte le donne.

L'esempio che però è più utilizzato nella letteratura sull'argomento non riguarda né i personaggi dei fumetti né le donne, ma i corvi. Ciò perché nel 1945 Hempel si servì

dell'enunciato «tutti i corvi sono neri» per elaborare un paradosso dell'induzione. Egli notò che siccome l'enunciato «tutti i corvi sono neri» è logicamente equivalente a «tutte le cose che non sono nere non sono corvi» allora l'osservazione di un tramonto rosso conferma la teoria «tutti i corvi sono neri». Il che è, evidentemente, paradossale.

L'enunciato «tutti i corvi sono neri» non è mai completamente giustificato dalle osservazioni, di fatto tutti i corvi osservati fino ad oggi sono risultati neri ma un corvo osservato domani può essere bianco. Questo problema è tecnicamente noto come problema dell'induzione, essendo l'induzione quella procedura con la quale ricaviamo un enunciato generale a partire dall'osservazione di un insieme finito di casi particolari.

Come Hume ha osservato tre secoli fa, non è neppure possibile appellarsi a una legge che affermi l'uniformità della natura per la quale non si vede perché la natura, che finora ha generato corvi neri, dovrebbe cambiare idea. Per giustificare tale legge, infatti, dovremmo citare ancora il fatto che tutti i corvi osservati sono neri, esponendoci così alla stessa obiezione. Agli alieni che si imbattono nell'Uomo Mascherato basta saggiare i poteri di costui per ritenere che valga la legge generale «tutti gli uomini sono uguali». Ma se gli alieni hanno formulato tale legge sulla base dell'osservazione, allora hanno dato per scontato ciò che deve essere dimostrato. D'altra parte, se ci si rifugia nell'idea che l'osservazione di un certo numero di corvi neri non rende certamente vera ma solo probabilmente vera la teoria «tutti i corvi sono neri» allora, per il paradosso di Hempel, l'osservazione di un tramonto rosso aumenta la probabilità che l'enunciato «tutti i corvi sono neri» sia vero.

Concludo questo paragrafo ricordando ciò che una volta il premio Nobel per la fisica Feynman ha detto, con lo spirito che gli era consueto, ai suoi studenti a proposito del metodo usato dagli scienziati per formulare una nuova legge:

Per prima cosa tiriamo a indovinare; poi calcoliamo le conseguenze della nostra intuizione per vedere quali circostanze si verificherebbero se la legge che abbiamo immaginato fosse giusta; quindi confrontiamo i risultati dei nostri calcoli con la natura, con gli esperimenti, con l'esperienza, con i dati osservativi. Se non è in accordo con gli esperimenti la legge è sbagliata. Ma se è in accordo con gli esperimenti? È giusta? No: semplicemente non si è potuto dimostrare che è sbagliata. È sempre possibile che in futuro qualche esperimento dimostri che è sbagliata. Quindi una teoria è temporaneamente giusta; non possiamo essere certi se una teoria è giusta, ma possiamo essere certi se è sbagliata.

Feynman ha sintetizzato in modo efficace il punto di vista del falsificazionismo sostenuto soprattutto da Popper [27], secondo il quale le teorie scientifiche sarebbero congetture utilizzate finché qualcuno non ne dimostra la falsità. Lo sforzo degli sperimentatori dovrebbe rivolgersi non a verificare una teoria ma piuttosto a falsificarla.

5. Esperimento e osservazione dei fatti

I principi fondamentali (geocentrismo, tendenza alla quiete, distinzione fra fisica terrestre e fisica celeste) su cui si fondava la scienza antica erano sostenuti dall'osservazione.

Non è dunque del tutto corretto affermare, come a volte si fa, che la scienza moderna si caratterizza per l'osservazione. È il tipo di osservazione che fa la differenza: l'osservazione che conduce a sostenere i principi della fisica aristotelica è l'esperienza quotidiana, mentre l'osservazione praticata dalla scienza moderna è la sperimentazione.

A differenza dell'esperienza quotidiana, che avviene in modo casuale, l'*esperimento* è invece un'esperienza controllata. Esso è caratterizzato cioè dalla costruzione di una situazione artificiale nella quale lo sperimentatore isola gli aspetti del fenomeno che ritiene determinanti da quelli che ritiene estranei o accessori; analogamente Semmelweis aveva preso in considerazione le possibili cause della mortalità solo una per volta. Non si tratta dunque di una semplice osservazione, ma, come ha scritto Galileo, di una domanda che poniamo alla natura. È necessario allora costruire strumenti e meccanismi in grado di riprodurre e di misurare il fenomeno oggetto di studio. Ad esempio, l'esperimento con il quale si dimostra il principio, stabilito da Galileo, secondo il quale i corpi cadono con la medesima velocità indipendentemente dal loro peso, viene realizzato lasciando cadere corpi di peso diverso in un contenitore in cui sia stato fatto il vuoto, la cosiddetta bottiglia di Newton.

Se fosse l'esperienza quotidiana alla base della scienza, allora la scienza contemporanea sarebbe ancora quella aristotelica. I dati dell'esperienza comune, infatti, depongono a favore di una fisica di tipo aristotelico: sembra a tutti molto *naturale* che un corpo pesante cada a terra; ugualmente troviamo naturale che la fiamma si diriga verso l'alto ed è per questo motivo che posiamo le pentole sopra il fuoco. Troviamo altrettanto naturale che, se tutte le cose fossero al loro posto, non ci sarebbe movimento: per la fisica aristotelica e per quella del senso comune non c'è alcun bisogno di spiegare perché i corpi stanno in quiete, ma c'è invece bisogno di spiegare perché si muovono. Come un carro si muove solo se viene spinto o tirato e continua a muoversi solo fintanto che gli viene applicata una forza, così, per Aristotele, ogni corpo è immobile se non disturbato. La quiete è la condizione naturale dei corpi, il moto si verifica solo se c'è un motore che lo causa e lo mantiene; il moto non persiste da solo, come invece accade per la quiete.

L'esperimento suppone una ipotesi su come funziona la natura e quindi su come debbano andare le cose nel corso dell'esperimento stesso. Nel caso della bottiglia di Newton: tutti i corpi cadono con velocità costante a meno che non vi siano forze, come l'attrito dell'aria, che vi si oppongano. Senza un'ipotesi preliminare (che ci permette di formulare la domanda, di eliminare gli elementi ritenuti non essenziali, di costruire gli strumenti ecc.) non è possibile progettare e quindi effettuare nessun esperimento. È chiaro che la formulazione di un'ipotesi, la costruzione di un esperimento e la valutazione dei risultati suppongono l'uso della logica e della ragione. L'espressione "metodo sperimentale" usata per caratterizzare il procedere della scienza, non deve dunque trarre in inganno e far credere che la ragione non trovi alcun posto nella procedura sperimentale. Piuttosto, il termine "sperimentale" pone l'accento sul fatto che il metodo scientifico si oppone al procedere caratteristico del pensiero medievale, il quale dava una netta prevalenza alla ragione speculativa.

Nel capitolo XXXVII dei *Promessi sposi* Manzoni fornisce una divertente caricatura del modo tutto deduttivo e astratto di argomentare, tipico della scienza medievale. Durante la peste di Milano, Don Ferrante, seguace di Aristotele, cerca di mostrare per via logica che il morbo non esiste, salvo a morirne di lì a poco:

In rerum natura non ci son che due generi di cose: sostanze e accidenti; e se io provo che il contagio non può esser né l'uno né l'altro, avrò provato che non esiste, che è una chimera. [...] Le sostanze sono, o spirituali, o materiali. Che il contagio sia sostanza spirituale, è uno sproposito che nessuno vorrebbe sostenere; [...]. Le sostanze materiali sono, o semplici, o composte. Ora, sostanza semplice il contagio non è: [...]. Sostanza composta neppure; [...] Riman da vedere se possa essere accidente. Peggio che peggio. [...].

Benché debbano essere distinti dall'esperienza quotidiana, gli esperimenti della scienza forniscono pur sempre la base osservativa per l'elaborazione e la conferma delle teorie. Le teorie devono passare un esame di fronte al tribunale dei fatti osservati. Ma cosa sono i *fatti* l'osservazione dei quali dovrebbe decidere della *verità* di una teoria? Sono fatti osservati i quark? I buchi neri? I neutrini?

Per rendere evidente il problema serviamoci di un esperimento mentale escogitato da Hanson [12]. Per decidere dell'annosa questione se sia il Sole o la Terra al centro del sistema solare Galileo e Tolomeo decidono di trovarsi poco prima dell'alba ad osservare verso est cosa succede. Appena il Sole comincia a far capolino dietro la collina Tolomeo esclama: «Avevo ragione io! Il Sole si alza sopra l'orizzonte!». «Eh no! È l'orizzonte che si abbassa rispetto al Sole!» ribatte Galileo.

I fatti che Tolomeo e Galileo osservano sono gli stessi ma le teorie che sostengono sono diverse. Lo stesso fatto (il moto relativo del Sole e dell'orizzonte) è compatibile con teorie diverse. Ora, se uno stesso fatto è compatibile con teorie diverse, come si può sostenere che una teoria descrive ed è verificata dai fatti? Tecnicamente tale questione è nota come 'sottodeterminazione' delle teorie rispetto alle osservazioni: le osservazioni possono essere cioè insufficienti per decidere a favore di una teoria piuttosto che di un'altra.

Galileo e Tolomeo non osservano i fatti ma osservano i fatti in *un certo modo*. Hanson ha scritto che i fatti sono *carichi di teoria* (*theory laden*): non ci sono fatti puri, oggettivi, indipendenti dalla teoria con la quale li osserviamo. Questo è uno dei grandi temi della filosofia della scienza contemporanea: il rapporto tra i dati osservativi e le teorie. Ma la questione è presente anche nella psicologia; il problema, dunque, si pone non solo per le comunità di scienziati che osservano i fatti e i risultati delle sperimentazioni, ma anche per i singoli individui, per ciascuno di noi. Le figure ambigue in cui è possibile osservare due figure distinte a seconda del punto di vista o delle aspettative sono numerose e facilmente reperibili anche nella letteratura non specializzata. Il nostro vedere non è mai una registrazione passiva, simile a quella di una fotocamera, ma è sempre un *vedere come*, un interpretare. Anche l'arte utilizza questa caratteristica della nostra percezione quando, per esempio, disponendo opportunamente le linee di

un disegno su un piano bidimensionale, genera l'illusione della tridimensionalità: è la tecnica della prospettiva.

Dalla rassegna delle questioni che abbiamo appena considerato si potrebbe pensare che non sia possibile scegliere nessuna teoria. Questa situazione comporta due conseguenze. In primo luogo, è un dato acquisito che nella scienza non ci sono verità definitive ed eterne – l'idea che esista la Verità con la V maiuscola è un'idea metafisica che non trova più spazio nella scienza. In secondo luogo, l'impossibilità di fare completo affidamento sull'induzione, sulla verifica e sull'osservazione costringe la comunità scientifica ad utilizzare molti criteri diversi che convergano verso l'adozione di una teoria piuttosto che un'altra. Tanto per non restare nel vago, ne cito qualcuno: fra due teorie in competizione si tende ad adottare quella più semplice; quella che implica meno entità; quella che spiega il maggior numero di eventi; quella che meglio si integra con l'intero corpus del sapere scientifico¹⁰.

6. Cosa significa “spiegare”?

Potremmo riassumere le questioni di cui ci siamo fin qui occupati in un'unica domanda: quand'è che saremmo disposti ad accettare una teoria? Credo che la risposta più universalmente condivisa potrebbe essere: quando la teoria spiega ciò che deve essere spiegato. Cosa significa, però, “spiegare”?

Il dibattito sulla spiegazione ha un punto di riferimento ben preciso e imprescindibile rappresentato dal modello cosiddetto nomologico-deduttivo proposto nel 1948 da Hempel e Oppenheim¹¹. Secondo tale modello un evento E è spiegato quando è stato dedotto da premesse che esprimono le condizioni iniziali C e almeno una legge universale L. Per esempio, se vogliamo spiegare la dilatazione di una certa quantità di mercurio in un termometro, fra le condizioni iniziali ci saranno la temperatura iniziale del mercurio, dell'ampolla di vetro, di una bacinella d'acqua calda e in più ci sarà la legge per la quale i metalli si dilatano quando riscaldati. La deduzione avverrà come segue.

- C. Un'ampolla di vetro contenente mercurio alla temperatura di 20⁰ gradi centigradi è stata posta in una bacinella d'acqua calda alla temperatura di 50⁰, il mercurio è un metallo;
- L. La seguente legge naturale è valida: tutti i metalli si dilatano se riscaldati.

Quindi

- E. Il mercurio nell'ampolla si è dilatato.

Una struttura analoga a quella della deduzione precedente è reperibile nel caso Semmelweis. Nello smascherare l'«assassino invisibile» Semmelweis ha fornito una spiegazione del perché nel periodo 1844-1848 i casi di setticemia sono aumentati. La deduzione è la seguente:

- I seguenti fatti sono veri: è stata avviata una ricerca in anatomia patologica; gli stessi medici che eseguivano le autopsie visitavano le puerpere; non venivano praticate misure antisettiche;

- Alcune leggi naturali relative alla riproduzione dei microorganismi sono valide, per esempio, relative alla temperatura, all'umidità, alla presenza o assenza di ossigeno ecc;
- L'asserzione con cui si spiega l'aumento dei casi di setticemia è deducibile dalla congiunzione delle condizioni enunciate ai punti precedenti.

Tutto bene? No. Primo problema: quello dell'induzione, lo stesso problema che abbiamo avuto con i corvi neri. Come facciamo a sapere che tutti i metalli, se riscaldati, si espandono? Solo quelli osservati fino ad oggi si espandono. Vogliamo precisare allora che tutti i metalli, se riscaldati, si dilatano perché c'è una legge di natura che afferma che tutti i metalli, se riscaldati, si dilatano? Ma tale legge deriva sempre dal fatto che i metalli osservati fino ad oggi si espandono. Dunque, non siamo nelle condizioni di fare previsioni sul futuro o affermazioni generali, anzi siamo di fronte a un evidente circolo vizioso.

Secondo problema. Ricorriamo ancora alla letteratura disegnata. In una storia di Tex, il cattivo il turno, detto Il coyote nero¹², ha soggiogato una tribù di indiani creduloni con una serie di trucchi magici. Per esempio, egli scompare dalla vista della tribù davanti all'ingresso di una grotta a forma di testa di coyote; la sparizione dell'imbrogliante è sempre preceduta da gesti magici e da grandi nuvole di fumo. Naturalmente il fumo – prodotto da una polvere adatta gettata, durante il magico gesticolare, su bracieri ardenti – nasconde il ciarlatano quando si avvale di una botola segreta dissimulata all'ingresso della grotta. Ora, gli indiani potrebbero motivare la loro credenza nei poteri magici del personaggio con la deduzione seguente, che sembrerebbe essere una spiegazione genuina della sparizione del mago:

- Tutte le volte che un mago recita gesti e formule magiche per scomparire, egli scompare in una nuvola di fumo;
- Un mago ha recitato gesti e formule magiche per scomparire all'ingresso della grotta;
- Il mago è scomparso in una nuvola di fumo.

Questa evidentemente non è una spiegazione scientifica, ma come distinguerla da una genuina spiegazione scientifica? La pseudo spiegazione in questione soddisfa tutte le condizioni del modello nomologico deduttivo: ci sono le condizioni iniziali (Il coyote nero che compie gesti magici all'ingresso di una caverna) e c'è una legge generale (tutte le volte che il mago recita i gesti adatti scompare), ovviamente indotta dalle osservazioni delle passate sparizioni. Per distinguere una spiegazione genuina da una pseudo spiegazione è stato utilizzato o il concetto di rilevanza, oppure quello della distinzione fra generalizzazioni accidentali e leggi.

Nel primo caso, possiamo dire di avere che fare con una pseudo spiegazione perché i gesti e le formule magiche sono irrilevanti per il verificarsi del fenomeno. Nel caso in questione diciamo che i gesti magici non sono rilevanti perché sappiamo che la vera

causa del fenomeno è la reazione chimica della polvere e la botola nascosta¹³. Il problema però è che non sempre potremmo sapere che cosa è rilevante per la spiegazione del verificarsi di un fenomeno e quindi non potremmo essere in grado di riconoscere una vera spiegazione da una pseudo spiegazione.

Seconda possibilità: si può capire ciò che distingue una legge da una generalizzazione accidentale immaginando cosa accadrebbe se i fatti fossero diversi da come sono e quindi domandoci se l'enunciato controfattuale che otteniamo variando i fatti è vero. Nel nostro caso, se «tutte le volte che un mago recita gesti e formule magiche per scomparire scompare in una nuvola di fumo» fosse una legge, allora «se i maghi non recitano formule magiche appropriate non scompaiono» sarebbe falsa (come sarebbe evidente alla tribù se non ci fosse la cortina fumogena), mentre «se i metalli non sono sottoposti a calore non si dilatano» è vera. Il punto, però, analogamente a quanto accade per la questione della rilevanza, è che per sapere se un enunciato è una generalizzazione accidentale o una legge, dovremmo avere già un'idea della legge che governa il fenomeno.

Il modello nomologico-deduttivo ci costringe ad affrontare un ulteriore problema. Supponiamo che l'arrivo di un certo tipo di fronte atmosferico di bassa pressione sia sempre seguito da una tempesta, e che certe letture di un barometro siano un segno certo dell'arrivo di tale tipo di fronte. Dunque, la lettura di bassa pressione del barometro è sempre seguita da una tempesta. Ma la tempesta non può essere spiegata dalla lettura del barometro. Per ovviare a tale problema si è cercato di far giocare il concetto di causa: la lettura del barometro non è una spiegazione perché non *causa* la tempesta. Il ricorso al concetto di causa potrebbe anche permetterci di affrontare la questione della rilevanza: i fatti rilevanti sono quelli che veramente causano il fenomeno: è la botola e non sono i gesti magici a causare la scomparsa del mago. Modificare la spiegazione introducendo la causa¹⁴ non è tuttavia un'operazione gratuita: essa eredita tutta una serie di problemi che non è qui possibile neppure elencare, ma che sono oggetto di discussione da molto tempo¹⁵.

7. Perché (a volte) la scienza sembra così difficile?

Ho detto, cominciando questo intervento, che l'uomo comune considera lo scienziato dotato di facoltà inarrivabili all'uomo comune; vorrei concludere riprendendo questo tema. Gran parte di questa opinione deriva semplicemente dall'ignorare cosa sia la scienza, il che equivale a dire che l'opinione comune sulla scienza deriva dal cosiddetto analfabetismo scientifico. Le ragioni di tale analfabetismo sono varie e complesse, e richiederebbero un esame delle politiche educative e scolastiche, degli indirizzi dell'industria culturale e dei mass media, dei caratteri della cultura nazionale (nel caso del nostro paese tradizionalmente di tipo storico, letterario, umanistico e giuridico) [28]. L'analfabetismo scientifico esiste, innegabilmente; e in Italia il problema è particolarmente grave.

Affermato con decisione tutto ciò, vorrei però concentrarmi su una questione di tipo antropologico o psicologico: l'ignoranza scientifica dell'uomo comune dipende

dalla distanza che c'è fra le teorie scientifiche e il modo con cui l'uomo – inteso stavolta non in senso sociologico, come uomo comune, ma antropologico, appunto, come *homo sapiens* – vede e percepisce spontaneamente il mondo, in base alle facoltà percettive di cui la natura l'ha dotato. La formulazione forse più efficace (e comunque la mia preferita) della distanza fra l'immagine scientifica del mondo e quella dell'esperienza comune è stata espressa da Eddington nel 1929 quando, introducendo la sua opera *The Nature of the Physical World*, dichiarava di averla scritta seduto ai suoi due tavoli:

Uno di essi mi è familiare fin dall'infanzia [...]. Ha estensione; è relativamente costante; è colorato; soprattutto, è solido [...] L'altro [...] è soprattutto vuoto. Disseminate in questo vuoto ci sono numerose cariche elettriche che viaggiano a gran velocità; ma la loro massa complessiva è meno di un milionesimo della massa del tavolo medesimo [...] Non ho bisogno di dirvi che la scienza moderna mi ha assicurato [...] che il mio secondo tavolo, quello scientifico, è il solo che esista realmente [8, pp. IX-XII].

Le ragioni sociali e culturali del senso di smarrimento che l'uomo comune prova di fronte a certe teorie scientifiche sono ovviamente variabili; pertanto la distanza fra l'uomo comune e la scienza può essere più o meno ampia a seconda delle condizioni dell'istruzione individuale. A queste ragioni, però, ne vanno sommate altre che non dipendono dall'istruzione e dall'ambiente sociale in cui vive l'individuo: la distanza tra scienza e uomo comune dipende anche da caratteri psico-antropologici. Tenterò di chiarire questo punto immaginando, in modo un po' semplificato, tre punti di vista o atteggiamenti: quello aristotelico, quello positivista e quello einsteiniano. Si tratta, come si capisce, di una classificazione che ripercorre tre tappe fondamentali della storia del pensiero scientifico: rispettivamente quella antica e medievale rappresentata da Aristotele «maestro di color che sanno», quella moderna ottocentesca della quale prendo a simbolo il positivismo, e quella novecentesca contemporanea della quale prendo come sineddoche il termine «einsteiniano».

Ciò che mi preme sottolineare è, però, che i primi due atteggiamenti non sono estinti, ma convivono oggi tutti insieme al terzo. L'atteggiamento aristotelico è quello dell'uomo comune, di colui che non ha nessuna conoscenza scientifica e che per conoscere la realtà usa la dotazione di strumenti fornitagli dalla natura, i cinque sensi e qualche semplice struttura razionale della logica classica. L'uomo che adotta un atteggiamento positivista ovviamente presenta tutte le conoscenze e capacità percettive dell'uomo comune ma in più ha una cultura scientifica media, di solito appresa a scuola. L'atteggiamento einsteiniano, infine, è quello di colui che ha accesso alla scienza ad un livello abbastanza elevato; sicuramente hanno un tale atteggiamento gli scienziati ma anche chi abbia una cultura scientifica aggiornata (il che, dunque, non vuol dire ottocentesca). Per saggiare il valore esplicativo di questa classificazione, proviamo a caratterizzarla meglio. A seconda delle affermazioni seguenti che condividerò, il mio lettore può utilizzare quanto segue come test per scoprire a quale epoca appartiene il punto di vista da lui adottato.

Colui il quale condivide il punto di vista aristotelico crede, per esempio, che: poichè, se smettiamo di pedalare la bicicletta si ferma, allora in natura un oggetto si muove fintanto che dura la forza che lo fa muovere. Poichè una palla di piombo raggiunge il suolo prima di una piuma, anche quando entrambe siano fatte cadere dalla stessa altezza, allora in natura i corpi più pesanti cadono più velocemente. Un oggetto posto su un corpo in movimento, se non vi è fissato, tende a cadere in direzione contraria al senso del movimento. In natura tutti i corpi hanno grandezze loro proprie indipendentemente dal fatto che siano misurate o no. Tutti i corpi che ruotano su se stessi presentano la stessa faccia dopo ogni giro. Se anche il mio lettore condivide tali affermazioni allora è un aristotelico. Che c'è di male? Approfondiamo le conseguenze di tali affermazioni e lo capiremo.

«In natura un oggetto si muove fintanto che dura la forza che lo fa muovere» significa che tutti i corpi tendono naturalmente a stare in quiete e anche che le leggi naturali che valgono sulla Terra non valgono nel resto dell'universo, dal momento che i corpi celesti, come il Sole, ruotano incessantemente. Falso! Galilei e Newton hanno mostrato che tutti i corpi, in Terra e in cielo, perseverano nel loro stato di quiete o di movimento a meno che una forza non intervenga a cambiarne lo stato (principio d'inerzia).

Non va meglio neppure per le altre credenze che abbiamo citato. Infatti: la piuma giunge a toccare il suolo dopo la palla di piombo perché offre più resistenza all'aria, in condizioni di vuoto entrambe toccherebbero terra nel medesimo istante. La velocità di caduta è una funzione del tempo e degli spazi percorsi, non della pesantezza. Si può dare una descrizione matematica della caduta (in termini di spazi e tempi) senza ricorrere a concetti come pesantezza e leggerezza. La pesantezza e la leggerezza non sono proprietà intrinseche dei corpi ma dipendono dalla forza di gravità con cui la Terra li attrae.

«Un oggetto posto su un corpo in movimento, se non vi è fissato, tende a cadere». Non è forse vero? Non è per questo che leghiamo le valigie sul portapacchi della macchina? Ma se fosse vero ne conseguirebbe che la Terra è immobile, altrimenti gli oggetti che cadono dall'alto di una torre, per esempio, toccherebbero il suolo spostati in direzione contraria a quella del movimento della Terra, cioè cadrebbero spostati verso ovest¹⁶. In una striscia del fumetto americano *Beetle Bailey*¹⁷ due reclute marciano in cima a una collina sotto il peso degli zaini. Una delle due dice all'altra: «Se la Terra gira così velocemente come dicono, rischiamo di volar via. Forse è il caso che ti appesantisca lo zaino». «Giusto!» replica l'altra e accetta di portare anche lo zaino del compagno. Aderite all'atteggiamento aristotelico fino a questo punto? Mai sentito nominare il concetto di sistema inerziale? Beh, è un concetto vecchio di tre secoli¹⁸.

Ciò che mi interessa mostrare non è però quanto fosse errata la dottrina di Aristotele, ma quanta fatica è occorsa ed occorra per mostrare che è sbagliata: oltre venti secoli di storia per l'umanità e oltre dieci anni di studio per ciascuno di noi. Si fa presto a dire che la dottrina di Aristotele è tutta sbagliata: che stupido Aristotele a pensare che la Terra fosse ferma al centro del sistema solare! Che ingenuo a credere che se un cavallo smette di trainare un carro il carro si ferma! Ma non è forse vero che non percepiamo

il movimento della Terra e che anzi ci sembra proprio di star ben piantati immobili sulla terra? E non è forse vero anche che se smettiamo di pedalare la bicicletta si ferma? Dunque la condizione di Aristotele in cui si trovava quando elaborava la sua scienza è la stessa in cui ci troviamo noi nel percepire la realtà nella vita quotidiana (l'immagine del senso comune di Eddington): la fisica di Aristotele è la fisica spontanea che deriva dal nostro ordinario uso dell'apparato percettivo e sensoriale di cui siamo naturalmente dotati. I sensi di cui noi uomini contemporanei disponiamo sono gli stessi di quelli di cui disponeva Aristotele: gli antichi non credevano che la Terra fosse immobile perché vedevano peggio di noi! La fisica di Aristotele è dunque ben radicata nel modo in cui il nostro apparato percettivo è fatto: è dunque una fisica spontanea, ingenua¹⁹.

Come Aristotele, anche noi percepiamo la Terra immobile; tuttavia, sappiamo che le cose non sono sempre come appaiono. Siamo debitori di questa intuizione proprio ai greci e quindi anche ad Aristotele ma, evidentemente, sapere che ci possiamo sbagliare non implica sapere quando ci sbagliamo. Noi abbiamo compiuto un salto cognitivo che ci ha fatto lasciare l'atteggiamento aristotelico per quello successivo. Fuori di metafora: siamo stati a scuola e abbiamo imparato un po' di scienza moderna. Ma questo ancora non basta, perché la locuzione "scienza moderna" è troppo vaga: si intende, per esempio, quella di Galileo o quella di Einstein? Prendiamo un paio di affermazioni che non sembra possibile mettere in discussione e cioè, come prima affermazione: «in natura tutti i corpi hanno grandezze loro proprie indipendentemente dal fatto che siano misurate» (banalmente ciò significa che la lunghezza di una strada non dipende dall'atto di misurarla). Come seconda affermazione: «tutti i corpi che ruotano su se stessi presentano la stessa faccia dopo ogni giro» (banalmente ciò significa che rivedremo il nostro amico seduto sulla giostra al termine di ogni giro). Se non condividete più le affermazioni di Aristotele ma condividete queste due appena citate allora il vostro punto di vista sulla natura è positivistico, avete, sì, una cultura scientifica moderna e non aristotelica, ma ottocentesca: vecchia cioè di oltre un secolo.

La prima affermazione è falsa perché la fisica quantistica ha mostrato che le particelle fondamentali di cui è composta la realtà acquisiscono certe grandezze solo nel momento in cui vengono misurate. La seconda affermazione è falsa perché, per esempio, l'elettrone possiede una proprietà, detta *spin*, che può essere approssimativamente immaginata come la strana proprietà che avrebbe un corpo in rotazione su se stesso se presentasse la stessa faccia ogni due giri. L'amico seduto sulla giostra sarebbe visibile un giro sì e un giro no!

Questi appena ricordati sono risultati conseguiti tra la fine dell'Ottocento e il Novecento, quando sono avvenuti cambiamenti così profondi nella scienza da andare ben al di là non solo del nostro modo naturale di *percepire*, ma di sfidare anche la nostra ordinaria capacità di *immaginazione*. Crisi dei fondamenti della matematica, geometrie non euclidee, teoria della relatività e meccanica quantistica sono i campi in cui la scienza ha conosciuto tali sconvolgimenti. Si tratta di ambiti nei quali sono sorte teorie che sono ormai non solo ampiamente accettate dalla comunità scientifica, ma

che fanno parte del normale *curriculum* universitario delle facoltà scientifiche. Teorie ormai vecchie di quasi cento anni, sono ancora ignote all'uomo comune e ignorate anche da coloro che hanno una cultura scientifica di livello medio perché i *curricula* scolastici al massimo riescono a formare un *punto di vista positivistico*. Le *stranezze* della fisica contemporanea non si limitano ovviamente alle due appena menzionate, sono innumerevoli: si pensi al rallentamento del tempo e all'accorciamento delle lunghezze per velocità prossime a quella della luce, ad un universo a n dimensioni (non più solo quello quadridimensionale dello spazio-tempo di Einstein e Minkowski), alla natura non deterministica degli eventi subatomici. In tutti questi casi si ha a che fare con risultati ottenuti in gran parte con strumenti matematici e poi confermati sperimentalmente. La soluzione di certe equazioni ci conduce a conclusioni che non è possibile visualizzare neppure con la fantasia (si pensi ad alcuni risultati non solo della meccanica quantistica ma anche della cosmologia, nonché alle prospettive aperte dalla teoria delle stringhe o superstringhe)²⁰.

C'è una morale in tutto questo? Ce ne sono molte: ne suggerisco una che chiamerò la *morale delle tre meraviglie* (la conoscenza era per i greci figlia della meraviglia). La prima: *meravigliosa è la ragione* che ci permette di elaborare teorie che vanno al di là di ciò che è possibile percepire. La seconda: *meravigliosa è la matematica* che ci permette di trascendere non solo i limiti della percezione ma anche quelli dell'immaginazione. La terza: *meravigliosa è la natura* nella quale ci sono più cose di quanto la tua scienza e la tua poesia, Orazio, possano immaginare.

Oltre a una morale c'è anche una conclusione: la distanza fra noi e la scienza è un buon motivo per avvicinarla, non per evitarla.

NOTE

¹ Il primo ad attrarre l'attenzione del mondo intellettuale verso i fumetti in Italia è stato Elio Vittorini che nel suo *Politecnico* ne ha ospitati spesso. In alcuni di essi Vittorini ha visto non solo un efficace «mezzo di divulgazione letteraria» ma anche qualche qualità artistica, come mostra il fatto che fece pubblicare nella collana «Nuovi Scrittori Stranieri» della Mondadori *L'antichissimo mondo di B.C.* di Hart e *I polli non hanno sedie* di Copi. Nel 1945 il *Politecnico* pubblicò strisce di Topolino, Paperino, Popeye, Barnaby. Nel 1965 insieme a Del Buono e ad Eco tenne a battesimo la rivista *Linus* nel primo numero della quale compaiono infatti i loro interventi. Il primo e organico studio sul genere è, come è noto, quello di Eco [6]; per uno recentissimo si veda [30]. Su Superman come versione moderna di eroe mitologico si veda [9, p. 208]. Più pertinenti al rapporto fra scienza e fumetto oggetto del presente intervento sono [10] e [18].

² Sono frutto di eventi più o meno eccezionali che hanno a che fare con la scienza per esempio: il Dr. Manhattan, Superman, l'Uomo Ragno, i Magnifici Quattro, Flash, Capitan America, gli X-Men.

³ Dylan Dog e Martin Mystère sono forse i più noti, ma già nelle storie di Jeff Hawke degli anni Settanta comparivano entità sovranaturali in contesti fantascientifici, per esempio in *Inquilino senza contratto* accanto ad alieni e astronavi dalle forme più disparate compare il dio Pan, vedi [17]. A meno che non riguardi il pubblico infantile, il successo di personaggi che hanno a che vedere con la magia andrebbe sempre considerato con attenzione per verificare che non sia un sintomo di diffusione di un atteggiamento antiscientifico. Sul tema (per la verità coltivato soprattutto da correnti irrazionaliste non benevole nei confronti della scienza) del rapporto di ostilità che nel mondo moderno si stabilirebbe fra uomo e scienza si veda O. Spengler, «La tecnica è diventata esoterica come la matematica superiore di cui si serve», *L'uomo e la macchina*, 1931, cit. in [24, p. 274]. Anche Musil, *L'uomo senza qualità*, (1930-33):

La ricerca odierna non è scienza soltanto: è anche magia, è un rito di grandissima forza sentimentale e intellettuale, che induce dio a sollevare l'una dopo l'altra le pieghe del suo manto, è una religione la cui dogmatica è retta e penetrata dalla dura, agile, coraggiosa logica matematica, fredda e tagliente come una lama di coltello [...] Noi abbiamo conquistato la realtà e perduto il sogno [24, p. 34].

M. Weber ha bene espresso la situazione dell'uomo contemporaneo nei confronti della scienza: a differenza dell'uomo delle età precedenti quello contemporaneo non considera più la natura come un luogo incantato e misterioso, ma la tecnica è sovente per l'uomo comune incomprendibile. Al contrario l'uomo primitivo padroneggiava completamente tutti i suoi strumenti è la tecnica per l'uomo comune a essere magica; che è un'osservazione sfruttata come slogan pubblicitario per promuovere alcuni prodotti di alta tecnologia.

⁴ L'espressione, ironica, è di Leopardi. Non mancano infatti le voci dissonanti rispetto all'ottimismo positivista ottocentesco: quelle di Schopenhauer e Nietzsche fra queste.

⁵ Gli autori sono italiani: Martina, G., Bioletto, A., vedi [21].

⁶ *Corriere dei Ragazzi* è il nome che la testata *Corriere dei Piccoli* assunse nel 1972. Ringrazio la *Fondazione del Corriere della Sera* e in particolare il Sig. Andrea Moroni per aver concesso l'autorizzazione a riprodurre l'immagine della pagina iniziale della storia.

⁷ La storia della scoperta di Semmelweis e la sua vicenda umana sono raccontate dallo scrittore Celine in [3]. Celine era laureato in medicina e l'opera ricordata nasce dalla sua tesi di laurea.

⁸ Il caso Semmelweis è l'avvio di un breve manuale di filosofia della scienza pubblicato nel 1966 da uno dei padri fondatori di questa disciplina, Hempel [14].

⁹ Si tratta di personaggi creati da Park protagonisti di cortometraggi e lungometraggi trasmessi dalla BBC. Il film *La maledizione del coniglio mannaro* del 2005 ha vinto l'Oscar per miglior film d'animazione. La NASA ha battezzato "Gromit" una sonda automatica per l'esplorazione di Marte.

¹⁰ Per un approfondimento dei temi qui solo accennati si veda un qualunque manuale introduttivo alla filosofia della scienza, per esempio fra i più recenti: [5], [19], [25].

¹¹ [14], [15]. Sulla spiegazione scientifica si può leggere in italiano [26] a cui rimando per un approfondimento delle questioni qui affrontate.

¹² È anche il titolo della storia, pubblicata nel fascicolo omonimo n. 29 del luglio 1966.

¹³ Forse qualcuno sorriderà per l'ingenuità mostrata dalla tribù indiana che considera *Il coyote nero* un mago. Eppure anche nella nostra società moderna, occidentale e tecnologica esistono tribù del genere. I tanti imbonitori sedicenti maghi che compaiono in alcune trasmissioni televisive esistono solo perché esistono ancora indiani creduloni. Si ricorderà una storia giudiziaria recente che visto la celebrazione di un procedimento penale contro un terzetto di truffatori che vendeva talismani contro la cattiva sorte. Per stabilire se il potenziale cliente era stato oggetto di maledizione il terzetto proponeva un test: provare a sciogliere una quantità di sale in un bicchiere d'acqua, se il sale non si scioglie significa che si è stati vittime di maledizione. Occorreva dunque acquistare un talismano che veniva venduto, è ovvio, alquanto... salato.

Consideriamo la seguente spiegazione del perché la data quantità di sale non si è sciolta nell'acqua:

- Sono stati fatti gesti e recitate formule magiche sulla quantità di sale
- Il sale è stato posto nell'acqua
- Tutti i cucchiaini di sale sottoposti a gesti e a formule magiche non si sciolgono nell'acqua
- La quantità di sale non si è sciolta nell'acqua

La vera causa stava nel fatto che la quantità di sale proposta era superiore alla soglia di saturazione della quantità d'acqua da utilizzare. Un concetto che dovrebbe essere già disponibile a partire dalle osservazioni scientifiche delle scuole medie inferiori se non addirittura elementari

¹⁴ Tema a cui si è dedicato Salmon [29].

¹⁵ Mi riferisco almeno dalla discussione fatta da Hume.

¹⁶ È l'obiezione degli aristotelici contro Galilei.

¹⁷ Creato nel 1950 da Mort Walker è apparso in Italia nella rivista *Linus* e ristampato poi nella collana «Oscar Mondadori». La striscia a cui mi riferisco è citata in [10, p. 69].

¹⁸ Cioè almeno quanto colui che l'ha elaborato: Galilei.

¹⁹ Sulla fisica ingenua vedi [1], [22].

²⁰ Sulla quale si può vedere [4]. Fra i moltissimi testi divulgativi cito solo [11], [13].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bozzi, P., *Fisica ingenua*, Garzanti, Milano 1998.
- [2] Carnap, R., L'eliminazione della metafisica mediante l'analisi logica del linguaggio, *Erkenntnis*, 1931.
- [3] Celine, L. F., *Il dottor Semmelweis*, Adelphi, Milano 1975.
- [4] Davies, P., *Il cosmo intelligente*, Mondadori, Milano 1989.
- [5] Dorato, M., *Cosa c'entra l'anima con gli atomi? Introduzione alla filosofia della scienza*, Laterza, Bari 2007.
- [6] Eco, U., *Apocalittici e intergrati*, Bompiani, Milano 1964.
- [7] Falk, L., McCoy W., *L'uomo mascherato*, Editoriale L'Espresso-Repubblica Panini Comics, Roma 2005, pp. 195-207.
- [8] Eddington A. S., *The nature of the physical world*, Cambridge University Press, New York 1929
- [9] Eliade, M., *Mito e realtà*, Borla, Roma 1985.
- [10] Gaspa, P. L., Giorello G., *La scienza tra le nuvole. Da Pippo Newton a Mr. Fantastic*, Cortina, Milano 2007.
- [11] Greene, B., *L'universo elegante*, Einaudi, Torino 2003.
- [12] Hanson, N. R., *I modelli della scoperta scientifica*, Feltrinelli, Milano 1978.
- [13] Hawking, S., *Dal Big Bang a i buchi neri*, Rizzoli, Milano 1988.
- [14] Hempel, K. G., *Filosofia delle scienze naturali*, Il Mulino, Bologna 1968.
- [15] Hempel, C. G., Oppenheim P., Studies in the Logic of Explanation, *Philosophy of Science* n. 15, 1948, pp. 135-175.
- [16] Hempel, C. G., *Aspetti della spiegazione scientifica*, Il Saggiatore, Milano 1986.
- [17] Jordan, S., *Inquilino senza contratto*, in *Jeff Hawke H5499-H5904*, Milano libri Edizioni, Milano 1981, pp. 47-97.
- [18] Kakalios, J., *La fisica dei supereroi*, Einaudi, Torino 2007.
- [19] Ladyman, J., *Filosofia della scienza*, Carocci, Roma 2007.
- [20] Lister, J., Antiseptic Principle of the Practice of Surgery, *The Lancet*, 16 marzo 1867.
- [21] Martina, G., Bioletto A., L'inferno di Topolino, *Topolino* nn. 7-9, ottobre 1949 - marzo 1950.
- [22] McCloskey, M., Intuitive Physics, *Scientific american*, 248 (4), 1983, pp. 122-130.
- [23] Musil, R., *L'uomo senza qualità*, Einaudi, Torino 1965.
- [24] Nacci, M., *Tecnica e cultura della crisi*, Loescher, Torino 1982.
- [25] Okasha, S., *Il primo libro di filosofia della scienza*, Einaudi, Torino 2006.
- [26] Peruzzi, A., *Modelli della spiegazione scientifica*, F.U.P., Firenze 2008.
- [27] Popper, K. R., *La logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1970.
- [28] Russo, L., *Segmenti e bastoncini. Dove sta andando la scuola?*, Feltrinelli, Milano 2001.

- [29] Salmon, W., *Scientific explanation and the causal structure of the world*, Princeton U.P., Princeton 1984.
- [30] Stancaelli, A., *Vittorini e i balloons. I Fumetti del "Politecnico"*, Bonanno, Siracusa 2008.
- [31] Van Eemeren, F., Grootendorst, R., Van Straaten, P., *L'argomentazione a fumetti. Corso accelerato in venti lezioni*, Mimesis, Milano-Udine 2009.

MATRIX TRA SCIENZA E FILOSOFIA*

MARCO SALUCCI

Società Filosofica Italiana e Liceo Scientifico Gramsci, Firenze

ANDREA SANI

Società Filosofica Italiana e Liceo Classico Galileo, Firenze

1. Il ciclo di *Matrix*

Nel 1999 esce il film di fantascienza *Matrix* (1999) di Andy e Larry Wachowski, cui sono seguiti, nel 2003, *Matrix Reloaded* e *Matrix Revolutions*, due ulteriori capitoli della saga molto inferiori all'originale.

La trama dell'intero ciclo è notissima. Neo (Keanu Reeves), un abile pirata informatico, viene contattato da un gruppo di *hackers* accusati di terrorismo. La misteriosa Trinity (Carrie Ann Moss) lo conduce da Morpheus (Laurence Fishburne), capo del gruppo di *hackers* ribelli. Neo apprende così che la sua vita, come quella di tutta l'umanità, è un'illusione prodotta dalle macchine, che utilizzano gli esseri umani per ricavarne energia. Nel 2099 le macchine hanno vinto la guerra contro gli uomini e li hanno imprigionati in capsule che contengono una sorta di liquido amniotico. I prigionieri dormono un sonno artificiale, mentre i loro recettori sensoriali sono collegati a un gigantesco computer che, grazie a un programma di 'neurosimulazione interattiva', la Matrice, fa vivere gli esseri umani in una specie di sogno continuo, per cui tutte le sensazioni che provano (vista, udito, gusto, olfatto e tatto) risultano simulate. La Matrice proietta nel cervello dei prigionieri l'illusione di vivere nell'anno 1999 in un mondo reale, mentre essi sono corpi dormienti nelle vasche. Scoperta la verità, sarà proprio Neo, l'*eletto* destinato a liberare l'umanità, a dare battaglia alle macchine.

Matrix Reloaded e *Matrix Revolutions* propongono nuove rivelazioni, che però complicano in modo artificioso il messaggio espresso dal capitolo iniziale della saga. In *Matrix Reloaded*, le macchine attaccano la città sotterranea di Zion, l'ultimo rifugio degli esseri umani sulla Terra dopo il cataclisma nucleare. Nel corso di questo secondo capitolo della saga, apprendiamo che anche la ribellione di Neo è prevista e controllata da Matrix. La rivelazione è comunicata a Neo dall'Architetto (Helmut Bakaitis), il programma (con sembianze umane) che ha creato e che governa Matrix. L'Architetto svela che il 99% degli umani non si rende conto di vivere in un universo artificiale.

* Lezione tenuta a Firenze il 28 ottobre 2009, nell'Altana di Palazzo Strozzi, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

Esiste, però, un 1% che si ‘risveglia’ e che rifiuta la dimensione illusoria imposta dalle macchine. Per risolvere il problema le macchine hanno ideato la figura dell’eletto e la città di Zion (un nome che i fratelli Wachowski hanno ripreso dalla Bibbia, dove Zion è l’appellativo di Gerusalemme). Neo dice all’Architetto:

Tu sei il risultato finale di una anomalia che nonostante i miei sforzi sono stato incapace di eliminare da quella che altrimenti è un’armonia di precisione matematica. Sebbene resti un problema costantemente arginato essa non è imprevedibile e pertanto non sfugge a quelle misure di controllo che ti hanno condotto inesorabilmente qui.

In *Matrix Revolutions* si svolge lo scontro finale tra Neo e l’Agente Smith (Hugo Weaving), il programma di difesa appositamente creato dalle macchine per eliminare qualsiasi minaccia al sistema grazie ai suoi incredibili superpoteri. Alla fine del primo film della trilogia, Neo crede di aver ucciso definitivamente Smith, disintegrandolo. In realtà, Smith stesso si è ribellato al controllo delle macchine, che vorrebbero ‘cancellarlo’ poiché ha fallito la sua missione. Smith si moltiplica a dismisura come virus informatico e la sua presenza costituisce ormai un problema per le stesse macchine. Al termine del terzo film, Neo, che assume sempre di più la funzione del Salvatore dell’umanità, lo sconfigge definitivamente ma muore nello scontro, sacrificandosi.

La scomparsa di Neo e di Smith porta alla pace fra gli umani e le macchine, che interrompono il devastante attacco che hanno mosso alla città di Zion.

2. Il mito della caverna

Il ciclo di *Matrix* si segnala per prolungate scene da *action movie* destinate a emozionare le masse dei giovani spettatori. Tuttavia, soprattutto il primo film della serie è anche ricchissimo di riferimenti filosofici, ampiamente sviscerati nel volume a cura di William Irwin, *Pillole rosse. Matrix e la filosofia* [7, vedi anche 4, 15]. Gli argomenti filosofici più significativi del film riguardano la distinzione fra apparenza e realtà e il problema del rapporto mente-corpo.

La problematica fondamentale di *Matrix* è l’opposizione fra mondo vero e mondo fittizio. Nel film si sostiene che la realtà è diversa da come ci appare, e si fa l’ipotesi che ci sia qualcuno che appositamente crea un mondo illusorio allo scopo di ingannarci e di tenerci sottomessi. Per questi temi, secondo molti commentatori¹ il film dei fratelli Wachowski può essere letto come un rifacimento contemporaneo del mito della caverna, contenuto nel VII libro della *Repubblica* di Platone e riguardante, appunto, il rapporto realtà-finzione.

Nel racconto mitico, Platone immagina che alcuni schiavi siano incatenati, sino dall’infanzia, in una caverna sotterranea e che siano costretti a vedere solo il fondo della grotta. Su questo fondo vengono proiettate le ombre di piccole statue che sporgono al di sopra di un muricciolo situato alle spalle dei prigionieri. I prigionieri, che non hanno mai visto altro, guardano le ombre e pensano che queste siano la realtà. In un secondo momento, uno dei prigionieri riesce a liberarsi, si volta e vede le statue che proiettano

le ombre, scoprendo che esse sono più reali di queste. Platone immagina, poi, che il prigioniero possa salire su per la via che porta all'apertura della caverna ed esca fuori conoscendo, finalmente, il mondo veramente reale. Lo schiavo vorrebbe rimanere per sempre alla superficie, senza ritornare nella caverna. Infatti, se egli tornasse sotto terra per informare i suoi compagni ancora schiavi di ciò che ha visto, andrebbe incontro a gravi pericoli: i suoi occhi, non più abituati all'oscurità, non saprebbero più vedere le ombre; perciò sarebbe deriso dai suoi compagni. Costoro, infine, infastiditi dal suo tentativo di scioglierli e portarli fuori dalla caverna, lo ucciderebbero [16, VII, 514 a-517 a].

In quest'ultima parte del mito platonico è simboleggiata la sorte del sapiente, che ha conosciuto la verità (il Mondo delle Idee, o Iperuranio) e ha il dovere di comunicarla agli altri uomini. Costui, però, corre il rischio di essere scambiato per pazzo da chi è condizionato dai pregiudizi. L'uccisione dello schiavo che si è liberato adombra dunque la sorte toccata a Socrate, il filosofo che fu condannato a morte dagli stessi cittadini ateniesi che egli intendeva liberare dall'ignoranza.

Nel film *Matrix*, Neo è un novello Socrate: ha scoperto la verità sepolta nella Matrice e vuole svelare agli altri uomini l'inganno di un'esistenza illusoria, fatta solo di 'ombre', cioè di immagini virtuali. Ma anche lui incontrerà degli uomini che non vogliono essere liberati e che cercheranno di ucciderlo, pur di non essere 'svegliati' dal sogno apparentemente confortevole imposto dalle macchine. Cypher (Joe Pantoliano), un compagno di Morpheus, rappresenta questa umanità che preferisce rimanere ignorante e schiava delle apparenze, piuttosto che riacquistare la propria libertà. Cypher tradisce Morpheus e passa dalla parte dell'Agente Smith, al quale rivela i piani dei suoi compagni. In cambio ottiene da Smith la possibilità di diventare un attore famoso nella dimensione illusoria di Matrix, dimenticando completamente le sue esperienze precedenti e l'esistenza del mondo reale.

3. Cervelli in una vasca

In *Matrix* gli esseri umani vivono come corpi incapsulati in vasche. Però, la storia raccontata dal film funzionerebbe anche se invece di corpi si trattasse solo di cervelli: le stimolazioni sensoriali indotte da Matrix hanno di fatto bisogno solo del sistema nervoso. Potremmo dunque immaginare che nelle vasche di Matrix non si trovino corpi ma cervelli. Non si tratterebbe in verità di una fantasia originale, dal momento che nella letteratura e nella filmografia fantascientifica si trovano innumerevoli esempi di storie in cui compaiono cervelli separati dai corpi, nutriti in vasche, che vivono senza un corpo, resuscitati o trapiantati in corpi diversi da quello originario. Citando un po' a caso – e senza la pretesa di scegliere le opere esteticamente più valide – ricordiamo il film *Il cervello che non voleva morire* (*The Brain that wouldn't die*, 1962) di Joseph Green, gli innumerevoli film ispirati a *Frankenstein*, lo sceneggiato Rai *Gamma* di Salvatore Nocita, andato in onda nel 1975, e *The atomic Brain* (USA, 1964) di Joseph Mascelli. Anche nei fumetti si trovano molte storie ispirate al tema in questione: in *Superman* di

Jerry Siegel e Joe Shuster (più precisamente con la comparsa del supercriminale *Ultra-Humanite*, introdotto nella serie nel 1939); nel manga giapponese *Black Jack* (1974) di Osamu Tezuka, o nella saga dell'*Incal* (1981-88) scritta da Alejandro Jodorowsky e disegnata da Moebius (alias Jean Giraud).

Il tema, indipendentemente dalla forma espressiva con cui viene sviluppato, è senza dubbio affascinante e filosoficamente molto stimolante. Una delle componenti di tale fascino consiste nel singolare ribaltamento della logica dei trapianti ordinari: mentre nei comuni trapianti d'organo, per esempio di cuore, è il donatore che muore, nei trapianti di cervello sarebbe invece il donatore a sopravvivere. Dunque alla seduzione della sopravvivenza dopo la morte si aggiunge quella di vivere una vita diversa, in un altro corpo, in un'altra situazione, con altre *chances*. Magari chi è nato ciabattino può sperare di vivere da principe, come immagina nel XVII secolo il filosofo inglese John Locke cercando di districarsi nella difficile questione circa cosa sia a determinare l'identità personale [11, cap. XXVII, § 17]².

Il problema del rapporto fra apparenza e realtà è già ampiamente discusso nella storia della filosofia sin dall'epoca di Parmenide. Tuttavia, l'immagine del cervello nella vasca ha origine nella letteratura fantascientifica. Forse si tratta anzi di uno di quei non infrequenti casi in cui la fantasia ha preceduto la filosofia, e lo conferma il fatto che proprio il filosofo che più di ogni altro ha influenzato la discussione contemporanea al riguardo sia, per sua esplicita dichiarazione, appassionato lettore di fantascienza fin dalla giovinezza³. Alludiamo a Hilary Putnam che in un capitolo del suo libro *Ragione verità e storia* [18] sfida il lettore a dimostrare di non essere un cervello in una vasca che si illude di leggere un capitolo del libro di Putnam *Ragione verità e storia* opportunamente stimolato da un computer che gli fa credere di leggere un capitolo del libro di Putnam *Ragione verità e storia*⁴.

Come si può immaginare il compito non è facile. Si tratta di una classica sfida scettica, la stessa sfida che il filosofo Cartesio, nel XVII secolo, aveva affrontava quando scriveva:

Che vedo io da questa finestra, se non dei cappelli e dei mantelli, che potrebbero coprire degli spettri o degli uomini finti, mossi solo per mezzo di molle?⁵

Cartesio ipotizza che un genio maligno lo stia ingannando sistematicamente e che gli faccia credere erroneamente di avere un corpo, di vivere in un mondo reale e persino, erroneamente, che $2+2=4$. Non potrebbe questo genio maligno essere l'Architetto di *Matrix*?

La plausibilità di immaginazioni come quelle proposte da Cartesio o da Putnam è confermata dalla scienza stessa. I primi esperimenti in tal senso risalgono alla metà del XX secolo, quando il neurochirurgo canadese Wilder Penfield cominciò a sperimentare un trattamento chirurgico di casi gravi di epilessia. Durante l'intervento, Penfield stimolava con microelettrodi il cervello dei pazienti inducendo in essi l'illusione di vivere realmente un certo un evento quotidiano. Mentre stimolava varie aree della corteccia

cerebrale, Penfield chiedeva ai pazienti – in anestesia locale e coscienti – che cosa provassero ottenendone risposte come: «Ho udito qualcosa, una madre che chiamava il suo bambino. È qualcuno del vicinato, dove abito io», oppure: «Sento delle voci. Laggiù, lungo il fiume. Sono un uomo e una donna. Vedo il fiume», e ancora: «Sono in ufficio, un collega appoggiato a una scrivania mi chiama, ha in mano una matita» [12, p. 47].

4. Il problema del rapporto mente-corpo

Si noti che quando Cartesio immagina di essere ingannato da un genio maligno – la stessa situazione rappresentata in *Matrix* dagli uomini che pur vivendo in vasche credono di vivere una vita reale – e quando immagina che i suoi simili siano automi – una situazione che invece non è presente in *Matrix* ma che lo è in moltissimi altri film o racconti di fantascienza: uno per tutti *A.I. Intelligenza artificiale* (*A.I. Artificial Intelligence*, 2001) di Steven Spielberg – sta in realtà facendo un'unica ipotesi: quella della separabilità del corpo dalla mente. La mente non è il cervello: è questa la tesi fondamentale sostenuta da Cartesio e nota come *dualismo* proprio poiché ritiene che mente e corpo siano *due* sostanze diverse capaci di esistenza autonoma e di interazione⁶.

Sia chiaro: nessuno può sostenere ragionevolmente che la mente sia identica al corpo; sarebbe come sostenere che il movimento è identico ad avere un paio di gambe, con l'indesiderabile conseguenza che senza un paio di gambe non ci sarebbe movimento: quadrupedi, automobili, aerei e navi stanno a dimostrare il contrario. Il punto è un altro: può esistere – per continuare con la metafora – il movimento senza un qualsivoglia apparato fisico (gambe, ruote, eliche)? Il dualismo sostiene che la mente è appunto in grado di esistere anche senza un apparato fisico. Il fatto che la mente sia incarnata in un corpo è accidentale per il dualismo: mente e corpo sono ontologicamente distinti.

I dualisti, e Cartesio fra questi, hanno prodotto molti argomenti a sostegno della loro tesi; per rimanere fedeli alle consegne di questo intervento ne ricorderemo solo uno reperibile sia nella letteratura filosofica che nella filmografia: il film *Viaggio allucinante* (*Fantastic Voyage*, 1966), di Richard Fleischer, tratto da una storia di Jay Lewis Bixby e Otto Klement (e da cui Isaac Asimov ha poi ricavato un romanzo). Nella pellicola si immagina che un sottomarino miniaturizzato viaggi dentro un corpo umano. Giunto nel cervello del malcapitato, un membro dell'equipaggio del sottomarino nota che si vedono solo scariche elettriche percorrere le connessioni fra i neuroni ma non si vedono pensieri o ricordi.

Anche se quasi sicuramente non risulta tra le fonti del film di Fleischer, la *Monadologia* (1714) del filosofo tedesco Gottfried Wilhelm Leibniz descrive una situazione molto simile a quella di *Viaggio allucinante*; solo che per Leibniz, all'inizio del Settecento, i fenomeni che avvenivano nel corpo e nel cervello erano di natura meccanica, non elettrica, come quelli di un mulino⁷. La sostanza dell'argomento di Leibniz è questa: se i fenomeni mentali fossero fisici allora potremmo osservarli; ma non li osserviamo, dunque non sono fisici [10, § 14 della *Monadologia*].

Molti argomenti utilizzati a favore del dualismo sono riducibili a quest'argomen-

to di Leibniz, ed anche se si dimentica di citarne la vera paternità e la si attribuisce a un paio di filosofi nostri contemporanei⁸, resta alla base di quello che oggi si chiama *Argomento della conoscenza*. Anzi, è ancora Leibniz che ha fornito gli strumenti per orientarsi in modo sufficientemente chiaro fra i numerosi argomenti che sono stati forniti dai dualisti a sostegno della loro tesi. La cosiddetta *Legge di Leibniz* esige che se due entità sono uguali allora devono avere le stesse proprietà, se hanno proprietà diverse non sono uguali. Così scopriamo che l'argomento della conoscenza e quello del mulino poggiano sul presupposto che se il sistema nervoso ha la proprietà di essere osservabile e la mente no, allora non possono essere la stessa cosa. Ma ovviamente potremmo trovare anche altre proprietà possedute da uno solo dei due elementi della coppia mente-corpo; per esempio – è ancora Cartesio a sostenerlo – l'estensione: il mio cervello occupa uno spazio, il mio pensiero no (abbiamo detto «occupa uno spazio», non «si trova in uno spazio»: ovviamente il mio pensiero si trova nella mia testa). Tutto bene allora per il dualismo? Beh, non proprio.

Il modello cartesiano dell'uomo è stata definito da un filosofo americano, Gilbert Ryle, il *modello del fantasma nella macchina*: l'anima abita nel corpo come un fantasma in un robot e lo guida come i soldati dell'impero guidano i bipedi *land walker robot* del ciclo cinematografico di *Star Wars* (1999-2005) di George Lucas. Le interazioni che avvengono fra l'anima e il corpo vanno, per così dire, in due direzioni: o dal corpo verso l'anima, come nelle sensazioni, o dall'anima verso il corpo, come nei movimenti. Ma come possono interagire anima e corpo se l'anima è immateriale? Come può avvenire il contatto fra le due? Non accadrebbe ciò che accade a Ulisse nel libro XI dell'*Odissea* quando nell'Ade incontra l'anima della madre e cerca di abbracciarla? «Tre volte dalle mie mani, all'ombra simile o al sogno, volò via». Elisabetta Stuart, ex regina di Boemia ed esule nei Paesi Bassi durante la Guerra dei Trent'anni, pose il problema a Cartesio in un paio di lettere che costituiscono, insieme alle risposte di Cartesio, la prima chiara formulazione del problema del dualismo, problema noto come *Problema dell'interazione*.

Cartesio ed Elisabetta pensavano che le interazioni potessero avvenire solo per contatto e questo rendeva particolarmente acuto il problema dell'interazione mente-corpo. E tuttavia, secondo i critici del dualismo, anche se si ipotizzasse un'interazione mente-corpo senza contatto, una sorta di induzione invece che elettromagnetica psicofisica, le cose non andrebbero meglio per i cartesiani. L'interazione con una sostanza spirituale – dove per *spirituale* intendiamo non materiale – viola un principio utilizzato dalle scienze naturali: quello della chiusura causale del mondo naturale. Secondo tale principio, gli eventi fisici possono avere solo cause fisiche; pertanto se un movimento del corpo (come il movimento di una mano) ha per causa uno stato mentale (la volontà di muovere la mano), lo stato mentale dovrebbe essere fisico.

I sostenitori del dualismo interazionista potrebbero ribattere che il principio della chiusura causale è un'assunzione metodologica valida per i fisici, ma che non può trasformarsi in un principio metafisico, valido in assoluto circa il mondo in tutti i suoi

aspetti. Anche se in molti casi abbiamo trovato finora una causa fisica degli eventi, non possiamo logicamente concludere che tutti i fenomeni abbiano una causa fisica sufficiente. L'induzione non può giustificare il passaggio da "molti" a "tutti". Ne deriva, secondo questa impostazione, che non si può escludere a priori che un fatto si sottragga a tale chiusura causale e che quindi abbia un causa mentale. Va comunque precisato che la negazione del principio per cui eventi fisici possono essere causati solo da eventi fisici, comporta anche la limitazione della validità di un altro principio della fisica, e cioè del principio di conservazione dell'energia (primo principio della termodinamica), di cui la chiusura del mondo fisico è una diretta conseguenza.

D'altra parte, se l'ipotesi cartesiana non è esente da critiche, anche contro la teoria opposta, e cioè contro la concezione materialista che identifica gli stati mentali con gli stati fisici, non mancano gli argomenti (quelli che abbiamo già citato e che sono utilizzati dai dualisti).

5. Il funzionalismo

Fin qui, dunque, la discussione somiglia a una partita di ping-pong: le obiezioni e le risposte rimbalzano da una parte all'altra senza che nessun giocatore possa vantare il possesso definitivo della pallina. In realtà, a chi conosce la letteratura sull'argomento la metafora del ping-pong apparirà risibile: la partita che si gioca sul campo del problema mente corpo più che una partita a due sembra un'olimpiade: centinaia di atleti e decine di specialità [20, 21].

Per la verità, la prospettiva che riduce gli stati mentali a stati cerebrali non è neppure esplicitamente presente in *Matrix*. Nel film dei fratelli Wachowski non c'è nessun Dr. Manhattan della miniserie a fumetti *Watchmen* (di Alan Moore e Dave Gibson, 1986-87), che affermi un riduzionismo radicale come quando dichiara di non essere turbato dalla morte del suo ex collega *Il Comico*, perché «un corpo vivo e un corpo morto contengono lo stesso numero di particelle, strutturalmente non c'è nessuna differenza». Piuttosto, accanto a menti che vivono separate dal corpo in una realtà illusoria, il mondo di *Matrix* è popolato da programmi. Le menti sono programmi: lo sono l'Architetto, l'Oracolo, l'Agente Smith. *Matrix* è una saga funzionalista, dove per *funzionalismo* si intende la teoria secondo la quale le menti, anche quelle umane, sono programmi. È quanto accade anche nel film *Il tredicesimo piano* (*The Thirteenth Floor*, 1999) di Josef Rusnak, nel quale il protagonista scopre di essere un programma e di vivere in un mondo virtuale, come un personaggio in un videogioco. Con ciò il catalogo delle possibilità è completato: in *Matrix* ci sono ancora esseri umani, benché illusi da programmi di vivere una vita reale, in *Tredicesimo piano*, in *Matrix Reloaded* e in *Matrix Revolutions* l'universo sembra popolato solo da programmi: dagli esseri umani che sognano una vita reale siamo passati ai programmi che sognano di essere esseri umani.

È il solito Putnam ad aver proposto, negli anni Sessanta del secolo scorso, l'idea secondo la quale la mente è un *software*; all'epoca, prima che egli mutasse posizione, il suo motto era: «la mente sta al *software* come il cervello all'*hardware*». La prospettiva

funzionalista propugnata da Putnam fornisce non solo una risposta alternativa a quelle dualista e materialista, ma pone proprio una domanda diversa: non *cos'è* la mente – spirito o materia – ma *cosa fa*. In molte occasioni questa è la sola prospettiva giusta. Se, per esempio, volete definire una pompa non potete dire che una pompa è un meccanismo fatto di un cilindro e di un pistone, facendo così riferimento ai componenti fisici, ma dovete dire che una pompa è un meccanismo qualsiasi atto a spostare liquidi. Tale meccanismo potrebbe essere fatto allora non solo con pistoni e cilindri, ma anche con ingranaggi (le pompe della benzina delle auto), con eccentrici (le pompe per la circolazione sanguigna extracorporea). Sciolta la metafora, non è il cervello che conta ma il *software* che ci 'gira' dentro. Lo sviluppo dell'Intelligenza Artificiale e l'affermazione del funzionalismo si sono incontrati e hanno dato vita a una scuola psicologica che è oggi dominante: il cognitivismo. Secondo il cognitivismo l'uomo è, appunto, un elaboratore d'informazioni.

La nostra sostanza, ciò di cui siamo fatti, non stabilisce pressoché nessuna restrizione [...] alla nostra forma, e ciò che veramente ci interessa è la forma, non la materia. La domanda da porsi non è: che *cos'è* la materia? bensì *che cos'è la nostra forma intellettuale?* E qualunque cosa sia la nostra sostanza, spirito, materia, o emmenthal svizzero, essa non porrà alcuna interessante restrizione [...] alla risposta a tale domanda [17, p. 330].

Il principale vantaggio di tale prospettiva sta, secondo i funzionalisti, nell'evitare l'antropocentrismo consistente nell'attribuire stati mentali solo a esseri dotati di sistema nervoso: perché non potrebbero avere stati mentali i marziani, i computer o i robot del futuro? Insomma tutti quegli esseri che popolano il variegato mondo della letteratura e della cinematografia di fantascienza? È un dato di fatto che gli animali, uomo compreso, abbiano un cervello, ma gli stati mentali che essi hanno potrebbero funzionare altrettanto bene su 'macchine' fisicamente diverse: computer, robot, alieni.

Ora, non vorremmo negare che i marziani e i robot possano avere stati mentali; quello che non sembra plausibile è che marziani e robot abbiano stati mentali come i nostri. Funzionalismo e cognitivismo non tengono in nessun conto gli aspetti fisici dell'entità in cui il programma è realizzato, quindi non tengono in nessun conto gli aspetti biologici degli unici esseri che, almeno attualmente, sappiamo possedere stati mentali. Il funzionalismo è dunque il tentativo di elaborare una psicologia universale valida per ogni essere reale o possibile indipendentemente da come è fisicamente costituito l'organismo e l'ambiente in cui vive. Molti dati dell'anatomia e della fisiologia comparate rendono tuttavia tale pretesa assai problematica. Per limitarci al caso della percezione, le modalità di percezione delle specie animali sono così varie che rendono difficile parlare di stati mentali transpecifici. Come è possibile sostenere che i pesci abbiano, per esempio circa l'acqua, gli stessi stati mentali degli uccelli? O che i nostri gusti e quelli dei pipistrelli sugli insetti siano gli stessi? Gli stati mentali, lungi dall'essere indipendenti dal materiale in cui 'girano' sembrano essere dipendenti anche da molti fattori biologici, fisiologici, percettivi, motori, ecologici ecc⁹.

Le caratteristiche ambientali alle quali i vari organismi devono mostrarsi sensibili variano a seconda delle loro necessità biologiche. Le capacità percettive dunque si sono evolute in modo da selezionare le caratteristiche salienti. A questo scopo gli organi di senso presentano rivelatori di caratteristiche diversi per ogni specie. L'esistenza di rivelatori di caratteristiche specie-specifici è un forte argomento a sostegno dell'esistenza di stati mentali specie-specifici.

Al di là delle differenze siamo ora in grado di dire che c'è un'affinità fra dualismo e funzionalismo: entrambi accentuano la separatezza fra mente e corpo, anche se tale separatezza assume nella prima teoria la forma dell'indipendenza e nella seconda quella dell'indifferenza.

Recentemente è emersa – o meglio, è riemersa – una nuova prospettiva circa il rapporto mente-corpo: quella cosiddetta della *mente incorporata*. I lavori del neuroscienziato Antonio Damasio sono stati fra i primi a segnare l'inizio della nuova tendenza; egli denuncia 'l'errore cartesiano' di separare la mente dal corpo e utilizza i risultati delle ricerche relative al sistema nervoso centrale per argomentare a favore della tesi per la quale la mente emergerebbe dal corpo. Secondo Damasio, i processi di pensiero emergerebbero da una serie di mappe del corpo costruite dal cervello.

Senza risalire troppo indietro nel tempo¹⁰, l'idea che gli stati mentali dipendano dal modo in cui la mente è *embodied e entangled* in e con il corpo è stata avanzata anche dal matematico Henri Poincaré. Egli lavorava a un problema: com'è possibile che percepiamo uno spazio tridimensionale se tutte le immagini sulla nostra retina sono soltanto bidimensionali?

Ebbe l'idea di introdurre nella percezione il movimento: quando guardiamo non siamo oggetti stazionari, ma ci muoviamo. E così osservò che la complessità sufficiente per computare le nozioni di spazio, di oggetto, ecc. può prodursi soltanto quando si possono correlare i mutamenti percettivi associati con le azioni motorie. Abbiamo così bisogno di un accoppiamento di attività sensoriali e motorie, e ciò produce quello che vorrei chiamare l'anello sensomotorio: le attività sensoriali informano le attività motorie che a loro volta informano le attività sensoriali. Cinquant'anni dopo, le stesse cose furono più o meno il risultato delle ricerche di Jean Piaget. Egli fece notare come al bambino sia indispensabile l'attività senso-motoria per costruire qualunque idea di realtà. I bambini devono afferrare, allungare le mani, mettere in bocca, sentire, toccare, agitarsi. E solo allora possono vedere. Si vede con le mani o – come dice Maturana – si vede con i piedi, perché soltanto quando si cammina le cose cambiano, e si può così produrre l'anello senso-motorio¹¹.

I risultati delle neuroscienze sono oggi ritenuti quasi unanimemente indispensabili per capire aspetti essenziali e rilevanti della nostra realtà mentale. Tuttavia, sebbene le neuroscienze avanzino la pretesa di dire l'ultima parola circa la persona umana, non si può dimenticare che l'ipotesi di una completa riducibilità delle manifestazioni della coscienza al puro dato biologico è tutta da dimostrare. A una prospettiva legata esclusivamente ai processi neurobiologici sfugge, per esempio, l'aspetto interiore, privato e

qualitativo delle nostre esperienze. Alcuni filosofi della mente, i cosiddetti *misteriani* come Colin McGinn, ritengono che la scienza non possa rispondere a questioni che riguardano i *qualia*, la coscienza, il libero arbitrio, anche se i suoi progressi aiutano a definire e circoscrivere sempre meglio tali concetti e tali questioni¹².

6. L'armonia prestabilita

Circa il complesso problema del rapporto mente-corpo, *Matrix* sembra alludere a un'ulteriore, possibile, soluzione, proposta dal già citato filosofo tedesco Gottfried Wilhelm Leibniz, e che potremmo definire del *parallelismo*. Il parallelismo è un'ipotesi di stampo dualista, ma in contrapposizione all'interazionismo cartesiano.

Stranamente, Leibniz non è nemmeno citato nel libro su *Matrix* a cura di Irwin, *Pillole rosse*, anche se in un saggio di Slavoj Žižek contenuto nel volume si mette in relazione il film dei fratelli Wachowski con la filosofia occasionalista di Nicolas Malebranche¹³, contemporaneo di Leibniz. Eppure sono assai numerose le affinità tra le ipotesi fantascientifiche di *Matrix* e le teorie leibniziane. Infatti, Leibniz è stato l'ideatore dell'aritmetica binaria, che consente di rappresentare tutti i numeri con due cifre soltanto, 0 e 1, e che gioca un ruolo importantissimo nel campo dell'informatica, dove qualsiasi messaggio è convertito in un alfabeto composto da due soli simboli – 0 e 1, appunto – detti *bit* (dall'inglese *Binary digiT*). Ricordiamo anche che Leibniz, per le sue ricerche di logica e per il suo tentativo di ridurre il ragionamento a un calcolo, è considerato il precursore dell'Intelligenza Artificiale, e cioè di quel campo di indagine che si pone l'obiettivo di riprodurre su una macchina alcune delle attività mentali dell'uomo. Inutile sottolineare che l'informatica e l'Intelligenza Artificiale stanno alla base della pellicola ideata dai fratelli Wachowski. Ma i collegamenti più significativi tra *Matrix* e il pensiero leibniziano riguardano più che altro il tema della cosiddetta «armonia prestabilita», una teoria dualista introdotta da Leibniz per spiegare in modo *non cartesiano* il rapporto fra la mente e il corpo. Secondo tale teoria, le due serie di eventi – quelli mentali e quelli fisici – corrono paralleli e sincronici, senza interagire. Ma vediamo la proposta di Leibniz un po' più nel dettaglio, collegandola alla sua visione del mondo espressa nella *Monadologia* del 1714 [10].

A giudizio di Leibniz, tutta la realtà è composta da 'monadi', ossia da centri di forza o atomi immateriali di pura energia. L'uomo, in particolare, è una sostanza formata da monadi inferiori, costituenti il corpo, e da una monade superiore, detta «monade dominante» o «spirito». La monade spirito, secondo Leibniz, non interagisce con le monadi del corpo. Tutte le percezioni della nostra anima riguardanti il mondo scaturiscono non dall'esterno, ma dal suo interno, spontaneamente, secondo le leggi della sua natura, dato che le monadi, essendo immateriali, sono senza «finestre», cioè senza aperture attraverso le quali qualcosa possa entrare o uscire [10, § 7]. Nella percezione, il nostro spirito non esce fuori di sé, ma si modifica in virtù di una forza rappresentativa interna a se stesso. Ne consegue che la vita dell'anima è come un sogno, anche se coerente e ben regolato.

Ma come si spiega, allora, l'apparente interazione causale che sembra sussistere fra la monade-spirito e le monadi del corpo negli atti volontari (quando l'anima sembra agire sul nostro organismo fisico), e nelle sensazioni (quando il corpo sembra agire sullo spirito)? E come si giustifica il rapporto che pare sussistere fra la monade-spirito di un individuo e quella di un altro individuo?

Per chiarire l'accordo fra le monadi, Leibniz ricorre, appunto, alla dottrina dell'armonia prestabilita. Secondo Leibniz, l'accordo fra le varie monadi è garantito da Dio grazie a un'armonia prestabilita sin dall'eternità tra le attività di tutte le sostanze, in virtù della quale, nell'istante preciso in cui una sostanza intende agire sull'altra, si verificano in quest'ultima le modificazioni corrispondenti. Secondo Leibniz, per esempio, quando la mia monade-spirito decide che il mio braccio si sollevi, il braccio si muove non a causa della mia volontà, ma perché le monadi del mio corpo sono sincronizzate da Dio a sollevare il braccio proprio quando la mia mente lo vuole. Il sollevarsi del braccio non è l'effetto della mia volontà di sollevarlo. Fra i due eventi non c'è un rapporto di causa ed effetto, ma solo un parallelismo frutto dell'armonia prestabilita.

Questo accordo è operato da Dio una volta per tutte, al momento della creazione. In base al «programma iniziale» stabilito da Dio, tutti gli stati successivi di ogni monade si susseguono l'uno all'altro sviluppandosi dalla natura stessa della sostanza individuale, senza che si verifichi alcun influsso esterno. Ma, contemporaneamente, tutti i suoi mutamenti corrispondono a quelli che avvengono in tutte le altre monadi che sussistono nel suo universo. La perfetta corrispondenza fra le monadi è paragonata da Leibniz alla sincronizzazione di due orologi che, pur essendo ciascuno indipendente dall'altro, segnano sempre la stessa ora. Afferma Leibniz:

I corpi agiscono come se (per assurdo), le anime non ci fossero, e le anime agiscono come se non ci fossero i corpi, e tutti e due agiscono come se gli uni influissero sulle altre» [9, vol. VI, p. 595].

L'armonia prestabilita è però un'interpretazione molto strana del rapporto causale tra i vari esseri giacché, se tale ipotesi fosse vera, tutta la sapienza e tutta la potenza del Creatore sarebbero impiegate per darci l'illusione che le cose agiscono senza agire veramente! Questa concezione di Leibniz spinse il filosofo inglese Bertand Russell, nella *Prefazione* al suo saggio del 1900 *Esposizione critica della filosofia di Leibniz*, ad affermare che la *Monadologia*, a una prima lettura, gli era sembrata «una specie di racconto di fate»¹⁴. Se Russell avesse scritto il suo libro al giorno d'oggi, avrebbe detto probabilmente che il capolavoro leibniziano era paragonabile a 'una storia di fantascienza', tipo *Matrix*.

6. *Matrix* e la *Monadologia*

Singolari sono, infatti, le analogie tra *Matrix* e la metafisica leibniziana. Nel film dei fratelli Wachowski, i prigionieri delle macchine risultano, in un certo senso, delle monadi radicalmente isolate le une dalle altre. Il mondo virtuale in cui vivono i prigionieri, che è proiettato nelle loro menti da *Matrix*, è analogo alle percezioni delle sostanze

individuali di cui parla Leibniz, le quali non dipendono dall'azione della realtà esterna, ma scaturiscono direttamente dal loro interno, in virtù di un disegno divino.

Tuttavia, la Matrice non chiude ogni uomo in un suo universo artificiale individuale: infatti, coordina il programma di ciascuna persona con quello delle altre persone, in modo che tutta l'umanità viva il medesimo universo virtuale. Nel film dei fratelli Wachowski, grazie alla programmazione operata dal super-computer, ciò che accade a un individuo è attestato ed esperito da altri individui, pur non esistendo un rapporto diretto fra gli uomini. Analogamente, le varie monadi leibniziane vivono ognuna per proprio conto, ma sono sempre d'accordo tra loro, perché Dio ha coordinato le percezioni di tutte le sostanze individuali con l'armonia prestabilita. Cosicché, sia in *Matrix* sia nella *Monadologia*, il mondo è una sorta di sogno, che però risulta intersoggettivamente condiviso: anche i prigionieri di *Matrix* hanno sogni simili nello stesso momento.

Nell'universo del film, come in quello di Leibniz, la causalità diventa un'illusione radicale, per cui gli avvenimenti che si credono in rapporto di causa ed effetto non sono altro che avvenimenti in coincidenza per una preordinazione stabilita dall'alto. Per esempio, quando Neo pensa di compiere un movimento con il corpo, e il corpo – nella realtà virtuale – effettivamente lo esegue, il suo pensiero è 'causa' di tale moto non direttamente, ma solo in virtù di un programma di coordinamento stabilito da un super-computer.

Naturalmente, sussistono anche delle profonde differenze tra la situazione descritta da *Matrix* e quella ipotizzata dalla *Monadologia* leibniziana. Infatti, per Leibniz il Creatore dell'armonia prestabilita è un Dio perfettissimo e buono. Invece, nel pessimistico e cupo film dei fratelli Wachowski le macchine che hanno ideato la Matrice sono malvagie e sfruttano gli uomini, dai quali traggono l'energia necessaria per il loro funzionamento.

Ci sono altre differenze tra nell'universo di *Matrix* e la metafisica di Leibniz. Per esempio, in *Matrix* alcuni individui, fra i quali Neo, riescono a scollegarsi dalla Matrice (così, almeno, sembra nel primo film della trilogia); invece, le monadi, secondo Leibniz, non possono interrompere l'armonia prestabilita da Dio, e sono destinate, per tutta la loro esistenza, a rispettare la 'programmazione' fissata, una volta per tutte, all'inizio dei tempi.

I prigionieri della Matrice, poi, possono dirsi simili alle monadi solo perché sono chiusi nel loro mondo interiore e perché non interagiscono fra loro; tuttavia, non risultano certo, come le sostanze individuali leibniziane, dei puri spiriti privi di materia, dato che si tratta pur sempre di individui in carne e ossa.

Infine, tali prigionieri – anche se percepiscono uno spazio illusorio (il mondo del 1999) – risultano comunque collocati in uno spazio reale: infatti, nel 2099, sono disposti all'interno di vasche contigue che li collegano al super-computer. Al contrario, le monadi di Leibniz non esistono in alcuno spazio, in quanto, per il filosofo, spazio e tempo non sono reali ma ideali. Lo spazio – asserisce Leibniz – ben lungi dall'essere una

sostanza, non è neppure un ente. Esso è un ordine, come il tempo: lo spazio è l'ordine della coesistenza, mentre il tempo è l'ordine della successione tra gli eventi attestati dalle percezioni, e questi due tipi d'ordine esistono esclusivamente all'interno di ciascuna monade sotto forma di rappresentazione mentale. Proprio perché spazio e tempo sono relazioni, a giudizio di Leibniz non possono intercorrere tra una monade e l'altra, che non hanno alcun tipo di rapporto esterno fra loro.

A parte queste significative diversità, resta il fatto che *Matrix* può dirsi – utilizzando una terminologia proposta da Julio Cabrera nel suo libro *Da Aristotele a Spielberg. Capire la filosofia attraverso i film* (1999)¹⁵ – un efficace 'concettimmagine' fantascientifico dell'armonia prestabilita leibniziana.

NOTE

¹ Vedi [23, pp. 144-147], Irwin, W., *Computer, caverne e oracoli: Neo e Socrate*, in [7, pp. 7-21], e Griswold Jr., C. L., *La felicità e la scelta di Cypher: l'ignoranza è un bene?*, in [7 pp. 153-167].

² Scrive Locke:

Se l'anima di un principe portando con sé la consapevolezza della vita passata del principe, entrasse a informare di sé il corpo di un ciabattino subito dopo che questo fosse stato abbandonato della propria anima, ognuno vede che egli sarebbe la stessa persona che il principe, responsabile solo delle azioni del principe; ma chi direbbe che si tratta dello stesso uomo? [11, libro II, cap. XXVI, par. 17, , p. 400].

³ A tal proposito, il confronto fra le date di pubblicazione dei romanzi e racconti di fantascienza e molti dei cosiddetti esperimenti mentali che si trovano nella filosofia anglosassone, crediamo, riserverebbe scoperte interessanti. Le pittoresche figure che popolano oggi la filosofia della mente – pipistrelli, neuro scienziati matti o vittime di esperimenti, zombi, cervelli nella vasca, alieni, robot, teletrasportati, superspartani ecc. – hanno abitato la letteratura fantastica prima di quella filosofica.

⁴ Il tema del cervello nella vasca ha avuto, dopo il dibattito suscitato da Putnam, una risonanza tale che qualcuno si è messo a produrre T-shirt con su stampato «*I am a brain in a vat*», che possibile acquistare anche su internet.

⁵ Descartes, R., *Meditazioni metafisiche, Prima meditazione* [1641], in [5, vol. I, pp. 199-204].

⁶ Il dualismo è stata una delle teorie del rapporto mente-corpo fra le più criticate a causa del problema dell'interazione. Dualisti sono stati però, nel Novecento, il premio Nobel (1963) per la fisiologia e medicina John Carew Eccles e il filosofo Karl Popper, che hanno riproposto tale soluzione nel loro libro *L'Io e il Suo Cervello* del 1977 [6].

⁷ Scrive Leibniz:

Bisogna ammettere che la percezione e quello che ne dipende sono inesplicabili mediante ragioni meccaniche, cioè mediante figure e movimenti. Se immaginiamo una macchina costruita in modo che pensi, senta, percepisca, si potrà concepire che venga ingrandita conservando le medesime proporzioni, in modo che vi si possa entrare come in un mulino. Ciò fatto, nel visitarla internamente non si troverà altro che pezzi, i quali si spingono scambievolmente e mai alcuna cosa che possa spiegare una percezione. Cosicché questa bisogna cercarla nella sostanza semplice e non nel composto, o nella macchina [10, pp. 36-37].

⁸ Thomas Nagel, Frank Cameron Jackson.

⁹ Su questi temi vedi [24], [13], [14] e [8].

¹⁰ Ma almeno per l'età moderna andrebbe citato Etienne Bonnot de Condillac.

¹¹ Foerster, H. V., *Cibernetica ed epistemologia: storia e prospettive*, in [1, p. 122].

¹² Per una discussione circa il problema del rapporto mente-corpo anche dal punto di vista della teologia, vedi [3]. Secondo O. Culmann le scritture cristiane insisterebbero più sulla resurrezione dei corpi che sull'immortalità dell'anima. Comunque Tommaso d'Aquino, il cui pensiero è alla base della concezione teologica cattolica, pur sostenendo che l'anima è aristotelicamente forma del corpo, e quindi intimamente legata al corpo, argomenta nei suoi scritti che essa è una forma sussistente in grado di sopravvivere alla morte del corpo, e cioè che è immortale.

¹³ Vedi Žižek, S., *Matrix, ovvero i due lati della perversione*, in [7, pp. 292-328].

¹⁴ Confessa Russell: «Al pari di molti altri, sentivo che la *Monadologia* era una specie di fiaba fantastica [*a kind of fantastic fairy tale*], forse coerente ma del tutto arbitraria» [19, p. 31]. Russell ammette, però, di essersi ricreduto circa la plausibilità delle teorie leibniziane dopo la lettura del *Discorso di metafisica* del 1686 e della corrispondenza fra Leibniz e Antoine Arnauld: «Fu a questo punto che lessi il *Discours de métaphysique* e le lettere ad Arnauld. Un'ondata di luce si riversò improvvisamente in ogni più riposto recesso della costruzione filosofica di Leibniz».

¹⁵ Vedi [2]. Sul rapporto tra il cinema e la filosofia vedi anche [23].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bocchi, G., Ceruti, M. (a cura di), *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano 1985.
- [2] Cabrera, J., *Da Aristotele a Spielberg. Capire la filosofia attraverso i film* [1999], Bruno Mondadori, Milano 2000.
- [3] Canobbio, G., *Il destino dell'anima. Elementi per una teologia*, Morcelliana, Brescia 2009.
- [4] Cappuccio, M. (a cura di), *Dentro la Matrice. Filosofia, scienza e spiritualità in Matrix*, Edizioni Albo Versorio, Milano 2004.
- [5] Descartes, R., *Opere*, 2 voll., Laterza, Roma-Bari 1967.
- [6] Eccles, J. C., Popper, K. R., *L'Io e il Suo Cervello*, 3 voll., Armando, Roma 1981.
- [7] Irwin, W., *Pillole rosse. Matrix e la filosofia*, Bompiani, Milano 2006.
- [8] Lakoff, G., Nunez, R., *Da dove viene la matematica?*, Bollati Boringhieri, Torino 2005.
- [9] Leibniz, G. W., *Die Philosophischen Schriften*, 7 voll., a cura di C. I. Gerhardt, Berlin 1875-90.
- [10] Leibniz, G. W., *Monadologia e Discorso di metafisica*, Laterza, Roma-Bari 1986.
- [11] Locke, J., *Saggio sull'intelletto umano*, Utet, Torino 1971.
- [12] Penfield, W., *Il mistero della mente*, Vallecchi, Firenze 1991.
- [13] Peruzzi, A., From Kant to Entwined Naturalism, *Annali del Dipartimento di Filosofia*, IX (1993), Università di Firenze, Olschki, Firenze 1994.
- [14] Peruzzi, A., *Il significato inesistente*, F.U.P., Firenze 2004.
- [15] Pescatore, G. (a cura di), *Matrix. Uno studio di caso*, Alberto Perdisa editore, Bologna 2006.
- [16] Platone, *Repubblica*, Laterza, Roma-Bari 2007.
- [17] Putnam, H., *Mente, linguaggio e realtà*, Mondadori, Milano 1989.
- [18] Putnam, H., *Ragione, verità e storia* [1981], Mondadori, Milano 1989.
- [19] Russell, B., *La filosofia di Leibniz*, Newton Compton, Roma 1972.
- [20] Salucci, M., *Mente/corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.
- [21] Salucci, M., *La teoria dell'identità*, Le Monnier, Firenze 2005.
- [22] Sani, A., *Il cinema tra storia e filosofia*, Le Lettere, Firenze 2002.
- [23] Sani, A., *Il cinema pensa? Cinema, filosofia e storia*, Loescher, Torino 2008.
- [24] Varela, F., Thompson, E., Rosch, E., *The Embodied Mind*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) 1991.

I COMICS, LA SCIENZA E L'ERRORE*

ANDREA SANI

Società Filosofica Italiana e Liceo Classico Galileo, Firenze

1. Scienza, filosofia e fumetti

Quali sono gli ostacoli che si frappongono alla nostra ragione nel cammino della conoscenza della realtà? Perché il pensiero, talvolta, sbaglia nei suoi giudizi? Gli errori svolgono un ruolo esclusivamente negativo nella ricerca scientifica, o possiedono un'importanza epistemologica? Cercheremo di rispondere a queste domande utilizzando delle argomentazioni logico-filosofiche, ma anche degli esempi illustrativi tratti dal mondo dei *comics*. Seguiremo, infatti, la proposta contenuta nel libro di Pier Luigi Gaspa e del filosofo della scienza Giulio Giorello *La scienza tra le nuvole* [16], dove il fumetto diviene un divertente tramite di comunicazione scientifica.

Oggi, per fortuna, i *comics* non sono più ritenuti una forma di svago antididattico e antiscolastico come in un recente passato, ma vengono addirittura considerati un efficace strumento *educational*. Osserva il 'fumettologo' Luca Boschi nella prefazione al volume di Gaspa e Giorello:

Se ci sono fumetti impiegati come strumenti di divulgazione è un fatto ancora più interessante che ve ne siano altri impegnati a ottemperare alla loro principale funzione di intrattenimento, i quali, mentre raccontano quel tal particolare episodio di un eroe, veicolano elementi di conoscenza in modo insospettabilmente corretto, o comunque degno di nota [16, p. X].

Effettivamente, non è necessario, per coniugare scienza, filosofia e *comics*, ricorrere a opere didascaliche come *La relatività a fumetti* di Bruce Bassett e Ralph Edney [4], o *Il tempo a fumetti*, di Ralph Edney e Craig Callender [12]: può capitare di imbattersi in riferimenti scientifici e filosofici anche nei fumetti popolari o umoristici che, apparentemente, parlano di tutt'altro.

2. Fallacie formali e informali

Tanto per cominciare il nostro discorso sugli errori e sugli ostacoli epistemologici – e ripromettendoci di fare riferimento qua e là ai *comics* – partiamo dalle cosiddette *fallacie*, che insidiano le nostre argomentazioni e le nostre inferenze¹.

Le fallacie, o sofismi, sono ragionamenti che sembrano corretti, ma che, a un esame più attento, non si dimostrano tali. Dei sofismi si servirono abbondantemente i sofisti

* Lezione tenuta a Firenze il giorno 19 novembre 2009, nell'Auditorium del Consiglio regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

nel V secolo a.C., che si basavano sul presupposto sostenuto da Protagora che non esista una verità universale. Secondo la testimonianza di Platone, espressa soprattutto nel dialogo *Eutidemo*, sofisti come Dionisodoro e lo stesso Eutidemo, per i quali a ogni tesi si può contrapporre un'antitesi, proponevano delle argomentazioni ingannevoli per il puro amore della discussione, o per ottenere la meglio in una disputa anche con mezzi scorretti.

Verso la metà del IV secolo, l'arte di prevalere nelle controversie (o eristica) fu esasperata da Ebulide di Mileto, filosofo della scuola di Megara, che passò alla storia per aver proposto alcuni celebri sofismi, fra i quali, per esempio, si segnala quello del *cornuto*, la cui formulazione è la seguente: «Ognuno possiede ciò che non ha perduto. Ora, poiché tu non hai perduto le corna, devi ammettere, dunque, che possiedi le corna» [9, VII, p.186].

Aristotele studiò le fallacie negli *Elenchi* (o *Confutazioni*) *sofistici* [2, vol. II, pp. 646-725], dove ne fece una confutazione sistematica, svelandone la struttura logica. Il grande filosofo greco identificò tredici tipi di fallacie, ma in tempi recenti ne sono stati elencati più di cento, molti dei quali compaiono spesso nel linguaggio comune, nei discorsi dei politici o negli slogan pubblicitari.

La letteratura attuale divide tutte le fallacie in due gruppi²: formali e informali. Le fallacie formali sono quegli schemi argomentativi che non sono validi, ma che possono a prima vista apparire convincenti, perché ricordano alcune forme di argomentazioni codificate dalla logica formale. Ricordiamo che le inferenze logicamente valide sono quelle nelle quali la conclusione è conseguenza logica delle premesse, cioè sono tali che non può darsi il caso che le premesse siano vere e la conclusione sia falsa. Per rendersi conto se un'inferenza non è valida, è sufficiente trovare anche un solo controesempio, cioè descrivere una situazione logicamente possibile in cui le premesse sono vere e la conclusione è falsa.

Una regola logica valida è, per esempio, il *modus tollens* (chiamata così nel Seicento, ma risalente agli Stoici), che esibisce la seguente forma:

- Se *A* allora *B*
- Non *B*
- Quindi, non *A*

Esempio: «Se Andrea è fiorentino, allora Andrea è toscano. Andrea non è toscano. Quindi Andrea non è fiorentino». Una fallacia formale è, invece, la *negazione dell'antecedente*, che possiede una forma simile al *modus tollens*, ma non è valida. Il suo schema formale è questo:

- Se *A* allora *B*
- Non *A*
- Quindi, non *B*

Il ragionamento non è valido, perché se consideriamo il seguente esempio: «Se Andrea è fiorentino, allora Andrea è toscano. Andrea non è fiorentino. Quindi, Andrea non è toscano», e immaginiamo che Andrea sia pistoiese, la conclusione risulta falsa anche se le premesse sono vere. Questa fallacia è molto frequente nella pubblicità, che diffonde slogan del tipo: «Se Tizio beve il brandy XY è un intenditore. Tizio non beve XY. Quindi, Tizio non è un intenditore».

Invece, le fallacie informali sono quegli errori del ragionamento in cui possiamo cadere o per negligenza e disattenzione, o perché tratti in inganno dalle ambiguità del linguaggio. L'errore, in questo caso, va individuato non tanto nella struttura logica della fallacia, ma nel suo contenuto semantico. A loro volta, le fallacie informali si distinguono in fallacie *di rilevanza*, fallacie *di ambiguità* e fallacie *induttive*.

Le fallacie di rilevanza sono argomenti nei quali sono addotti, a sostegno della conclusione, dei dati che non sono rilevanti per la conclusione stessa, e che non risultano quindi idonei a stabilirne la verità. Un esempio di fallacia di questo tipo è il cosiddetto *argumentum ad populum* (appello al popolo), con il quale si cerca di far accettare una tesi come vera, solo perché la maggioranza delle persone pensa che sia tale. Ma anche se un'opinione è largamente diffusa, ciò non vuol dire che sia sempre sensata. Per esempio, dal fatto che molti credono negli oroscopi, pensando che il moto dei corpi celesti eserciti un'influenza sul comportamento delle persone, non segue che il movimento degli astri influenzi davvero le vicende umane.

Le fallacie di ambiguità sono quelle connesse alla vaghezza dei termini che possono figurare in un argomento. Una di queste è la cosiddetta *equivocazione*, che sfrutta il molteplice significato di una parola. Ci sono termini, infatti, che risultano 'relativi', cioè che hanno significati differenti in contesti differenti. Per esempio, la parola "buono" è un termine relativo e conduce a forme di equivocazione, quando si sostiene, per esempio, che un certo individuo x è un 'buon' generale e che, di conseguenza, sarebbe anche un 'buon' presidente. In realtà, le qualità richieste per essere un 'buon' generale non sono le stesse che risultano necessarie per essere un 'buon' presidente.

Infine, le fallacie induttive sono quelle statistiche e probabilistiche, come, per esempio, la fallacia del giocatore, nella quale incorrono molti giocatori d'azzardo, basata sulla convinzione erronea che un evento casuale abbia *più* probabilità di verificarsi perché *non si è verificato* per un periodo di tempo. Così si pensa che, alla roulette, dopo un certo numero di giocate con esito rosso, sia molto probabile che esca il nero. In realtà, la possibilità che tale evento si produca nella prossima giocata non dipende da ciò che si è verificato nelle giocate precedenti, dato che la ruota della roulette non ha memoria, e non può pertanto tenere conto di ciò che è accaduto in passato.

3. *Vader en Zoon*

Nei fumetti, una serie di divertenti fallacie è reperibile nelle strisce della serie *Vader en Zoon* (*Padre e Figlio*, 1970-1987) dell'olandese Peter Van Straaten, pubblicate tra il 1970 e il 1987 sulle pagine del quotidiano olandese *Het Parool*. Una selezione di

queste *strips* è apparsa nel volume di Frans Van Eemeren, Rob Grootendorst e Peter Van Straaten, *L'argomentazione a fumetti. Corso accelerato in venti lezioni* [26]. In questi *comics*, padre e figlio polemizzano su qualsiasi cosa e, pur di contestarsi a vicenda, ricorrono a ogni sorta di espediente, servendosi di fallacie e di continue violazioni delle regole della logica.

«Lo sai cosa proprio non sopporto di questo programma?» – dice il figlio Hans a suo padre mentre guardano insieme la televisione. – «Tutte queste volgarità, queste battute penose. Non ci trovo assolutamente niente da ridere». Ma il padre ribatte: «L'Auditel dimostra che non hai un briciolo di senso dello humour».



Figura 1. Da Van Eemeren, F., Grootendorst, R., e Van Straaten, P., *L'argomentazione a fumetti. Corso accelerato in venti lezioni*, © 2009 Mimesis Edizioni (Milano-Udine).

Dunque, dal fatto che un programma ha un alto indice d'ascolto, il padre conclude che è una trasmissione di qualità. Ma il suo argomento è una fallacia di rilevanza *ad populum*, perché non è detto – soprattutto nel caso dell'arte e della cultura – che la maggioranza sia sempre dalla parte della ragione.

In un'altra striscia, Hans protesta perché, quando chiede a suo padre la spiegazione di qualcosa, quest'ultimo gli risponde sempre «che è così e basta». Allora, nella seconda vignetta, il padre promette di spiegargli tutti i suoi argomenti; ma nella terza e nella quarta vignetta, prosegue: «Lo sai perché è così? Perché lo dico io!».

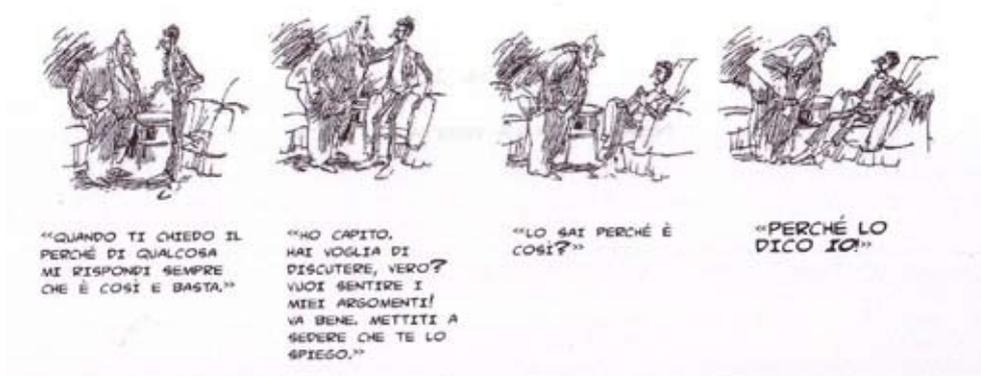


Figura 2. Da Van Eemeren, F., Grootendorst, R., e Van Straaten, P., *L'argomentazione a fumetti. Corso accelerato in venti lezioni*, © 2009 Mimesis Edizioni (Milano-Udine).

La fallacia di rilevanza commessa dal padre in questa striscia è nota come argomento *ad auctoritatem*, in virtù del quale si ritiene vera una certa tesi solo perché essa è sostenuta

da una certa autorità. Naturalmente, in generale, non è del tutto scorretto far ricorso all'opinione di persone esperte nei vari campi dello scibile quando tale parere viene a completare un'argomentazione suffragata da ragioni plausibili e convincenti. Tuttavia, non è l'autorevolezza di un personaggio a rendere vera o falsa una sua asserzione, bensì le ragioni che egli adduce per sostenerla. L'argomento *ad auctoritatem* è usato ancora oggi, per esempio, nella pubblicità, che si serve di *testimonial* per propagandare un determinato prodotto, al quale viene associata l'immagine e la testimonianza di una persona considerata rappresentativa (un esperto, una celebrità, un opinionista, un consumatore-tipo) per rafforzarne la credibilità, o in politica, quando famosi intellettuali o scienziati firmano manifesti a favore di questo o quel partito, e cioè si pronunciano in un ambito nel quale non hanno una specifica competenza.

In una terza striscia, Hans chiede alla ragazza che ama: «Didi, posso dirti una cosa? Sono completamente cotto di te!». Ma Didi, giocando sul significato letterale della parola “cotto”, usa una fallacia di ambiguità per far sapere ad Hans che il suo amore per lei non è corrisposto: «Come sarebbe a dire *cotto*?» replica Didi «a me non sembra di vedere scottature». «Non c'è niente da fare» conclude sconsolato il figlio «basta che tu apra bocca perché ti freghino».



Figura 3. Da Van Eemeren, F., Grootendorst, R., e Van Straaten, P., L'argomentazione a fumetti. Corso accelerato in venti lezioni, © 2009 Mimesis Edizioni (Milano-Udine).

4. Pop Corn e Jak Mandolino

Buffe fallacie si trovano anche nelle avventure a fumetti di *Jak Mandolino* (per gli amici *Jak Violoncello*), sfortunato ladruncolo creato dall'umorista Benito Jacovitti, sempre accompagnato dal simpaticissimo diavolello tentatore (visibile solo a lui) dal significativo nome di *Pop Corn*³ [17].

Il rosso Pop Corn, cacciato dall'Inferno per scarso rendimento, consulta voluminose «guide del tentatore», come *Tentar non nuoce, Il diavolario del perfetto tentatore*, o *Come ti tento il tonto ogni tanto* (probabilmente manuali di eristica!) e si propone quale *coscienza consigliera* del gangster da quattro soldi, a cui suggerisce scippi o furti con scasso. La sua è una *cattiva* coscienza anche perché i suoi suggerimenti finiscono regolarmente nel modo peggiore per Jak Mandolino. Pop Corn lo induce spesso in tentazione con dei sofismi, cioè giocando con la logica, proprio come facevano i sofisti o Ebulide di Mileto, che si servivano di trucchi logici per convincere i loro interlocutori nelle dispute.

«Siamo logici, Mandoli!» esclama Pop Corn, prima di abbindolarlo con i suoi ragionamenti fallaci, che Jak Mandolino, nella sua dabbenaggine, prende inevitabilmente per buoni. In questo caso, è impossibile catalogare le fallacie di Pop Corn in una qualche tipologia codificata, giacché si tratta di una parodia umoristica dei sofismi, e cioè di strampalati stratagemmi che devono soprattutto divertire il lettore (ma già alcuni sofismi della tradizione, come il cornuto, assomigliano molto ai motti di spirito jacovitteschi). Le strisce di Jacovitti mettono in luce evidenza comunque il fatto che i ragionamenti sofisticati portano *intenzionalmente* a conclusioni sbagliate, giacché sono usate da Pop Corn per spingere a delinquere Jak Mandolino. Tant'è vero che alcuni logici distinguono i sofismi dai *paralogismi*, sostenendo che mentre i primi sono caratterizzati dall'intenzionalità dell'inganno, i secondi arrivano a conclusioni false a causa di un errore involontario⁴.

Il demonietto-sofista creato da Benito Jacovitti si inserisce in una tradizione illustre non solo dal punto di vista logico ma anche da quello letterario. Infatti, l'idea del diavolo *loico* risale addirittura a Dante Alighieri e al canto XXVII dell'*Inferno*, dove si descrive la disputa tra San Francesco e il demonio, che si contendono l'anima del conte Guido da Montefeltro. Quando era in vita, il conte offrì un consiglio fraudolento al Papa Bonifacio VIII (Benedetto Caetani), ricevendo dal pontefice un'assoluzione preventiva per questo suo peccato. Dopo la morte di Guido da Montefeltro, il diavolo si impossessa della sua anima perché dimostra a San Francesco che non era possibile che il conte, allo stesso tempo, si pentisse e peccasse, «per la contraddizion che nol consente». Mentre se ne va vittorioso all'*Inferno* trascinando con sé l'anima di Guido, il demonio esclama, rivolgendosi a San Francesco: «Forse tu non pensavi ch'io loico fossi!» [1]. Anche Mefistofele, nel *Faust* di Johann Wolfgang von Goethe suggerisce a uno studente che gli chiede consigli per il suo piano di studi all'università, di iscriversi a un corso di logica [15, parte prima, p. 52].

5. Idoli

Oltre che per effetto dei sofismi o fallacie, il nostro pensiero può sbagliare anche quando viene fuorviato dai pregiudizi. Nel primo libro del *Novum Organum* (1620) [3, vol. 1], Francesco Bacone asserisce che per giungere al sapere che coincide con la potenza, cioè con la capacità di dominare la natura, è necessario che gli uomini eliminino gli illusori fantasmi o *idoli* (*idola*) che appannano «quel mirabile specchio della realtà» che è la mente umana. Gli *idola* sono i pregiudizi, cioè le *false immagini* della realtà, che Bacone distingue in quattro classi. La classificazione baconiana evidenzia in modo efficace i fattori sociali, psicologici, linguistici e culturali che possono condizionare e persino pervertire le capacità di giudizio del nostro intelletto. Bacone ritiene che le cause degli errori argomentativi vadano ricercate non tanto in una teoria logica dell'argomentazione, quanto nell'ambito della psicologia e della critica della cultura.

Il filosofo inglese distingue, innanzi tutto, gli *idoli della tribù* (*idola tribus*), o della

razza umana. Sono pregiudizi che appartengono all'uomo in generale, cioè a cui sottostanno tutti gli uomini. Per esempio, è un idolo della tribù la tendenza a ritenere il mondo più semplice di quanto in effetti non sia, immaginando che nei cieli ogni movimento debba avvenire sempre secondo circoli perfetti e mai secondo spirali o serpentine.

Si hanno poi gli *idoli della spelonca* (o *idola specus*), con un chiaro riferimento al mito platonico della caverna. Sono i pregiudizi di carattere individuale, quelli, cioè, che variano da persona a persona e derivano dall'influsso che esercitano su di noi l'ambiente, il temperamento, l'educazione, gli amici o le letture. Per esempio, un idolo della spelonca è essere attaccati eccessivamente alle proprie scoperte personali esagerandone il significato, come accadde a William Gilbert, il quale, avendo scoperto il magnetismo, pensò che tutta la realtà fosse spiegabile in base ad esso.

Vengono quindi gli *idoli della piazza* (*idola fori*), che provengono dal contatto con i nostri simili, e particolarmente dagli equivoci del linguaggio degli uomini che, nascendo dall'uso 'volgare', porta con sé le tracce dell'ignoranza e dei pregiudizi del pensiero prescientifico. In virtù di questi equivoci, si danno nomi a cose che non esistono (di questa specie sono i nomi di "fortuna", "caso", "primo mobile", ecc.), oppure si intendono cose diverse per gli stessi termini (di questa specie sono i nomi di "libertà", "schiavitù", ecc.).

Ci sono infine gli *idoli del teatro* (*idola theatri*), i quali sono gli errori che derivano all'uomo dal credere alle teorie dei filosofi precedenti, così come al teatro gli spettatori sono soliti credere alle favole che vi si rappresentano. Esempio di tali idoli è per Bacone la filosofia di Aristotele, fondata su «una troppo angusta base di esperienza e di storia naturale».

6. Pippo 'aristotelico'

Che un attaccamento acritico ai pregiudizi possa ostacolare la conoscenza della realtà è umoristicamente dimostrato nelle storie disneyane a fumetti dal personaggio di Pippo, il simpaticissimo compagno di *Mickey Mouse*, sin dall'avventura *Topolino ed Eta Beta, l'Uomo del 2000* (*Mickey Mouse and the Man of Tomorrow*, 1947) di Bill Walsh (sceneggiatura) e Floyd Gottfredson (disegni). Questa vecchia storia, pubblicata in Italia a puntate sui numeri 1-5 del *Topolino* libretto (aprile-agosto 1949) [27], introduce per la prima volta il personaggio di Eta Beta (*Eega Beeva*) nelle avventure di *Topolino* (a cui si ispirerà Steven Spielberg per creare il suo extra-terrestre nel film *E.T. the Extra-Terrestrial* del 1982). Eta Beta è un uomo che proviene dal futuro, esattamente dal 2447, e appartiene a un ulteriore stadio evolutivo dell'umanità. Possiede, infatti, un corpicino filiforme, mani e piedi con un unico dito e una testa spropositata.

Ebbene, Pippo non ne riconosce l'esistenza, malgrado egli veda Eta Beta con i suoi occhi e possa toccarlo e sentirlo, in quanto lo strano personaggio non rientra nella classificazione tradizionale degli esseri viventi. Negando più volte l'evidenza, a partire dal suo primo incontro con Eta Beta in una caverna, Pippo continua ad affermare per tutta

la durata della storia che «Non esiste nessun animale del genere!», e rinforza la propria convinzione constatando che *Eega Beeva* non proietta alcuna ombra sul suolo.



Figura 4. Da Walsh, B. e Gottfredson, F., Topolino ed Eta Beta, l'Uomo del 2000 © Disney.

La sua ostinazione preconcepita ricorda quella degli aristotelici che, all'epoca di Galileo Galilei, condizionati da un *idolo del teatro*, non accettavano le nuove scoperte scientifiche semplicemente perché il testo di Aristotele presentava una tesi contraria ai fatti appurati con l'osservazione. Guarda caso, il nome originale di Pippo in lingua inglese è "Goofy", cioè "sempliciotto": lo stesso appellativo che Galileo assegna nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) allo sciocco interlocutore aristotelico del copernicano Salviati, che si chiama, appunto Semplicio!

Gli aristotelici, come, per esempio, Cesare Cremonini si rifiutavano persino di guardare attraverso il cannocchiale, con il quale si potevano constatare fenomeni in contrasto con l'astronomia aristotelico-tolemaica come i satelliti di Giove (anche se va detto che i rudimentali strumenti di osservazione in possesso di Galileo, e soprattutto la scarsa conoscenza delle leggi dell'ottica, rendevano non del tutto attendibili i risul-

tati dell'osservazione agli occhi dei peripatetici). Fra parentesi, Cremonini *in persona* interviene in una recentissima avventura con i paperi disneyani pubblicata su *Topolino* n. 2824 del 12 gennaio 2010, intitolata *Galileo e l'albero della scienza*, di Augusto Macchetto (testi) e Paolo Mottura (disegni), dove Galileo ha – ovviamente – le fattezze di Archimede Pitagorico, il geniale inventore di Paperopoli, mentre Paperone interpreta il Granduca di Toscana.

Nella seconda giornata del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, un altro personaggio del *Dialogo* galileiano, Sagredo, ci presenta la caricatura del filosofo aristotelico che non accetta l'evidenza dei fatti, perché il testo di Aristotele presenta una tesi a essi contraria. Sagredo, a questo proposito, racconta il seguente episodio, al quale egli stesso dice di aver assistito. Un chirurgo analizza un cadavere per stabilire se i nervi partano dal cervello, come sostiene il medico greco Galeno, o dal cuore, come sostiene Aristotele. Il chirurgo fa vedere a un aristotelico che il fascio dei nervi parte dal cervello. Dopo di che, chiede al peripatetico se egli ora si è convinto che il sistema nervoso non parte dal cuore. L'aristotelico ammette che il chirurgo gli ha fatto vedere la cosa in modo chiaro ed evidente [15, VII, pp. 133-135]. Se Aristotele non dicesse che i nervi partono dal cuore, apertamente egli accetterebbe che partono dal cervello!

Gli aristotelici, dunque, ripetono meccanicamente le tesi del loro maestro anche quando l'esperienza li smentisce. Che questa mentalità fosse realmente rappresentata da certi seguaci di Aristotele avversari della nuova scienza, si può desumere, per esempio, dalle *Esercitazioni filosofiche* del peripatetico Antonio Rocco, che sono una critica al *Dialogo sui massimi sistemi* di Galileo⁵.

7. Pippo e Don Ferrante

Pippo – il Simplicio disneyano – si può paragonare anche al personaggio di Don Ferrante dei *Promessi Sposi* di Alessandro Manzoni, che, al primo propagarsi della peste nel Milanese nel 1629, è uno dei più risoluti a negare l'esistenza del contagio, sempre sulla base di un idolo del teatro, cioè di un pregiudizio legato alla tradizione aristotelica (nel Seicento non si conoscevano ancora microbi e batteri).

«Secondo Aristotele» ragiona Don Ferrante «in natura vi sono solo *sostanze e accidenti*, ossia le proprietà delle sostanze». Ora, il contagio della peste non può essere 'sostanza', perché non è spirituale né materiale (infatti non è aereo, né acqueo, né igneo, né terreo). D'altra parte, il contagio non può essere nemmeno accidente, perché un accidente non può passare da un soggetto all'altro. Quindi il contagio, che non rientra nella categorie mentali dell'aristotelico Don Ferrante, per lui non esiste (proprio come Eta Beta per Pippo).

Ma allora, da che cosa è prodotta la peste? Secondo Don Ferrante, il morbo dipende dagli influssi astrali, e in particolare «dalla fatale congiunzione di Saturno con Giove». Sulla base di questi «bei fondamenti» – commenta Manzoni nel capitolo XXXVII dei *Promessi Sposi* – «Don Ferrante non prese alcuna precauzione contro il contagio, e ovviamente morì di peste».

La morte di Don Ferrante è frutto di una fallacia di tipo induttivo, e cioè della cosiddetta ‘falsa causa’ (denominata anche *post hoc, ergo propter hoc*), che consiste nell’inferire l’esistenza di una relazione causale tra due eventi partendo dalla loro semplice prossimità temporale. Per il fatto che la congiunzione tra Saturno e Giove si è verificata in prossimità temporale alla pestilenza, secondo Don Ferrante il primo fenomeno sarebbe la causa del secondo. Invece, un evento non ne produce un altro solo perché i due eventi risultano temporalmente vicini fra loro.

Se Don Ferrante nega fino alla morte la realtà del contagio pestilenziale, Pippo, nella conclusione dell’avventura *Topolino ed Eta Beta, l’Uomo del 2000*, arriva invece a ricredersi, quando Eta Beta gli salva la vita, impedendogli di precipitare in un burrone mentre sta sciando. «Allora continui a non credere nella sua esistenza?» gli domanda Topolino. «Non credere» esclama Pippo «Ma Eta Beta è il mio più vecchio e caro amico!».

L’atteggiamento pregiudizialmente scettico di Pippo viene ripreso in una serie di storie con la fattucchiera Nocciola (*Witch Hazel*), create in Italia dallo sceneggiatore Carlo Chendi e dal *cartoonist* Luciano Bottaro. In *Pippo e la fattucchiera* [5], Nocciola ha il suo primo, esilarante, confronto con Pippo, che non ammette le sue capacità stregonesche, così come, nelle strisce di Bill Walsh e Floyd Gottfredson, non accettava l’esistenza di Eta Beta. A partire da questo episodio, tutti gli sforzi di Nocciola si concentreranno nel tentativo di far cambiare idea a Pippo, facendogli toccare con mano le conseguenze di incantesimi e sortilegi. Tuttavia, il Pippo di Chendi e Bottaro resterà irriducibilmente convinto che Nocciola è solo una povera vecchietta, un po’ fissata e bisognosa di cure!

Se Pippo vivesse in un mondo come il nostro, in cui gli incantesimi non esistono, la sua inossidabile sfiducia nei confronti della magia sarebbe considerata senz’altro come il frutto di una mentalità scientifica, e potrebbe ricordare, addirittura, lo scetticismo dei membri del CICAP, il Comitato Italiano per il Controllo delle Affermazioni sul Paranormale, nato nel 1989 e che annovera tra i suoi fondatori il giornalista televisivo Piero Angela. Proprio in virtù della sua incredulità a prova di bomba, Pippo sembrerebbe il socio ideale del CICAP! Sennonché nel fantastico mondo Disney, in cui si svolgono le avventure con la strega Nocciola, i sortilegi esistono davvero, e quindi l’atteggiamento pregiudiziale di Pippo risulta del tutto ottuso e caparbio.

8. Topolino sulla scena del crimine

A questo punto, viene però da chiedersi se gli scienziati possano davvero liberarsi di tutti i pregiudizi che li condizionano, come auspicava Francesco Bacone. Bacone riteneva che un ricercatore, prima di iniziare la sua indagine, dovesse purgare la mente da ogni preconcetto, per aderire a un’osservazione ‘pura’. Gli epistemologi contemporanei hanno però rilevato che questa aspirazione baconiana è irrealizzabile. Il filosofo della scienza Karl Popper asserisce che:

Noi operiamo sempre con teorie, anche se spesso non ne siamo consapevoli. [...] L’osservazione pura – cioè l’osservazione priva di una componente teorica – non

esiste. Tutte le osservazioni – e specialmente le osservazioni sperimentali – sono osservazioni di fatti compiute alla luce di questa o di quella teoria [25, p. 128].

L'osservazione sperimentale presuppone già qualche interesse di carattere teorico o pratico che la determina e la guida.

Inoltre, secondo Popper, noi scopriamo che una delle nostre credenze è un preconcetto – come, per esempio, l'idea che la Terra è piatta, o che il Sole si muove – solo *dopo* che il progresso della scienza ci ha portati ad abbandonarla. Non esiste, infatti, alcun criterio in grazia del quale possiamo riconoscere le nostre idee sbagliate *in anticipo* rispetto a questo progresso. Anche lo scienziato è quindi obbligato a coesistere con alcuni pregiudizi. Deve, comunque, esplicitarli il più possibile e sottoporli alla prova, saggiandone la consistenza e la validità: ciò infatti gli darà la possibilità di creare teorie alternative e di discriminare criticamente fra esse. Quello che conta è non continuare a sostenere una certa idea dopo che essa è stata smentita su base sperimentale.

Nei suoi scritti, Popper ha anche sottolineato l'importanza epistemologica dell'errore. Secondo Popper, la scienza non va concepita come una forma di conoscenza indubitabile, dotata di valore assoluto, ma come una forma di conoscenza fallibile, cioè soggetta a errore. A suo giudizio, lo scienziato deve trarre insegnamento dai propri sbagli: in primo luogo correndo dei rischi, osando commettere errori, ossia «propo- nendo arditamente teorie nuove, e, in secondo luogo, andando sistematicamente alla ricerca degli errori che abbiamo commesso» [25, p. 136]. I ricercatori non dovrebbero sforzarsi di confermare le loro ipotesi, trovando evidenze sperimentali che ne accrescano la probabilità; dovrebbero, invece, tentare di trovare prove sperimentali in grado di falsificarle. Infatti, il valore di una teoria consiste nella sua capacità di resistere ai più ingegnosi tentativi di falsificazione.

Questo è anche il metodo seguito dal tenente Barry Bolson della Polizia Scientifica della città di Topolinia, nell'episodio *Topolino sulla scena del crimine*, scritto da Tito Faraci e disegnato da Giorgio Cavazzano [13]. Barry Bolson è la versione disneyana di Gil Grissom (William Petersen), il protagonista di *C.S.I.: Scena Del Crimine*, la serie tv che ha rivoluzionato i canoni del telefilm poliziesco, portando le prove al centro della narrazione e rendendo la scienza vera protagonista della lotta contro il crimine.

Barry Bolson indaga su un furto con scasso avvenuto alla Central Bank di Topolinia, e basandosi su alcuni indizi apparentemente inequivocabili, si convince che l'autore del furto sia addirittura l'insospettabile Topolino. Naturalmente, con l'onestà dello scienziato, Bolson è pronto a ricredersi immediatamente quando l'ipotesi della colpevolezza di Topolino viene smentita dai nuovi elementi probatori. «Ma allora... pensate di esservi sbagliato sul suo conto?», gli chiede perplesso l'agente Mc Flint, quando emergono le prove dell'innocenza di *Mickey Mouse*. «Avevo semplicemente formulato un'ipotesi» ammette Bolson «che ora non concorda con

gli indizi raccolti. E comunque soltanto un babbeo non è mai disposto ad ammettere un errore!».



Figura 5. Da Faraci, T. e Cavazzano, G., Topolino sulla scena del crimine, © Disney.

Con queste poche parole, lo sceneggiatore Tito Faraci sintetizza efficacemente il metodo scientifico per prove ed errori, che Popper riassume in tre momenti:

1. inciampiamo in qualche problema;
2. tentiamo di risolverlo, ad esempio proponendo qualche nuova teoria;
3. impariamo dai nostri sbagli, specialmente da quelli che ci sono resi presenti dalla discussione critica dei nostri tentativi di risoluzione [25, p. 146].

Persino un'ameba – sostiene Popper – cerca, come Einstein, di risolvere i suoi problemi di adattamento all'ambiente correggendo i propri errori. Ma la differenza importante tra il metodo dell'ameba e quello di uno scienziato consiste nel fatto che l'ameba si imbatte casualmente nei suoi sbagli, mentre lo scienziato cerca deliberatamente l'errore nelle sue teorie, mettendole alla prova e cercando di falsificarle. Prima si trova un errore, prima lo si potrà eliminare con l'invenzione di una teoria migliore di quella precedente.

9. Si può ragionare in modo logicamente scorretto?

È interessante rilevare che gli scienziati, oltre a non poter eliminare del tutto i loro pregiudizi e a dover imparare dai propri errori, fanno talvolta ricorso anche a delle fallacie. La scorrettezza logica non è sempre indice di mancanza di razionalità. Si può ragionare anche in modo logicamente scorretto.

A questo proposito, il filosofo statunitense Charles Sanders Peirce, osserva che quando si cercano le cause di qualche fenomeno, è utile ricorrere al cosiddetto procedimento *abduittivo*. L'*abduzione* è, però, un'inferenza piuttosto problematica, perché si fonda su una regola logicamente non valida, l'*affermazione del conseguente*, che risulta, secondo la classificazione che abbiamo citato all'inizio, una fallacia di carattere formale. Vediamo nel dettaglio di che cosa si tratta.

Fra le regole logiche valide c'è il cosiddetto *modus ponens*:

- Se A allora B
- A
- Quindi, B

Un esempio di *modus ponens* è il seguente ragionamento: «Se è piovuto, allora la strada è bagnata. Ma è piovuto. Quindi, la strada è bagnata». L'affermazione del conseguente è una regola che ricorda molto da vicino il *modus ponens*, ma che non risulta valida. Il suo schema inferenziale è questo:

- Se A allora B
- B
- Quindi, A

Se ritorniamo all'esempio proposto sopra, adattandolo al nuovo schema inferenziale, ci rendiamo subito conto che l'affermazione del conseguente è un ragionamento fallace. Infatti, «Se è piovuto, allora la strada è bagnata. Ma la strada è bagnata. Quindi, è piovuto», non è un argomento valido, perché la strada potrebbe essere bagnata anche per qualche altro motivo (per esempio se qualcuno ha gettato sulla strada delle secchiate d'acqua).

Eppure applichiamo spesso l'affermazione del conseguente nei nostri ragionamenti quotidiani: quando sappiamo che è vera «se A , allora B » (per esempio: «se non hanno benzina le auto non partono»), e osserviamo che è vera B («la mia auto non parte»), possiamo *supporre* che A sia la causa di B (cioè che la causa della mancata partenza sia la mancanza di benzina, anche se l'auto potrebbe non partire per altre ragioni, perché, per esempio, ha la batteria scarica). Questa forma di ragionamento, detta appunto *abduzione*, è usata anche nella ricerca scientifica, nelle diagnosi mediche e nelle indagini poliziesche degli investigatori.

Possedendo solo un accesso parziale alle informazioni che sarebbero rilevanti, a causa della limitatezza della nostra conoscenza della realtà, spesso siamo costretti a *saltare alle conclusioni* a partire da informazioni incomplete. Tuttavia, proprio perché il ragionamento abduittivo non è di per sé valido, non ci mette al riparo da eventuali errori: la sua conclusione è una congettura sulla realtà che ha bisogno di una conferma esterna, e cioè necessita di una prova sperimentale⁶.

Consideriamo questo classico esempio di abduzione da libro giallo: l'investigatore sa che se l'assassino fosse molto grasso, allora egli produrrebbe facilmente delle impronte molto profonde nella neve. Ora, è un fatto che l'assassino ha lasciato delle impronte molto profonde nella neve; dunque l'assassino è il più corpulento degli indagati, che pesa oltre un quintale. Questa inferenza abduittiva non conduce necessariamente alla conclusione giusta. Infatti, nella circostanza riportata sopra, non è detto che dalle impronte si possa risalire al peso della persona che le ha lasciate, dato che il vero assassino potrebbe essere magro, ma avere portato sulle spalle uno zaino molto pesante. La conclusione va dunque confermata con una prova, per escludere le altre ipotesi che

potrebbero condurre allo stesso risultato.

Sulla necessità della prova nel ragionamento abduttivo, è illuminante un esempio scientifico di abduzione proposto da Umberto Eco nella sua raccolta di saggi *Sugli specchi* [10, p. 167]:

Keplero ha appreso da chi lo ha preceduto che le orbite dei pianeti sono circolari. Poi osserva due posizioni di Marte e rileva che esse toccano due punti (x e y) che non possono essere i due punti di un cerchio. Il caso è curioso. Non sarebbe più curioso se si assumesse che i pianeti descrivono un'orbita che può essere rappresentata da un altro tipo di curva e se si potesse verificare che x e y sono due punti di questo tipo di curva (non circolare). Keplero deve dunque trovare una legge diversa. Potrebbe immaginare che le orbite dei pianeti sono paraboliche, o sinusoidali... Non ci interessa (in questa sede) sapere perché egli pensa alla ellisse (ha le sue buone ragioni). Quindi egli fa la sua abduzione: se le orbite dei pianeti fossero ellittiche e le due posizioni rilevate (x e y) di Marte fossero un Caso di questa legge, il Risultato non sarebbe più sorprendente. Naturalmente a questo punto egli deve controllare la sua abduzione fingendo una nuova deduzione. Se le orbite sono ellittiche (se almeno l'orbita di Marte è ellittica), si deve attendere Marte in un punto z , che è un altro punto dell'ellisse. Keplero lo attende, e lo trova. In linea di principio l'abduzione è provata. Si tratta solo, ora, di fare molte altre verifiche e di provare se l'ipotesi possa essere falsificata.

10. Sherlock Holmes e l'abduzione

Usando una procedura logica abduttiva, Sherlock Holmes, il celebre detective creato da Arthur Conan Doyle, azzecca sempre l'identità del colpevole. Ma può farlo solo perché è un personaggio di fantasia, che possiede l'infalibilità degli investigatori della letteratura poliziesca⁷. Infatti, nei romanzi polizieschi, le prove non sono necessarie: Sherlock Holmes immagina la soluzione del caso che sta esaminando, e subito dopo il suo assistente, il dottor Watson, convalida a parole la sua ipotesi. Invece, nella realtà, le abduzioni sono più rischiose e risultano sempre esposte al fallimento.

Le infallibili inferenze abduttive di Holmes sono presenti anche nelle suggestive riduzioni a fumetti delle sue avventure, realizzate da Giancarlo Berardi (testi) e Giorgio Trevisan (disegni), che, proprio grazie alle immagini, rendono ancora più evidenti le modalità di indagine del personaggio di Conan Doyle.

Per esempio, nella storia *Uno scandalo in Boemia*, primo episodio dell'albo a fumetti *I casi di Sherlock Holmes* [7], Holmes abduce dal comportamento dell'amico dottor Watson, ritornato a trovarlo dopo una lunga assenza, che il dottore ha ripreso a esercitare, che qualche giorno prima si è infradiciato, e che ha una cameriera maldestra. «Nel Medioevo» commenta Watson, stupito per le capacità quasi divinatorie di Sherlock Holmes «vi avrebbero bruciato come stregoni!».

In realtà, Holmes si è limitato a trarre le sue conclusioni da alcuni indizi: ha osservato che la parte interna della scarpa di Watson è segnata da sei tagli, come se qualcuno

avesse cercato di raschiare via del fango incrostato. Da ciò ha ricavato la sua doppia abduzione, e cioè che il dottore è uscito con un tempo pessimo e che tra la sua servitù londinese si è scelto un elemento incapace, almeno in fatto di pulitura di scarpe. Quanto alla ripresa della professione di medico, Holmes ha abdotto questa conclusione dal fatto che Watson puzza di iodoformio, ha sull'indice destro una macchia nera di nitrato d'argento e un rigonfiamento sul cappello che indica dove tiene nascosto lo stetoscopio.



Figura 6. Da Berardi, G. e Trevisan, G., I casi di Sherlock Holmes, © Le Mani – Microart's Edizioni.

«Santo cielo» commenta Watson «sembra tutto così ridicolmente ovvio, dopo! Eppure sono sicuro che i miei occhi sono capaci di vedere né più né meno di quanto vedono i suoi!». «Proprio così» osserva Holmes «Però lei vede, ma non osserva!».

Potremmo comunque replicare che Holmes osserva ogni dettaglio con grande attenzione, ma che giunge sempre a conclusioni valide, senza sbagliare mai, pur servendosi di un'inferenza abduittiva che non contiene in sé la propria validità logica, solo perché glielo permette l'immaginifico creatore dei suoi racconti!

NOTE

¹ Sull'argomento, vedi [19]. Sulle fallacie, vedi anche [8].

² Vedi Benzi, M., *Il problema logico delle fallacie*, in [19].

³ Le disavventure di *Jak Mandolino*, scritte e disegnate da Benito Jacovitti, compaiono sui settimanali per ragazzi il *Vittorioso* e il *Corriere dei Piccoli* negli anni Sessanta e Settanta del Novecento.

⁴ Altri logici respingono la distinzione fra sofisma e paralogismo, perché fondata su considerazioni di natura psicologica e quindi non concernenti strettamente la logica.

⁵ Scrive Sofia Vanni Rovighi:

Antonio Rocco alle osservazioni astronomiche di Galileo risponde, per esempio, che se certi fenomeni celesti osservati da Galileo fossero reali, anche gli antichi astronomi, tanto famosi, avrebbero dovuto vederli; e all'obiezione che gli antichi non li hanno osservati perché non avevano il telescopio, dà due risposte: la prima, che, poiché erano tanto bravi, gli antichi dovevano certo avere scoperto anche il telescopio; la seconda, in tono ironico, che Galileo dovrebbe mandare in giro il suo libro insieme col telescopio per essere creduto.

Questi argomenti si possono leggere nelle citate *Esercitazioni filosofiche*, pubblicate nell'Edizione Nazionale delle *Opere* di Galileo, vol. VII, p. 623 e p. 627 [14, p. 4].

⁶ Per le critiche al ragionamento abduttivo, vedi [22, pp. 48-52 e pp. 213-216].

⁷ Sul metodo abduttivo di Sherlock Holmes, vedi [11].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alighieri, D., *Inferno*, canto XXVII, vv. 122-123.
- [2] Aristotele, *Confutazioni sofistiche*, in Aristotele, *Organon*, 3 voll., Laterza, Roma-Bari 1970.
- [3] Bacone, F., *Nuovo Organo* [1620], in Bacone F., *Opere filosofiche*, 2 voll., vol. I, a cura di E. De Mas, Laterza, Roma-Bari 1965.
- [4] Bassett, B., Edney, R., *La relatività a fumetti*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2008.
- [5] Berardi, G., Trevisan, G., *I casi di Sherlock Holmes*, Le Mani, Recco-Genova 2000.
- [6] Berardi, G., Trevisan, G., *Sherlock Holmes. Elementare Watson*, Le Mani, Recco-Genova 2000.
- [7] Chendi, C., Bottaro, L., Pippo e la fattucchiera, *Topolino*, Mondadori, Milano, n. 236 del 5 giugno 1960.
- [8] Copi, I. M., Cohen, C., *Introduzione alla logica*, Il Mulino, Bologna 2002.
- [9] Diogene Laerzio, *Vite dei filosofi*, 2 voll., trad. it. di M. Gigante, Laterza, Roma-Bari 1985.
- [10] Eco, U., *Sugli specchi e altri saggi*, Bompiani, Milano 1985.
- [11] Eco, U., Sebeok, T. A., *Il segno dei tre. Holmes, Dupin, Peirce*, Bompiani, Milano 1983.
- [12] Edney R., Callander C., *Il tempo a fumetti*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2009.
- [13] Faraci, T., Cavazzano, G., Topolino sulla scena del crimine, *Topolino*, The Walt Disney Company Italia S. p. A., Milano, n. 2656 del 24 ottobre 2006.
- [14] Galilei, G., *Antologia*, a cura di S. Vanni Rovighi, La Scuola, Brescia 1982.
- [15] Galilei, G., *Opere*, edizione nazionale a cura di Favaro, A., 20 voll. in 21, Giunti-Barbera, Firenze 1890-1909 (ristampe 1929-1939, 1964-1966, 1968).
- [16] Gaspa, P. L., Giorello, G., *La scienza fra le nuvole*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2007.
- [17] Jacovitti, B., Jak Mandolino, *Corriere dei Piccoli*, settimanale illustrato del *Corriere della Sera*, Milano, n. 11 del 17 marzo 1968.
- [18] Goethe, J. W., *Faust*, Einaudi, Torino 1967.
- [19] Mucciarelli, G., Celani, G., *Quando il pensiero sbaglia. La fallacia tra Psicologia e Scienza*, Utet Libreria, Torino 2002.
- [20] Palladino, D., La fallacia dell'affermazione del conseguente, *Nuova Secondaria*, La Scuola, anno XXVI, n. 3, 2008, p. 89.
- [21] Peirce, C. S., *Collected papers of Charles Sanders Peirce*, 8 voll., a cura di C. Hartshorne, P. Weiss, A. W. Burks, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1977.
- [22] Peruzzi, A., *Modelli della spiegazione scientifica*, Firenze University Press, Firenze 2009.

-
- [23] Popper, K., *Congetture e confutazioni* [1963], 2 voll., Il Mulino, Bologna 1972.
- [24] Popper, K., *Logica della scoperta scientifica*, Torino, Einaudi, 1972.
- [25] Popper, K., *Problemi, scopi e responsabilità della scienza*, in *Scienza e filosofia*, Einaudi, Torino 1969.
- [26] Van Eemeren, F., Grootendorst, R., Van Straaten, P., *L'argomentazione a fumetti. Corso accelerato in venti lezioni*, Mimesis, Milano-Udine 2009.
- [27] Walsh, B., Gottfredson, F., Topolino ed Eta Beta, *l'Uomo del 2000* [1947], *Topolino*, Mondadori, Milano, nn. 1-5, 1949.

Storia del pensiero

OROSCOPI E SCIENZA NEL SEICENTO*

MARIAPIERA MARENZANA

già Docente di Lettere presso l'Accademia Nazionale di Danza, Roma

Davvero Galileo faceva oroscopi? Ma ... ci credeva? Sono due domande che mi sono sentita rivolgere più volte. La prima di esse sembra indicare, in chi la pone, incredulità, ma anche delusione nei confronti di Galileo, razionale fondatore del metodo scientifico; ma può anche rivelare un inconfessato desiderio di gettare discredito sullo scienziato; oppure, nella speranza di risposta positiva, denotare una ricerca di garanzia per la validità della pratica astrologica. La risposta alla prima domanda è semplice: sì, Galileo fece un certo numero di oroscopi in un periodo ben determinato della sua vita.

Quanto alla seconda domanda, la risposta potrebbe essere altrettanto netta. Tuttavia, prima di darla, prenderò in esame diversi elementi di carattere intellettuale, psicologico e storico, al fine di condurre il lettore a formulare una risposta in proprio, nonché di fargli conoscere e apprezzare meglio lo scienziato anche in rapporto all'epoca e all'ambiente in cui visse. A chi volesse poi approfondire l'argomento, suggerisco di leggere un esauriente e ben documentato libro di Andrea Albini [1] e di rileggere *I promessi Sposi*, davvero illuminanti nell'accurata descrizione di diversi aspetti del Seicento, secolo tormentato, sospeso tra nuove istanze e oscurantismi tenaci.

Occorre appena ricordare, credo, che l'astrologia, seppure in forme semplificate, è viva e vegeta tutt'oggi, sopravvissuta ad altre pratiche magiche o alchemiche del passato. Noi tutti conosciamo la costellazione sotto la quale siamo nati, sbirciamo – magari per sorriderne – gli oroscopi, spesso contraddittori, che compaiono nella stampa, in tv, e serpeggiano in rete; sappiamo di politici illustri, di attori, di psicoanalisti (jungiani) che in essa hanno fiducia, e conosciamo anche il colossale giro di affari che ruota attorno all'astrologia. Il segretario del CICAP Massimo Polidoro ci ricorda che sei italiani su dieci dicono di credere all'oroscopo, e che ben dieci milioni di nostri connazionali si rivolgono ogni anno, sia pure sporadicamente, a maghi, cartomanti, astrologi, indovini (che sono ben 155.000, secondo i dati dell'Osservatorio Antiplagio di Cagliari). Con la schiettezza lapidaria che la caratterizza, scrive in proposito Margherita Hack: «La scienza ha fatto passi da gigante, ma la credulità per tanta parte della popolazione è rimasta al 1600».

1. Il tempo dei maghi

Lo storico della scienza Paolo Rossi definisce il secolo che va dal 1550 al 1650 come “il tempo dei maghi” [3]. Definizione sorprendente, per chi pensa a quel secolo come

* Lezione tenuta a Firenze il 6 novembre 2009, presso l'istituto ITIS Meucci, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

al momento in cui è nata la scienza quale la intendiamo noi oggi. Tuttavia è ben vero che il pensiero magico è ancora, in quel lasso di tempo, al centro della cultura europea. Basti prendere in considerazione alcune delle più influenti personalità dell'epoca, tutte ancora, seppure in diversa misura, affascinate o influenzate dal pensiero magico. E non penso tanto al medico-mago Paracelso che, utilizzando minerali e metalli nella cura delle malattie, anticipò certi aspetti della medicina moderna, pur ritenendo al contempo che nel corpo umano ci fosse una specifica entità sensibile agli influssi astrali [2], quanto a filosofi e scienziati del calibro di Campanella, Bruno, Bacone, Keplero, Cartesio, per spingerci con Newton, Leibniz e altri ancora ben oltre la soglia del Settecento! Non è possibile in questo contesto esaminare in quale modo riescano a convivere in quelle menti pensiero moderno e pensiero magico, ma è interessante notare come quest'ultimo abbia sorprendentemente stimolato in qualche caso geniali e corrette intuizioni.

Un solo esempio: Keplero arriva a formulare la sua terza legge orbitale – quella che pone in rapporto il cubo dei semiassi maggiori delle ellissi planetarie con il quadrato dei tempi impiegati a percorrerle – sulla base del fatto che $3/2$ caratterizza l'intervallo musicale di quinta perfetta, quello che contiene al più alto grado gli elementi essenziali dell'armonia, e sulla convinzione che Dio, musicista perfetto e perfetto meccanico, doveva aver utilizzato gli stessi criteri nella costruzione della musica e in quella dell'universo. Naturalmente non si può escludere che Keplero avesse qualche argomento più valido per giungere a tale conclusione, ma è certo che il fatto che usasse simili considerazioni contribuì a creare in Galileo diffidenza nei suoi confronti.

Occorre anche ricordare che nel Seicento varie corti europee costituivano centri di attrazione per maghi e astrologi, consultati dai regnanti – cui venivano talvolta attribuiti poteri taumaturgici – prima di prendere decisioni su questioni importanti quali di pace e di guerra, ma anche del tutto futili, come l'opportunità o meno di fare un bagno. Astronomia e astrologia costituivano ancora due facce di una stessa disciplina: la prima era una scienza pratica, che aveva il compito di raccogliere dati, la seconda svolgeva la funzione di interpretare quei dati attribuendo loro dei significati.

Galileo a Padova, ove occupava la cattedra di matematica per i medici, aveva l'obbligo di insegnare ai suoi studenti come calcolare il moto delle stelle, affinché essi ne potessero trarre oroscopi utili nella pratica medica. Si riteneva infatti che lo zodiaco influenzasse le diverse parti del corpo e che fosse quindi importante sapere, ad esempio, se era meglio applicare un salasso su un braccio piuttosto che su una gamba, sul lato destro del corpo oppure sul sinistro, nonché conoscere l'ora del giorno più propizia all'intervento.

Non c'è passo, nel suo pur vasto epistolario e nella sua intera produzione scientifica, in cui Galileo si dimostri sensibile ad accogliere suggestioni magiche e occultiste. Anzi, tale è la sua diffidenza da indurlo a interrompere la corrispondenza con Keplero (come si è detto, meno rigoroso in proposito), trascurando così il contributo essenziale che ne avrebbe potuto trarre in difesa del sistema copernicano; e addirittura a formulare una teoria errata delle maree, uno dei suoi errori più gravi, pur di non tenere in conto l'attrazione lunare, troppo inflazionata in campo astrologico.

2. Occhi al cielo

Da sempre gli uomini hanno rivolto gli occhi al firmamento, affascinati, a volte intimoriti dalla sua misteriosa e pulsante bellezza. Hanno osservato che la volta stellata si sposta con il procedere della notte e il variare delle stagioni; hanno seguito con stupore il percorso delle comete attraverso il cielo; hanno visto le eclissi di luna e quelle inquietanti del sole, e la loro vita è stata per millenni governata dal sorgere e dal tramontare del nostro astro.

Naturale che si siano posti delle domande, che abbiano cercato delle spiegazioni ai fenomeni meravigliosi di cui erano testimoni, e che, in assenza di strumenti scientifici, abbiano fatto ricorso alla loro fantasia e immaginazione, raggruppando le stelle in figure che credevano di intravedere, secondo un ordine simbolico ma del tutto arbitrario, attribuendo loro caratteristiche e poteri divini, creando miti e favole stupende che parlavano di vita, amore, morte. Naturale che ritenessero quell'universo immenso, all'apparenza vivente, capace di trasmettere influssi, positivi o negativi, sulla Terra, sugli uomini, sui raccolti, sulle maree; e che cercassero di interpretare a proprio vantaggio le forze segrete che lo regolavano.

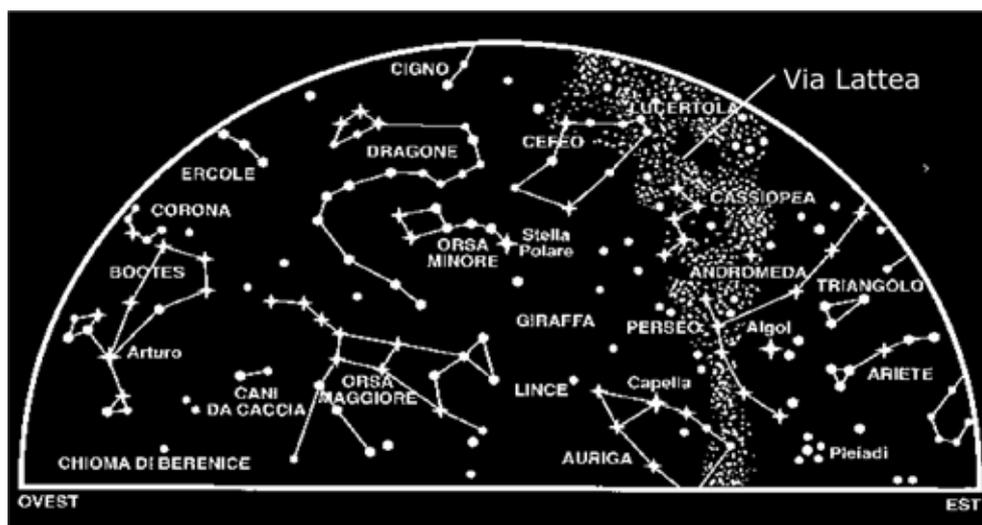


Figura 1. Costellazioni.

Le origini dell'astrologia si perdono nella notte dei tempi. I cinesi antichi, così come gli indiani, che avevano entrambi costellazioni diverse dalle nostre, attribuivano grande importanza all'astrologia. In Cina l'autorità dell'imperatore, ritenuto di natura divina, dipendeva anche dalla sua capacità di prevedere e annunciare in tempo le eclissi; di qui il gran conto in cui erano tenuti a corte gli astronomi/astrologi, ma anche le pene severissime, non esclusa la morte, cui erano sottoposti in caso di errati calcoli e previsioni.

Anche presso i Caldei, i Sumeri, gli Egizi, i Greci, i Romani l'astrologia fu in auge, così come in seguito presso gli Arabi e per tutto il Medio Evo, fino e ben oltre quel Seicento di cui ci stiamo qui occupando.

3. Un mestiere difficile

Il mestiere dell'astrologo, contrariamente a quanto si potrebbe supporre leggendo le futili previsioni che inondano i nostri mezzi di comunicazione, era un mestiere assai difficile e ingrato. Inanzitutto richiedeva una buona conoscenza dell'astronomia e della matematica, al fine di poter stabilire, attraverso una serie di calcoli matematici complessi, e facilmente suscettibili di errori, i rapporti di posizione tra gli astri e la Terra. Ma c'erano altre difficoltà. Poche persone sapevano con esattezza il giorno e il momento della propria nascita, necessari per calcolare l'ascendente e dedurne l'oroscopo natale, la *natività*. Inoltre lo stesso giorno poteva avere date diverse nelle diverse parti d'Italia e d'Europa: la riforma del calendario voluta da Gregorio XIII nel 1582, che aveva tolto dieci giorni a ottobre, venne recepita con molto ritardo in Toscana e nei paesi protestanti; per qualche tempo ci fu un anno di differenza tra Roma e Firenze; in alcuni luoghi il giorno aveva inizio a mezzogiorno, in altri al tramonto. Infine, e non meno grave, non c'era alcun accordo sulle procedure necessarie a interpretare i dati ottenuti. Quanti problemi per chi, in buona fede, avesse voluto sulla base della data di nascita prevedere il futuro di una certa persona! Ma anche quante possibili giustificazioni agli inevitabili errori del pronostico!

Oggi, la categoria degli astrologi in buona fede, che ritengo siano sempre stati assai pochi, se non fosse estinta, dovrebbe confrontarsi con problemi diversi, ma non meno difficili. Un esempio: tener conto del fatto che noi non vediamo le stesse costellazioni degli uomini antichi, a causa della precessione degli equinozi, cioè del fatto che la volta celeste muta per effetto della lenta rotazione, tipo trottola, dell'asse terrestre rispetto alle stelle fisse.

Tuttavia, ancor oggi gioca, a favore degli astrologi, la tendenza degli uomini a ricordare solo le previsioni che casualmente si avverano, e soprattutto il forte desiderio di credere che il nostro destino non sia solo frutto del caso, che sia scritto da qualche parte, e pertanto che, potendolo prevedere, se ne possano parare i tiri mancini. Senza contare che le previsioni contengono sempre qualcosa di consolatorio, offrono illusioni e speranze, ed è ciò di cui noi uomini amiamo nutrirci.

Un bell'esempio dell'ostinazione nel voler credere all'influenza degli astri è rappresentato da un personaggio illustre, Curzio Picchena, segretario di Stato del Granduca di Toscana, il quale si lamenta con Galileo che l'oroscopo da lui fatto fare a un certo Brenzoni in occasione della nascita di una sua figlia si sia rivelato sbagliato (la bimba non è mai stata in pericolo di vita, non ha ricevuto alcuna eredità, ecc.), ma ritiene che gli errori siano dipesi dal fatto che la nascita era stata annunciata con mezz'ora di ritardo, compromettendo così i calcoli astrologici!

4. La *stella nova*

Nel 1604 compare una nuova stella, una *supernova* nelle conoscenze attuali, che illumina i cieli d'Europa, e la cui luce varia di intensità fino ad esaurirsi nel giro di diciotto mesi. Il fenomeno, già osservato nel 1572 e certamente anche in precedenza, se non

costituisce una prova a favore della teoria copernicana, di certo infligge un duro colpo alla teoria aristotelica dell'incorruttibilità dei cieli. Per Aristotele l'universo era costituito dal mondo sublunare – in cui tutto poteva accadere, anche pioggia di ranocchi e di vermi, di carne e di sangue –, un mondo corruttibile soggetto a mutazioni, e da un mondo sopralunare, in cui i corpi celesti, la Luna, il Sole, gli altri pianeti e le stelle fisse, costituiti di etere, erano perfetti e immutabili.

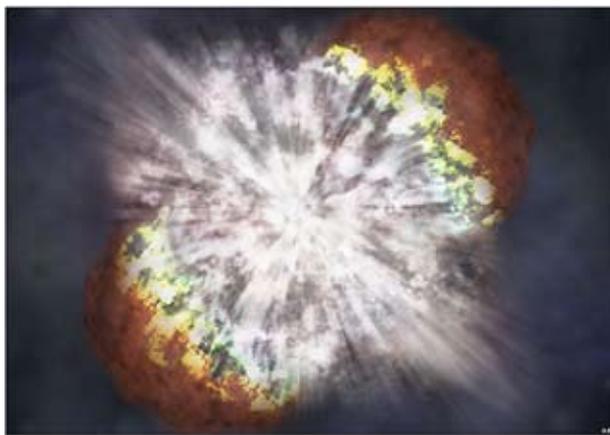


Figura 2. Immagine artistica di una supernova.

Pertanto gli aristotelici ritengono che la *stella nova* sia un fenomeno atmosferico, sublunare; Galileo, al contrario, è convinto che si tratti di una stella situata oltre il cielo della Luna, e tiene in proposito a Padova tre lezioni che gli valgono duri attacchi da parte degli avversari. In risposta a tali attacchi esce un libro in dialetto padovano, il *Dialogo de Cecco da Ronchitti da Bruzene*, in cui due contadini dotati di sano buonsenso, Matteo e Natale, si prendono gioco degli avversari e si sbellicano dal ridere commentando le nuove predizioni astrologiche legate alla *nova*. Il *Dialogo*, se non di mano di Galileo è certamente da lui ispirato: vi riconosciamo la sua attenzione all'esperienza e al significato delle osservazioni, la sua insofferenza per ogni affermazione gratuita o arbitraria, la sua ironia implacabile e graffiante.

5. Gli oroscopi di Galileo

Tra il 1600 e il 1602 Galileo fa una ventina di oroscopi, per sè, per il fratello Michelangelo, l'amico Sagredo, la sorella Virginia, per la nascita dei figli e di nipoti. Ma anche per chi glieli commissiona e glieli paga 60 lire ognuno, somma corrispondente a ben due mesi di stipendio di un manovale. Galileo, dopo la morte del padre, deve far fronte alle continue richieste di denaro provenienti dalla sua famiglia d'origine, e provvedere alla propria. È costretto a chiedere a più riprese ai rettori dello Studio di Padova anticipi sullo stipendio e miglioramenti economici. Dà lezioni private a diversi studenti, alcuni ne tiene a pensione in casa, vende strumenti matematici costruiti, sotto la sua guida in una officina adiacente alla sua casa, da un abile tecnico, Marcantonio Mazzoleni. Nel 1605 è denunciato all'Inquisizione per attività astrologica, ma anche per concubinaggio, e perché non frequenta messa. Come si vede, si comporta in maniera imprudente,

come è nella sua natura, in un'epoca, quella della Controriforma cattolica, in cui il peccato più frequente e necessario è l'ipocrisia.

Nel 1609, su richiesta di Madama Cristina di Lorena fa l'oroscopo di Ferdinando I di Toscana, il quale però muore pochi giorni dopo! Gli succede Cosimo II, cui Galileo dedica il *Sidereus Nuncius*, accompagnato da una *natività* (la più favorevole di due fatte!).

6. Chiesa e astrologia

La posizione della Chiesa nei confronti dell'astrologia è, nel Seicento, ambigua e mutevole: dice *sì* all'astrologia naturale, che riguarda le previsioni metereologiche, la navigazione, la medicina; ma dice *no*, ed è un *no* netto, all'astrologia "giudiziaria", che si occupa del destino dell'uomo, in quanto confligge con il libero arbitrio, con l'onnipotenza divina, con la dottrina dei premi e delle punizioni come conseguenza delle azioni compiute. E soprattutto dice *no* all'astrologia se interferisce con il potere politico e religioso. Il concilio di Trento condanna astrologia e superstizioni; e la condanna viene ribadita nel 1586 da Sisto V, ma la pratica rimane largamente diffusa anche tra ecclesiastici e papi.

7. Il metodo Galileiano

Osservazione, sperimentazione, deduzione logica, applicabilità generale sono le basi del metodo galileiano. Scrive Galileo già nel 1611 in una lettera a Piero Dino – e ribadirà il concetto più volte in seguito – che occorre imparare non dalle «carte scritte» ma in «questo grandissimo libro, che essa natura continuamente tiene aperto innanzi a quelli che hanno occhi nella fronte e nel cervello», aggiungendo che i dubbi derivano solo da «*discorsi et imaginationi*». Nessuna concessione, in Galileo, ad affermazioni dogmatiche: sa che non è possibile dimostrare l'esistenza di ciò che non esiste, né l'inesistenza.

8. Il *Sidereus Nuncius*

In questo libretto di sole 56 pagine, scritto in latino e pubblicato a Venezia nel marzo del 1610, Galileo espone le straordinarie scoperte fatte osservando il cielo con il cannocchiale da lui abilmente perfezionato: la Luna non è una sfera di cristallo, ma ha una superficie tormentata da monti e valli, in tutto simile alla Terra; la Via Lattea è un ammasso di stelle, attorno a Giove girano quattro pianeti, Venere ha delle fasi simili a quelle lunari, l'universo appare immenso...



Figura 3. Giove e i quattro satelliti galileiani ripresi con normale macchina fotografica e teleobiettivo.

Il libro contiene solo osservazioni, nessuna argomentazione di carattere metafisico o astrologico. Conferme alle scoperte di Galileo arrivano da Keplero e dai Gesuiti del Collegio Romano; ma altri esprimono dubbi, e critiche al cannocchiale che farebbe vedere ciò che non c'è.

L'astrologia è minacciata: la Terra potrebbe non essere più un luogo privilegiato al centro dell'universo; inoltre, se non c'è distinzione tra cielo e Terra, perché gli astri dovrebbero causare alterazioni sul nostro pianeta?

9. Gli astrologi e la nuova scienza

Alcuni astrologi, quelli che noi ora definiremmo più commerciali, ignorano le novità e continuano a consultare le vecchie tavole e gli antichi almanacchi buoni per ogni evenienza. Altri mostrano indifferenza: gli effetti dei satelliti sono trascurabili per la debolezza della loro luce (al più, ed è opinione anche di Keplero, possono influire sugli abitanti di Giove ...). Altri ancora scelgono di negare l'evidenza sulla base di argomentazioni del tipo: i satelliti non possono esistere perché con essi il numero dei pianeti supererebbe il 7, che è numero perfetto. E, a sostegno della tesi, ricordano che 7 sono i metalli, 7 le ore perché il seme nell'utero sviluppi caratteristiche umane, sette i mesi richiesti per la formazione del feto – che infatti, se nasce di 8 (!) mesi ha scarse possibilità di sopravvivenza – 7 i giorni della settimana, 7 le note musicali, e via dicendo.

Ma ci sono anche astrologi che si mostrano entusiasti, in quanto i nuovi corpi celesti giustificano le previsioni sbagliate: con l'uso del cannocchiale, l'astrologia si potrà perfezionare.

Il filosofo Tommaso Campanella, che ha conosciuto Galileo a Padova nel 1592, gli scrive dal carcere di Napoli per porgli alcune domande: gli extraterrestri sono beati o comuni mortali? come vivono? si ritengono anch'essi al centro dell'universo? la loro forza è proporzionale alle dimensioni del loro pianeta? Galileo non risponde, così come non risponde ad altre lettere in cui Campanella gli chiede, in qualità di astrologo, informazioni precise sulla sua data di nascita per poterlo curare a distanza. Domande e credenze non galileiane!

Scrive infatti Galileo:

Io stimo più trovare un vero, benché di cosa leggiera, che il disputar lungamente delle massime questioni senza conseguir verità nessuna. [E anche:] Il tentar [cercar di penetrare] l'essenza l'ebbi sempre per impresa non meno impossibile e per fatica non men vana nelle prossime sostanze elementari che nelle remotissime e celesti.

10. Le paure di Urbano VIII

Nel 1630, Urbano VIII, che da cardinale, prima di diventare papa, era stato grande estimatore di Galileo (lo aveva difeso in controversie con gli aristotelici ed esaltato con un poemetto in versi latini) è raggiunto da voci che parlano di una sua prossima morte. Le voci sono originate da un oroscopo attribuito a Orazio Morandi, abate di S. Prassede, e

coinvolgono anche Galileo, amico di Morandi. Lo scienziato è giunto a Roma per promuovere la pubblicazione del *Dialogo* e un certo Antonio Badelli, che raccoglie notizie varie per renderle pubbliche su *Avvisi* scritti a mano e affissi sui muri della città, annuncia:

Qua si trova Galileo, che è famoso matematico e astrologo, che tenta di stampare un libro nel quale impugna molte opinioni che sono sostenute dalli Giesuiti. Egli si è lasciato intendere che D. Anna [moglie di Taddeo Barberini, nipote del papa] partorerà un figliolo maschio, che alla fine di Giugno haremo la pace in Italia, e che poco dopo morirà D. Thaddeo et il Papa. L'ultimo punto viene comprovato... da molti discorsi in scritto, che trattano dell'elezione del nuovo Pontefice come se fosse sede vacante...

Si tratta di una pura calunnia e Galileo si affretta a smentirla, rassicurato dal cardinale Barberini. Ma il papa, superstizioso e preoccupato, temendo insieme la perdita della vita e del potere politico, reagisce con violenza e decide di stroncare l'astrologia. Fa giustiziare in Campo de' Fiori un prete accusato di negromanzia, fa arrestare e condurre in carcere l'abate Morandi (che vi morirà in attesa del processo), ed emana una Bolla in cui ribadisce la condanna dell'astrologia, in specie se riguarda il papa e suoi consanguinei, e prevede per i trasgressori pene gravi, fino alla morte.

Andrea Albini giunge ad avanzare l'ipotesi del caso Morandi come elemento aggiuntivo per la condanna di Galileo nel 1633: il Papa avrebbe associato astronomi, astrologi, copernicani e protestanti in quanto tutti volti a sminuire l'autorità papale [1].

Urbano VIII continuerà a essere ossessionato dall'astrologia, tanto che molti anni più tardi, nel 1642, ormai infermo, seppure tenacemente legato alla vita terrena, dichiarerà all'ambasciatore di Toscana, Francesco Niccolini:

che tutti i Principi dovrebbero accordarsi a proibire l'uso dell'astrologia [...] come ha fatto [lui] con la sua Bolla

e si vanterà

d'haver havute quattro malattie mortali da cinque o sei anni in qua, e che non sia però da creder punto alle astrologie et alle figure delle natività, come fallaci e bugiarde, poi che i professori di questa arte volevano che S.a S. avesse a morire di 63 anni [...] quando S. S.tà è ancor qui in età di 74 anni.

Queste parole del papa rivelano con evidenza come la condanna dell'astrologia nascesse in lui dal timore che essa potesse cogliere nel segno, piuttosto che da un razionale convincimento della sua inefficacia. Il che è poi anche quello che si pensava a Firenze, se il corrispondente di Niccolini gli rispose che alla corte di Toscana le parole del papa avevano «fatto un poco ridere».

11. Galileo e l'astrologia

Per riassumere quanto sin qui detto su Galileo e astrologia, occorre ricordare che:

- scientifico, normale, magico, meraviglioso, alchimia e nuova scienza si fondono in maniera inestricabile nel Seicento (basti pensare che il Principe Cesi

commissiona l'oroscopo del momento di fondazione dell'Accademia dei Lincei, la quale pubblica inizialmente anche testi di medicina astrologica);

- come matematico Galileo può provare interesse per i calcoli che precedono l'oroscopo, e ha l'obbligo didattico di insegnarli;
- motivi economici lo spingono a fare oroscopi;
- ragioni diplomatiche lo inducono a non assumere posizioni di critica esplicita (alcuni personaggi alla corte medicea credono nell'astrologia);
- ritiene tempo perso discutere di argomenti che sono oltre le possibilità di verifica sperimentale;
- diffida di chi crede nell'astrologia (Keplero, Campanella) e nel *Dialogo* Salviati e Sagredo ironizzano su di essa;
- l'astrologia rappresenta una questione marginale rispetto a quella copernicana, cui si dedica con tutte le forze, evitando anche di aggiungere altri avversari ai molti con cui deve confrontarsi.

12. Una bella risata

Scrive di Galileo l'Arcivescovo Ascanio Piccolomini, che ne fu amico e lo ebbe ospite a Siena per alcuni mesi subito dopo la condanna: «[dell'astrologia] se ne ride, e se ne burla come di professione fondata sopra incertissimi se non falsi fondamenti».

Non dubito che ne ridiate anche voi, come ne rideva il buon vecchio Catone il Censore quando – a testimonianza del fatto che certe attitudini e idee non sono conquiste moderne, ma patrimonio comune, in tutti i tempi, degli uomini che non si rifiutano di pensare – si chiedeva come potesse un aruspice guardare in faccia un altro aruspice senza scoppiare a ridere.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Albini, A., *Oroscopi e cannocchiali*, Ed. Avverbi, Roma 2008.
- [2] Ball, P., *Paracelso, L'ultimo alchimista*, Rizzoli, Milano 2008.
- [3] Rossi, P., *Il tempo dei maghi, Rinascimento e modernità*, Cortina, Milano 2006.

COSMOLOGIA E ARMONIA NEL SEICENTO*

NATACHA FABBRI

Scuola Normale Superiore, Pisa

1. L'Armonia: *principium essendi di kosmos e polis*

Le cause della musica sono insite nell'anima universale che da esse è appunto costituita; a sua volta poi, l'anima universale dispensa a tutti gli esseri la vita [...]. È logico dunque che il cosmo vivente sia rapito dalla musica e la causa è che l'anima celeste, da cui l'universo riceve la vita, ha preso origine dalla musica.

Così Macrobio (*Somnium Scipionis*, II, 3, 11) presentava il legame tra il cosmo e il suo *principium essendi*, ossia le proporzioni musicali.

Il concetto di armonia domina gran parte della riflessione filosofica sin dai Pitagorici, investendo la dimensione cosmologica, medico-fisiologica e socio-politica. Il mondo risuona armoniosamente delle combinazioni ordinate di suoni prodotte dal moto degli elementi, delle stagioni, dei pianeti e dell'universo, di cui la musica terrena è specchio imperfetto e, al contempo, una delle vie predilette per ergersi verso l'intelligibile. L'armonia è infatti mescolanza di opposti (acuto e grave, secco e umido, freddo e caldo, ecc.), da cui scaturisce un sistema di proporzioni all'interno di un'unità caratterizzata dall'ordine, dalla misura e dal limite: il temperamento degli opposti produce la salute degli organismi e dell'anima, la musica, le stagioni, la bellezza e la forza. Tali proporzioni, che corrispondono ai rapporti numerici esprimenti le consonanze musicali di ottava (1:2), quinta (2:3) e quarta (3:4), sono state impiegate dal Demiurgo come modello dell'ordine del cosmo e ne sono il principio conservatore. A questa complessa trattazione dell'armonia sviluppata da Platone nel *Timeo*, nella *Repubblica* e nel *Filebo*, i commentatori tardo-antichi e medievali connettono il tema pitagorico dell'armonia delle sfere.

Secondo la tradizione, Pitagora, passando davanti alla bottega di un fabbro, avrebbe notato la somiglianza tra i suoni prodotti dai martelli sull'incudine e quelli generati dalle sfere celesti; con l'aiuto di un monocordo, avrebbe poi cercato di determinare le rispettive proporzioni numeriche. Tale leggenda sottolinea da un lato la specularità tra musica *mundana* e musica *instrumentalis*, facendo dipendere la seconda dalla prima, dall'altro lato il dialogo tra modelli *a priori* e verifica sperimentale. Gli esperimenti su corde, pesi, bicchieri e campane attribuiti a Pitagora vengono verificati e confutati da

* Lezione tenuta a Firenze il 5 novembre 2009, nella Sala del Buonomore del Conservatorio Statale di Musica Luigi Cherubini, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

Vincenzo Galilei e, successivamente, da Marin Mersenne: mostrando l'inesattezza delle proporzioni numeriche assegnate a questi "corpi sonori", essi sostengono che il procedimento seguito da Pitagora sia privo di riscontri empirici e sia pertanto ascrivibile alla sola assunzione aprioristica dei rapporti sovrapparticolari del numero quaternario. La proporzione 1/2 esprime l'ottava è infatti valida per la variazione di lunghezza della corda, non per quella della tensione: nel primo caso, la corda deve essere suddivisa a metà; nel secondo, il peso applicato alla corda deve essere quadruplo. Tra le principali conseguenze di tale rilettura vi sono l'affrancamento della musica dal ruolo subordinato di imitatrice della natura – per affermare l'artificialità di ogni sistema d'intonazione – e il conseguente tramonto della corrispondenza tra le proporzioni numeriche delle consonanze e quelle rintracciabili nell'ordine dei pianeti.

Nonostante la crisi del bi-millenario parallelismo tra musica *instrumentalis* e *mundana*, il rapporto tra cosmologia e armonia culmina a fine Cinquecento e inizio Seicento con l'introduzione di un Dio Musicista. Il modello armonico svolge una funzione centrale anche nella dimensione politica e civile: la Creazione armonica trova corrispondenza nella giustizia armonica dei *Six livres de la République* (1576) del filosofo e giurista francese Jean Bodin e nella *concordia discors* del suo *Colloquium heptaplomeres* (pubblicato postumo nel 1858).

Harmonia est discordia concors – come Franchino Gaffurio riporta in apertura dell'*Angelicum ac divinum opus musicae* (1508), alludendo a una lunga tradizione che annoverava Eraclito, Galeno, Seneca, Marziano Capella, Cusano, Ficino. L'esecuzione musicale è un modello perfetto di concordia: il canto liturgico realizza il «*cor unum et anima una*» (*Atti degli Apostoli*) proprio della concordia, ossia la consonanza dei cuori (*cum-cordis*). Diversamente dall'etimologia del termine "tolleranza", che rinvia a una faticosa accettazione di qualcosa di diverso, che grava non assimilandosi, la *concordia discors* è composizione e temperamento dei differenti, unione dei cuori ove le differenze sono mantenute in un contesto di reciproco rispetto e in vista di un bene comune.

L'importanza della *concordia discors* all'interno della più ampia riflessione sull'*harmonia* del *kosmos* è testimoniata dall'interesse mostrato per le opere di Bodin dai quattro filosofi seicenteschi che pongono al centro della loro ricerca l'armonia: Kepler, Mersenne e Kircher si confrontano con il governo armonico della *République*, e Leibniz anche con la *concordia discors* del *Colloquium*. Lettori disincantati della realtà circostante, essi ricercano nella creazione i segni del modello armonico divino, mostrando l'*utilité de l'harmonie* nell'ambito della metafisica, della teologia e della filosofia naturale, segnando così un netto divario tra il disordine e la disarmonia della situazione socio-politica a loro contemporanea – la quale dipende dall'azione degli uomini (una natura viziata dal peccato originale) – e la perfetta armonia della natura, riconducibile all'operato divino. Eredi della filosofia neoplatonica da un lato e della teologia trinitaria dall'altro, essi intendono portare a compimento una grandiosa opera esegetica mediante la quale lodare la somma bontà e perfezione di Dio e rendere manifeste la Provvidenza e la bellezza dell'ordine armonico impartito dal Creatore.

2. Il Dio Musico del 'sacerdote-astronomo' Kepler

Il legame tra cosmo e armonia raggiunge una compiuta realizzazione con Johannes Kepler: nella sua fisica celeste, il concetto di armonia e le proporzioni musicali a esso corrispondenti assolvono una funzione euristica interagendo con la ricerca astronomica. Il presupposto metafisico di un archetipo della creazione strutturato a partire dalle consonanze musicali e la fede in un Dio Musico consentono a Kepler di passare da una concezione statica a una dinamica del cosmo, da orbite circolari a orbite ellittiche. Sin dalla sua prima opera, il *Mysterium Cosmographicum* (1596), Kepler aderisce al copernicanesimo: fondendo la lettura del *Timeo* e delle Sacre Scritture con l'interpretazione data da Proclo ai poliedri euclidei (*Commento al I Libro degli Elementi di Euclide*), egli propone una struttura geometrica del cosmo. Il Creatore, al momento di stabilire le posizioni, i moti e il numero dei pianeti, si è attenuto a un archetipo costituito dai cinque poliedri regolari. Questi solidi, caratterizzati da facce identiche composte da figure equilateri, non sono più attribuiti agli elementi e all'etere (come avveniva nel *Timeo*) bensì, sulla scorta di Proclo, alle sfere celesti.

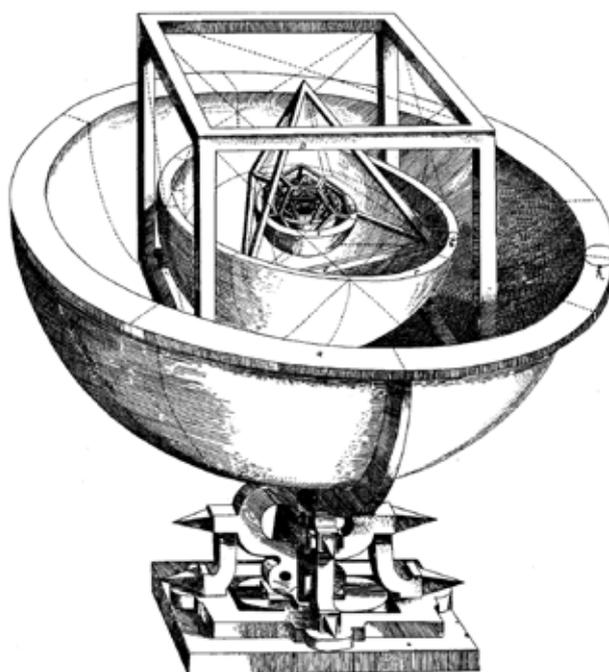


Figura 1.

Supponendo che la sfera di Saturno sia circoscritta al cubo e la sfera di Giove inscritta in esso, quella di Marte inscritta nel tetraedro e circoscritta al dodecaedro, la sfera della Terra inscritta in questo ultimo e circoscritta all'icosaedro, quella di Venere inscritta nell'icosaedro e circoscritta all'ottaedro, e la sfera di Mercurio inscritta nell'ottaedro, le dimensioni del cosmo e la distanza tra i pianeti risulterebbero corrispondenti a quelle riportate da Copernico nel *De Revolutionibus*.

Questo modello geometrico viene abbandonato in seguito allo studio del moto di Marte e al confronto con le accurate misurazioni effettuate dall'astronomo danese Tycho Brahe. Così come nel percorso che porta ad asserire l'omogeneità del cosmo è centrale l'impiego di uno strumento (il telescopio), in quello che conduce ai moti ellittici svolge un ruolo non secondario il perfezionamento degli strumenti astronomici di misurazione effettuato da Brahe. Pur riconoscendo il suo debito verso l'astronomo danese, Kepler ritiene che l'attività di Brahe e Galileo sia quella di astronomi tecnici, il cui ruolo è subordinato rispetto a coloro che, come Kepler stesso, procedono mediante la sola ragione, emulando così l'attività del Creatore: la sua ricerca non si ferma, infatti, alla mera descrizione dei movimenti e della morfologia dei corpi celesti, ma si rivolge alle cause dei loro moti.

Kepler ritiene che l'uomo possieda *ab aeterno* le verità matematiche in base alle quali è stato ordinato il cosmo: compito dello scienziato è di risalire all'archetipo della Creazione, il quale è coeterno e coesenziale a Dio. La dottrina della reminiscenza da un lato e la coesenzialità tra l'archetipo matematico e Dio dall'altro consentono al filosofo della natura di conoscere l'essenza di Dio e di diventare perciò un 'sacerdote': l'armonia kepleriana è dunque innanzitutto metafisica perché si fonda sulla corrispondenza tra le regolarità rintracciabili in natura e gli archetipi contemplati eternamente da Dio e conoscibili dall'uomo. L'astronomia oltrepassa pertanto l'ambito della *philosophia naturalis* per tendere asintoticamente alla *philosophia prima*.

Nell'*Astronomia Nova* del 1609 Kepler pubblica le sue prime due leggi, abbandonando il dogma della circolarità: i pianeti si muovono su traiettorie eccentriche, allontanandosi e avvicinandosi periodicamente al Sole e modificando la loro velocità (massima in perielio e minima in afelio). Per ottenere un'accurata descrizione del sistema planetario occorre dunque considerare non solo la variabile spaziale ma anche quella temporale, relativa alle velocità e ai periodi orbitali. È a questi ultimi che Kepler fa riferimento nella sua terza legge – pubblicata nel 1619 –, la quale esprime la relazione tra periodo orbitale (T) e semiasse maggiore (r) mediante la proporzione sesquialtera 3/2 (che corrisponde all'intervallo musicale di quinta): $T_1:T_2 = (R_1:R_2)^{3/2}$. Tale legge, definita "armonica", non si limita a descrivere i rapporti tra le variabili interne a un singolo pianeta, ma si estende ai rapporti tra due o più pianeti, cogliendo con un'unica formula il movimento dell'intero cosmo e la relazione spaziale e temporale che intercorre tra tutti i pianeti.

Al termine degli *Harmonices Mundi Libri V* (1619) Kepler riassume il percorso che, dopo ventiquattro anni, lo ha portato a cogliere la 'forma' del cosmo e a scoprire la terza legge, riuscendo così a svelare gli archetipi pensati *ab aeterno* da Dio. Il modello dei solidi platonici e le infinite proporzioni geometriche sono considerate l'aspetto materiale della ricerca astronomica, mentre le proporzioni armoniche – che scaturiscono dall'iscrizione dei cinque poligoni regolari nella circonferenza – rappresentano la forma del sistema planetario:

[... le armonie] stavano dalla parte della forma, che la mano conferisce al termine del lavoro, mentre i solidi stavano dalla parte della materia, che nel mondo è il numero dei corpi e l'informe ampiezza degli spazi; inoltre, mentre quelle davano ragione delle eccentricità, questi non lo promettevano nemmeno; quelle conferivano alla statua, per così dire, il naso, gli occhi e le membra, mentre questi non prescrivevano che la bruta quantità esteriore della sua massa (*Harmonice Mundi*, libro V, pp. 361-362).

Nel moto orbitale ellittico, le velocità angolari variano nel corso della rivoluzione: a ciascun pianeta viene attribuito un intervallo musicale, la cui nota più grave corrisponde alla velocità minima in afelio e quella più acuta alla massima in perielio. Diversamente dal sistema greco, nel quale a ogni sfera era assegnata una sola nota – poiché la superficie dell'orbita solida era equidistante dal centro terrestre e dotata di moto uniforme –, in quello kepleriano, caratterizzato da moto ellittico e velocità orbitale variabile, l'insieme dei pianeti esegue un coro polifonico diretto dal Sole. L'ampiezza degli intervalli riflette le differenze che intercorrono tra le eccentricità dei moti di rivoluzione: l'orbita quasi circolare di Venere, corrispondente al più piccolo intervallo musicale (un semitono cromatico), contrasta con la grande eccentricità di Mercurio, espressa dall'intervallo più ampio (una decima minore). I “toni” dei pianeti, inoltre, indicano acusticamente la loro posizione all'interno del sistema solare: sia le altezze dei suoni che le velocità orbitali sono inversamente proporzionali alla distanza dal Sole.



Figura 2.

Nonostante il superamento del dogma della circolarità sia compiuto, Kepler continua a celebrare la priorità ontologica della sfera. Il suo cosmo finito – così come la struttura del fiocco di neve e l'anatomia dell'occhio – è una rappresentazione dei rapporti di generazione e spirazione interni alla Trinità divina: egli identifica Dio con il Sole e il centro della sfera, il Figlio con il Cielo delle Stelle fisse e la superficie esterna, lo Spirito Santo con l'aura intermedia nella quale si muovono i pianeti. L'innatismo e le implicazioni metafisiche e teologiche dell'astronomia kepleriana non comportano tuttavia una ricerca che antepone acriticamente modelli *a priori* a precise osservazioni e misurazioni: egli perviene infatti nel medesimo anno – il 1604 – all'abbandono della perfezione dogmatica della sfera in astronomia e in ottica geometrica e fisiologica, delineando il moto orbitale ellittico, le lenti coniche e la forma iperbolica del cristallino. La ricerca di questo

‘sacerdote-astronomo’ e il passaggio dall’armonia statica del cosmo copernicano a quella dinamica della fisica celeste avvengono grazie alla fede in un Dio Musico, che ha dotato il cosmo di una forma (opposta al brutto della *deformitas*), lo ha racchiuso nella figura geometrica più perfetta (la sfera) e vi ha impresso l’immagine della propria essenza.

Il tema del cosmo armonico congiunge la dimensione temporale dell’*harmonia* a quella spaziale. Lo studio della connessione e proporzione tra parti poste nello spazio e colte in modo sinottico dalla percezione visiva assume, nel divenire del cosmo (non più immutabile e incorruttibile) e nel calcolo dei periodi orbitali, un ruolo secondario rispetto a quello che concentra l’attenzione su elementi colti diacronicamente. L’armonia che scaturisce dalla successione secondo il prima e il poi, che implica uno svolgimento nel tempo di rapporti numerici percepibili uditivamente, comporta il ruolo primario svolto dalla musica, al fianco dell’astronomia, nell’indagine cosmologica.

3. L’armonia osservata con il telescopio: dalla corda musicale alla meccanica celeste

In Galileo non compaiono accenni a un concerto celeste né ad archetipi armonici della Creazione. Diversamente da Kepler, la sua filosofia naturale non si interroga su come Dio avrebbe dovuto o potuto creare l’universo, ma solo su come Dio lo ha *de facto* ordinato. Nonostante ciò, anche Galileo esalta l’armonia del cosmo copernicano, consistente non solo nella proporzionalità diretta tra periodo orbitale e dimensione dell’orbe ma, all’interno di una concezione omogenea dello spazio, nell’unione proporzionata dei moti orbitali di tutti i corpi celesti. Galileo si ricollega così all’etimologia del termine “armonia”, che deriva dal verbo *harmozein*, “congiungere”, e che veniva impiegato anche per descrivere l’incastro e l’adattamento tra le parti nelle costruzioni in legno. L’universo è “fabricato” – dal *fabricator mundi* – collegando parti differenti in un tutto unico, atto a entrare in funzione.

Il cosmo di Tolomeo è invece definito “chimera”, sia nel senso di costruzione immaginaria priva di fondamenta, sia in quello di organismo composto da parti inconciliabili e sproporzionate, da elementi appartenenti a nature diverse: il geocentrismo non possiede pertanto né la bellezza ordinata del *kosmos* o *mundus*, né l’unità dei differenti dell’*universum*. Tolomeo è paragonato implicitamente a Tasso che, secondo Galileo, aveva composto la sua *Gerusalemme liberata* con rovine raccolte dai siti più disparati, rompendo gli ordini architettonici e rendendo così l’edificio sregolato e incomposto.

Tale concetto di ordine armonico è il presupposto dell’accettazione delle osservazioni del 1609-1610 e, in particolare, della definizione della Luna come altra Terra. Sulla base di un’interpretazione rigorosa della teoria dei luoghi naturali, se la Luna fosse composta dello stesso elemento della Terra dovrebbe trovarsi anch’essa al centro dell’universo. Ciò non avviene non perché la Luna sia di natura ignea e dunque più leggera (come voleva la fisica stoica) o perché composta di una sostanza eterea (secondo la fisica aristotelica), bensì in quanto il suo moto naturale verso il basso è interrotto da Dio e trasformato in un movimento circolare che la conserva in quel luogo. Il moto circolare, infatti, mantie-

ne le parti dell'universo in una «ottima costituzione e perfettamente ordinate» e garantisce, sulla base dell'inerzia circolare, l'eternità del moto di rivoluzione.

Galileo non segue aprioristicamente il sistema copernicano perché più armonico, semplice e ordinato di quello tolemaico; sono le osservazioni telescopiche e le prove fisiche che gli consentono di confermare la verità dell'eliocentrismo e di delineare una *historia* (che si rivolge al 'vero'), non più modelli ipotetici o miti cosmologici.

Nello scienziato toscano l'interesse per la musica, intesa come scienza dei suoni, è circoscritto alla dimensione sperimentale, ossia alla vibrazione delle corde e al moto pendolare. L'affinità tra questi due fenomeni è tale da aver indotto alcuni studiosi a presentare il pendolo galileiano come una trasposizione verticale del monocordo: in entrambi, il periodo di oscillazione è direttamente proporzionale alla lunghezza della corda e inversamente proporzionale al peso applicato. Questo modello di vibrazione – a cui il padre, Vincenzo Galilei, aveva dedicato studi approfonditi – è rinvenibile anche nel cosmo e trova applicazione nel meccanismo di un “orologio” celeste. Assumendo il Sole come fulcro, la Luna come peso e la Terra come luogo da cui passa la corda immaginaria, il pendolo spiega l'accelerazione e il ritardo di Terra e Luna nei novilunii e plenilunii. Senza entrare nei dettagli, basti sottolineare l'importanza di tale tema nella visione cosmologica di Galileo e nell'affermazione del cosmo copernicano: il moto terrestre di rivoluzione, la cui difformità è riconducibile all'interazione pendolare della Luna, è la causa del moto delle maree, le quali sono considerate da Galileo una delle “prove” della verità del sistema eliocentrico.

È inoltre estremamente significativo che l'immagine della scienza alla base della cosmologia galileiana sia illustrata mediante un mito musicale. Il *Saggiatore* (1623), muovendo dal mito greco di Eunomio, presenta la musica come scienza dei suoni ed enuncia alcuni dei principi della ricerca scientifica galileiana: l'importanza della dimensione sperimentale (considerazione delle variabili quantitative), il rifiuto del principio di autorità, la non esaustività della ricerca (l'uomo non può conoscere l'infinita ricchezza della natura), l'impossibilità di comprendere i piani divini di Creazione.

Il passaggio dal monocordo al cosmo è tracciato anche negli *Scolii* classici di Newton. La legge gravitazionale sarebbe già stata adombrata dai Pitagorici, che l'avrebbero trasmessa in modo esoterico nella loro dottrina del cosmo armonico. Discostandosi dalle critiche sollevate da Vincenzo Galilei e Mersenne, Newton ritiene che Pitagora avesse già rinvenuto l'inversa proporzionalità tra i pesi e il quadrato della lunghezza della corda e che l'avesse estesa anche ai rapporti tra i pesi dei pianeti e le loro distanze dal centro del cosmo. Se per Kepler il concerto celeste è razionale e corrisponde ad archetipi armonici divini, per Newton la musica generata dai pianeti è sensibile ed è espressione sonora della legge gravitazionale.

4. L'armonia tra Macrocosmo e Microcosmo

Nel Seicento, il legame armonico tra macrocosmo e microcosmo è celebrato da Robert Fludd, medico, filosofo ermetico e alchimista. Fludd sviluppa la propria concezione

dell'armonia fondendo la filosofia neoplatonica, quella ermetica, le pratiche alchemiche e la trattatistica musicale del Quattro e Cinquecento. Seguendo quanto era stato suggerito da Cornelius Agrippa (*De occulta philosophia*, 1533) e Francesco Giorgi (*De harmonia mundi*, 1525), il cosmo dell'*Utriusque cosmi... historia* (1617-1621) è rappresentato da un monocordo con un'estensione di due ottave e accordato dalla mano divina, lungo il quale sono gerarchicamente disposti i tre mondi: regione delle Gerarchie angeliche, dell'Etere o dei Pianeti, e degli Elementi. L'universo è composto da due principi, Tenebra e Luce, che dominano in misura diversa i vari livelli della realtà e che raggiungono il perfetto equilibrio nella *sphaera aequalitatis*, sede del Sole e luogo di congiunzione delle due ottave del monocordo, ossia l'ottava materiale (dalla Terra al Sole) e l'ottava formale (dal Sole alla sommità del monocordo).

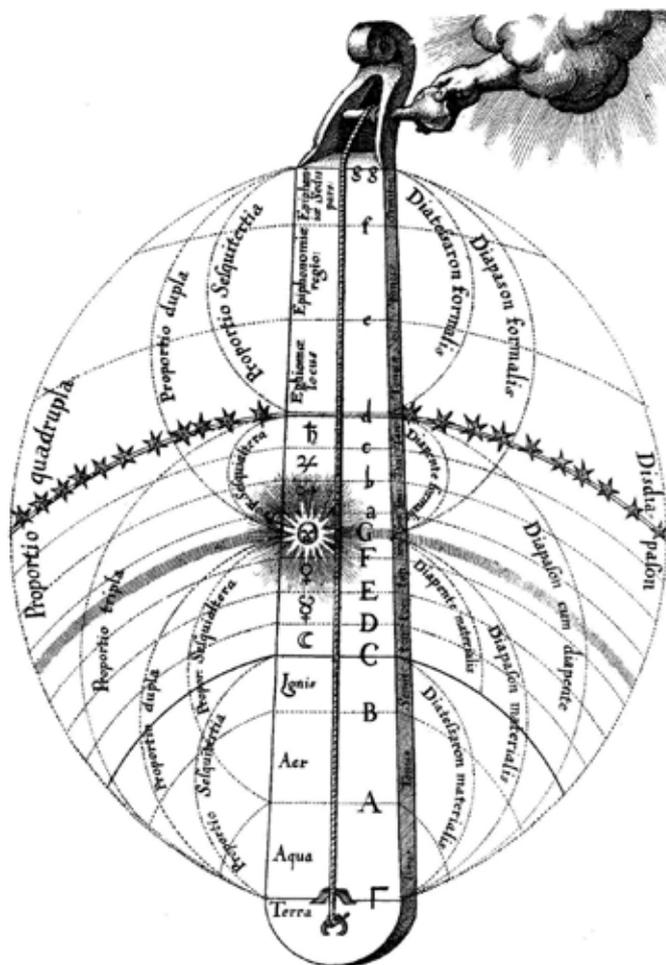


Figura 3.

Questa struttura gerarchica comporta un rigido schema di corrispondenze tra intervalli musicali e livelli della realtà. Tramite l'armonia dell'ottava formale, Dio dona luce al Sole e, mediante l'ottava materiale, diffonde i suoi influssi sulla Terra. L'intervallo di quinta (espresso dalla frazione $2/3$) regola ad esempio l'influsso della Luna su tutti gli esseri terrestri, le inondazioni e le perturbazioni dei mari provocate da Mercurio, la

procreazione di piante e animali favorita dal calore e dall'umidità di cui è responsabile Venere.

Tali legami valgono anche per il microcosmo esterno – riguardante le proporzioni anatomiche e le funzioni degli organi – e per quello interno – relativo alle facoltà umane. L'“uomo-monocordo” risuona sulla base di occulte simpatie con il cosmo. Come il macrocosmo, anche il microcosmo è suddiviso nelle sfere Empiree, Eteree ed Elementari, a cui corrispondono rispettivamente testa e collo, spalle e torace, ventre e organi riproduttivi; inoltre, è articolato in due ottave: quella *spiritualis* tra la ragione e il cuore (Sole) e quella *corporalis* tra il cuore e i genitali (Terra). Riguardo alle facoltà, l'ottava spirituale, che lega intelletto e immaginazione, è suddivisa nella proporzione di quarta (intelletto-ragione) e quinta (ragione-immaginazione); l'ottava corporea, a cui corrisponde il rapporto immaginazione-corpo, è articolata in immaginazione-senso (quarta) e senso-corpo (quinta).

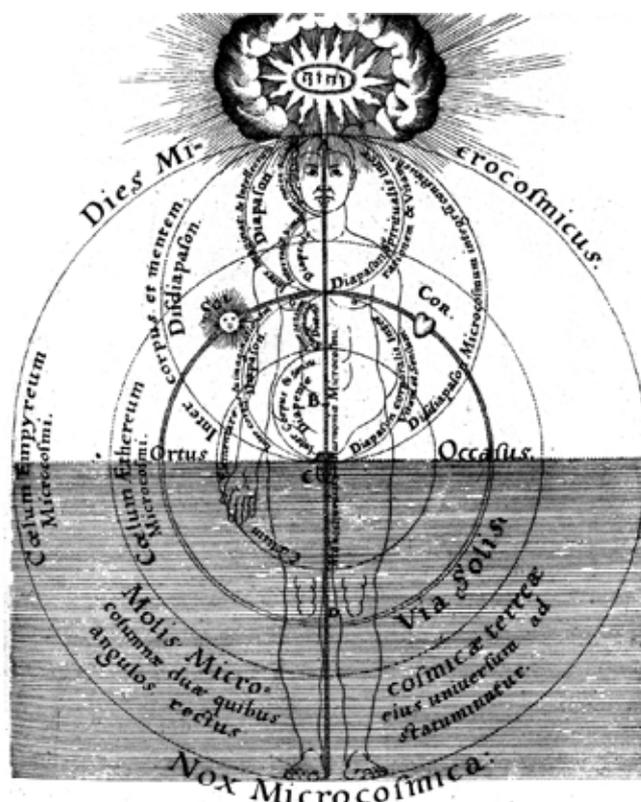


Figura 4.

Secondo l'antica pratica della melotesia, vi è infatti un diretto rapporto tra pianeti e segni zodiacali da un lato, organi e temperamenti dall'altro. Le composizioni musicali contribuiscono alla salute dell'anima e del corpo sia ristabilendo l'equilibrio tra le passioni e temperando gli umori, sia attraendo gli influssi positivi dei pianeti e fugando quelli negativi. Per Fludd, così come per la tradizione magico-alchemica, l'arte del saggio non consiste nello svelare le cause dei movimenti planetari, nel compiere precise osservazioni o nel formulare ipotesi verosimili, bensì nel “dominare” la realtà, nella ca-

pacità di conoscere e attrarre le virtù dei pianeti introducendo i loro “poteri” nell’uomo materiale. All’interno di questa visione animistica dell’universo, congiungendo i poteri dei pianeti a quelli della musica, il sapiente è in grado di incidere sulle azioni umane. Per Fludd, la musica testimonia in modo eloquente la natura divina e immortale dell’uomo. Secondo il modello ficiniano, l’anima, prima di essere rinchiusa nell’oscuro abitacolo del corpo, intraprende un percorso di discesa attraverso le sfere celesti, recando in sé il ricordo dell’armonia celeste e della concordia divina. La piacevolezza della musica “volgare” è dovuta alla sua somiglianza con la sinfonia cosmica:

La causa, dunque, di questo miracoloso afflato non è l’affezione prodotta dai suoni, non la natura armoniosa dell’anima, ma la somiglianza a Dio, e la sua presenza. Abbiamo in mente, infatti, innanzitutto le tracce della divina musica e melodia: dal suo ritmo soave siamo attratti al sommo bene, e alla contemplazione delle cose divine (*Utriusque cosmi...*, tomo II, libro IV, cap. 4).

Le armonie celesti di Fludd, incentrate ancora sulla Terra, sono costituite da scale e composte dagli intervalli impiegati nella musica greca, mentre quelle di Kepler, apprendibili solo dal Sole, sono polifoniche e adottano il sistema della “giusta intonazione” esposto dal teorico veneziano Gioseffo Zarlino – e comportano perciò un ampliamento delle consonanze musicali che accoglie anche terze e seste. Per l’astronomo tedesco, le proporzioni musicali del cosmo dipendono da rapporti tra quantità aventi la stessa unità di misura (le velocità angolari minime e massime dei pianeti considerate dal Sole), mentre le armonie celesti di Fludd sono fondate su una lettura qualitativa della realtà e su vaghe corrispondenze tra i diversi livelli della struttura gerarchica e ontologicamente differenziata del cosmo.

Come osserva il filosofo francese Marin Mersenne (*Traité de l’Harmonie Universelle*, Paris, Baudry, 1627, libro II, th. V, p. 352), le armonie di Fludd sono basate sull’immaginazione e sulle pratiche alchemiche, e scaturiscono dal ricorso ai forni e al fuoco anziché al compasso e alle figure geometriche.

5. «I cieli cantano la gloria di Dio»

I modelli sin qui discussi sono antitetici a quello evocato pochi anni dopo da Blaise Pascal in una famosa *Pensée*: «Il silenzio eterno di questi spazi infiniti mi spaventa». L’universo infinito porta alla rottura del paradigma del cosmo come bellezza finita, misurabile, dotata di una forma e principale via di accesso ai misteri della fede mediante l’esercizio della ragione. L’uomo è sperduto in un remoto angolo dell’universo, il cui centro è ovunque e la circonferenza in nessun luogo. Nella visione pascaliana il cosmo è silente, non canta più la gloria di Dio, come invece recitava l’*Antico Testamento*: «*Coeli enarrant gloriam Dei*». Questo salmo e il versetto sapienziale «*Omnia in mensura, numero et pondere disposuisti*» sono spesso citati dalla tradizione medievale e rinascimentale per conferire un fondamento teologico al tema dei cori planetari e dei contrappunti celesti razionali.

L’inudibilità del concerto celeste era stata variamente interpretata, ricorrendo all’assuefazione a tale suono cosmico (ascoltato sin dalla permanenza nel grembo materno)

o alla limitatezza della natura umana. Aristotele (*De Coelo*, 291 a) aveva invece negato la sonorità del movimento orbitale poiché i pianeti, essendo privi di moto proprio e trascinati dalle sfere, non potevano generare l'attrito necessario alla produzione sonora. Tale obiezione viene ripresa nel XVII secolo e trova risposta nella teoria della fluidità dei cieli. Secondo Marin Mersenne, seguendo la teoria dei cieli fluidi di Brahe e supponendo che tra la Terra e il cielo delle Stelle fisse vi sia la medesima densità d'aria, i moti dei pianeti producono dei suoni: conoscendo la grandezza di un corpo, il movimento, la velocità e la materia della quale è composto, in base alle leggi di acustica è possibile determinare le note corrispondenti a ciascun pianeta.

Kepler, invece, sposta l'attenzione dall'ambito della percezione a quello della produzione: le armonie celesti – pur non essendo metaforiche – sono da intendersi come concerto razionale e, dunque, privo di suono. Peraltro, il concerto planetario non risulterebbe armonico – né alla vista né all'udito – a un ascoltatore o spettatore posto sulla Terra ma solo a uno collocato sul Sole: gli angoli formati dal movimento orbitale e le relative velocità sono calcolati assumendo come luogo centrale il corpo solare. La formulazione kepleriana dell'*harmonice mundi* riflette così il progressivo abbandono dell'antropocentrismo fisico e il rafforzarsi di quello teoretico: gli abitanti della Terra sono infatti in grado di apprendere razionalmente l'armonia intelligibile dei cieli.

Nel concerto razionale di Kepler confluiscono considerazioni appartenenti a tre ambiti: la spiegazione astronomica, le precedenti interpretazioni proposte dai teorici della musica e la traducibilità pitagorica di visibile, udibile e intelligibile. La natura esclusivamente intelligibile della *musica mundana* discussa da Francisco de Salinas (*De musica libri VII*, 1577) trova corrispondenza nella considerazione fisica secondo la quale l'eccessiva lentezza dei moti orbitali rende improbabile la generazione dei suoni.

Nella riflessione dell'astronomo tedesco si fondono autorità biblica e cosmologia, teologia cristiana e miti antichi. Egli è tuttavia distante dall'appercezione sinestetica della mistica medievale, emblematicamente rappresentata dalle "visioni sonore" di Ildegarda di Bingen e dal "vedere-udendo" di Filone d'Alessandria, per il quale il cosmo è lo strumento musicale archetipo. Il legame tra l'osservazione e la visione mistica resa possibile dal potere della musica è ampiamente diffuso nella sensibilità seicentesca, come testimonia il capolavoro di Jan Brueghel il Vecchio *Allegoria della vista* (1617, Museo del Prado, Madrid). Il centro della scena è dominato da due telescopi, che si aggiungono ad altri strumenti scientifici (compassi, sfera armillare, astrolabio, lente d'ingrandimento, bussola); sul fondo, nascosta da alcuni quadri, compare la *Santa Cecilia* di Raffaello, la quale evoca la possibilità di innalzarsi verso la contemplazione del divino mediante la musica. Parallelamente, nell'*Allegoria dell'udito* (1618, Museo del Prado, Madrid) Brueghel non trascura il legame con l'astronomia: il quadro è dominato da strumenti musicali, ma vi è un ampio spazio ove trovano collocazione un globo celeste sormontato da una sfera armillare, numerosi orologi, un orologio planetario (assai simile all'*Astrarium* di Dondi) e alcuni cornetti acustici – a voler confermare

il desiderio espresso da Campanella ne *La città del Sole* di udire i suoni dei pianeti mediante un “oricchiale celeste”.

6. Universo infinito, moti eterni ed eternità divina: il canone angelico

Secondo Leonardo da Vinci (*Libro di Pittura*), la musica è affetta da una «malattia mortale», ossia dalla dissoluzione temporale che si manifesta sia nell’esecuzione diacronica delle parti della composizione, sia nell’estinzione finale di quest’ultima.

Lo statuto ontologico della musica la rende pertanto inadatta a rappresentare acusticamente l’eternità del moto dei pianeti. Nella tradizione medievale e rinascimentale si assiste invece a una sovrapposizione tra armonia del cosmo e canto angelico, la quale scaturisce da una corrispondenza tra sfere angeliche e pianeti. Nicomaco di Gerasa (secondo Pseudo-Giamblico, *Theologoumena arithmeticae*) fu tra i primi a proporre tale identificazione, riconducendo etimologicamente *angheloi*, “angeli”, alla parola “schiere”, *aghelai*, che indica anche le sfere celesti. La corrispondenza tra canto angelico e armonia delle sfere era stata poi espressamente posta da Ambrogio (*Hexaemeron Libri VI*, 11, 2) e ripresa da numerosi autori, tra i quali Dante (*Convivio*, II, 6) e il teorico della musica Giorgio Anselmi (*De musica* I, sec. 157-168).

Al limite costitutivo della musica tentano di ovviare i canoni circolari, potenzialmente eseguibili all’infinito, di cui la *Musurgia Universalis* (1650) di Athanasius Kircher celebra la dimensione teologica e cosmologica. Sul frontespizio di quest’opera compare il tema di un canone a 36 voci, eseguito dalle gerarchie angeliche e corrispondente all’armonia dei cieli¹. Il frontespizio della *Musurgia Universalis* è un compendio delle concezioni filosofiche connesse al tema dell’*harmonia mundi*, che l’Autore affronta fondendo, in modo spesso problematico, interessi scientifici, intenti apologetici e filosofia ermetica.



Figura 5.

Questo canone era stato originariamente composto da Romano Micheli (*Speciminia musices*, 1633) con il testo «*Ludovicus Rex defensor omnium Christianorum*» e dedicato presumibilmente al re di Francia Luigi XIII. Kircher sostituisce il testo con un triplice *Sanctus* e lo colloca in un contesto filosofico e teologico, modificandone così il significato; volendo probabilmente richiamare il canone a 36 voci *Deo gratias* del noto compositore fiammingo Johannes Ockeghem, affida l'esecuzione ai nove ordini angelici.

Il termine *kanon* significa innanzitutto “regola”, “modello”: il canone musicale è infatti una composizione molto rigorosa in cui lo svolgimento delle singole voci segue precise regole contrappuntistiche, attenendosi al modello melodico esposto all'inizio della composizione. *Kanon* indica inoltre un salterio arabo a corde pizzicate, una sorta di evoluzione del monocordo su cui Pitagora avrebbe definito le proporzioni numeriche corrispondenti alle consonanze musicali eseguite dai pianeti. Entrambi i significati rendono dunque il canone idoneo a esprimere acusticamente la perfezione armonica del cosmo-monocordo. La forma compositiva del canone riflette le peculiarità del canto degli angeli, il quale è *sine fine, unus* ma eseguito da cori alterni, e quindi principale modello della *concordia discors*, ossia dell'unione consonante di elementi differenti. La sua composizione, precisa Kircher, non deve presentare voci all'unisono (1:1), evitando che suoni identici siano eseguiti simultaneamente. Il canone celebra così il livello più alto di *harmonia*: l'unità del tema melodico si articola nella diversità dei registri vocali, mentre il perfetto unisono – principio delle consonanze e caratterizzato dall'uguaglianza e dall'identità – si realizza solo all'interno della Trinità. Al pari dei concerti angelici e dei moti delle sfere celesti, il canone del frontespizio della *Musurgia* è circolare ed eseguibile all'infinito: il tema della “proposta” (modello melodico esposto dalla prima voce) è cantato a turno da tutte le voci del coro, per poi essere di nuovo ripreso dalla proposta e ricominciare così da capo *ad libitum*.

Il perno attorno al quale si sviluppa l'intero canone è una *trias harmonica*, ossia l'accordo di sol maggiore *sol-si-re*, evidente simbolo dell'intelletto angelico, fonte di luce e armonia al pari del Sole (*sol*). Il nostro luminare è infatti un *lumen* rispetto alla *Lux* divina (che, in termini musicali, sarebbe espressa dal *do*), mentre la condizione umana è rappresentata dalla Luna, ossia dalla luce riflessa del Sole, come si può desumere anche dal frontespizio di un'altra opera kircheriana, l'*Ars Magna lucis et umbrae* (1646). La trasfigurazione teologico-filosofica del canone operata da Kircher contribuisce alla sua ampia diffusione e a suscitare l'interesse di molti musicisti, tra i quali Johann Sebastian e Carl Philipp Emanuel Bach. L'anno seguente la pubblicazione della *Musurgia*, il poeta tedesco Johann Rist appone la metà superiore dell'incisione kircheriana (comprensiva del canone) sul frontespizio della propria *Sabbathtische Seelenlust* (1651), una raccolta di inni musicati da Thomas Selle. Rist è un poeta e letterato molto noto in ambito luterano e i temi melodici dei suoi inni sono spesso utilizzati anche da Johann Sebastian Bach. È grazie alla sua opera che il canone angelico giunge sino a Carl Philipp Emanuel Bach, il quale ne propone una risoluzione in partitura, rimasta sino ad oggi manoscritta (SBB Mus. Ms. 207 1 5).

La struttura compositiva di questo canone è particolarmente significativa sul piano teologico. La *trias harmonica* è infatti l'espressione sonora della Trinità, come rilevano, oltre a Kircher, numerosi trattatisti del Seicento, quali Johannes Lippius (*Synopsis musicae novae*, 1612), Johannes Crüger (*Synopsis musica*, 1630) e Andreas Werckmeister (*Musicae Mathematicae Hodegus Curiosus*, 1686). La *trias harmonica* rappresenta, in termini di frequenza sonora, i primi armonici naturali contenuti nel suono fondamentale: nel caso della nota *sol*, i primi armonici sono *sol-re-sol-si-re*. La triade armonica è perciò particolarmente adatta alle numerose speculazioni seicentesche sulla Trinità. In un periodo storico segnato dal diffondersi di eresie antitrinitarie, le analogie geometriche impiegate dagli apologeti sono affiancate sempre più spesso da quelle musicali. In tale ambito, determinante è l'opera del filosofo Marin Mersenne che elabora una teologia dell'unisono con l'intento di chiarire l'unità e l'uguaglianza delle tre Persone. Rispetto all'unisono, ove note identiche (stessa altezza) sono eseguite simultaneamente, la triade armonica ha il vantaggio di presentare note diverse per nome (come le Persone della Trinità) ma identiche riguardo alla loro sostanza, perché "contenute" in una singola nota.

L'infinità del canone non evoca solo il moto eterno dei pianeti ma anche l'infinità dell'universo, sostenuta da Kircher a partire da argomentazioni metafisiche di matrice cusana, oltre che dai dibattiti sorti in seguito alle osservazioni telescopiche. Si realizza perciò una peculiare sovrapposizione e traduzione: l'infinito spaziale è reso mediante l'infinito temporale, a cui si ricollega la dimensione dell'eternità. Ma mentre l'eternità divina è *tota simul*, assoluta pienezza, punto temporale inesteso, quella del canone si manifesta nella durata successiva propria del divenire degli enti creati. Se l'esecuzione diacronica della composizione palesa la differenza tra questi due generi di eternità, la *trias harmonica* consente al canone di mostrare un punto di tangenza: sul piano dell'astrazione matematica, le armoniche sono di numero infinito ma contenute nella nota fondamentale – da cui la pienezza e simultaneità proprie dell'eternità divina.

Il canone della *Musurgia Universalis* riassume dunque un percorso circolare che dalla musica conduce alla cosmologia e alla teologia per poi tornare, una volta reinterpretato in chiave filosofica, alla musica.

NOTE

¹ La prima esecuzione assoluta del canone angelico della *Musurgia* è stata realizzata con l'intento di inserirla nel filmato *L'armonia delle sfere* (curato dalla scrivente), proiettato nell'ambito della mostra *Galileo. Immagini dell'universo dall'antichità al telescopio* (Palazzo Strozzi, 13 marzo-30 agosto 2009). Grazie al sostegno dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza, il canone è stato risolto in partitura dal Maestro Michele Ignelzi ed eseguito dal coro Vincenzo Galilei (diretto dal Maestro Francesco Rizzi) della Scuola Normale Superiore di Pisa. Il canone può essere ascoltato alla seguente pagina web:

<http://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzostrozzi/multimediale/LarmoniaSfere.html>.

Questi temi sono stati affrontati nelle seguenti pubblicazioni, a cui ci permettiamo di rinviare per approfondimenti e riferimenti bibliografici: [1], [2], [3].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fabbri, N., *Cosmologia e armonia in Kepler e Mersenne. Contrappunto a due voci sul tema dell'Harmonice Mundi*, Firenze, Olschki 2003.
- [2] Fabbri, N., *“De l'utilité de l'harmonie”. Filosofia, scienza e musica in Mersenne, Descartes e Galileo*, Edizioni della Normale, Pisa 2008.
- [3] Fabbri, N., Filosofia e teologia nel canone angelico a 36 voci di Kircher, *Città di Vita. Bimestrale di religione, arte e scienza*, LXIV, fasc. 2, 2009, pp. 175-186.

NICCOLÒ STENONE: SCIENZIATO E UOMO DI FEDE ALLA CORTE DI COSIMO III*

STEFANO MINIATI

Dipartimento di Studi Storico-Sociali e Filosofici, Università di Siena, sede di Arezzo

Nel periodo compreso tra l'ottobre del 1687 e il giugno del 1690 Wilhelm Gottfried Leibniz intraprese un viaggio attraverso Germania, Austria e Italia per condurre una ricerca storico-filologica su incarico prima del duca di Hannover Johann Friedrich (entusiasta protettore di Stenone nel periodo 1677-1680), e, dopo la di lui morte, del fratello Ernst-August (la cui moglie era notoriamente una fervente ammiratrice del filosofo tedesco). Scopo dell'impresa era l'esatto stabilimento dell'araldo della genealogia guelfa; durante l'anno passato in Italia (dal marzo 1689 al marzo 1690), in particolare, ci si attendeva da Leibniz una prova dell'antico legame che univa la casa d'Este e quella di Brunswick al fine di determinare con precisione le connessioni che, da quelle casate, avevano portato all'attuale dinastia dei duchi di Hannover.

A Firenze il bibliotecario della corte tedesca non trascorse che poche settimane, dal novembre al dicembre 1689, le quali in ogni modo si rivelarono assai fruttuose. Oltre all'incontro con l'*entourage* granducale (in particolare con i principi Ferdinando e Gian Gastone), frequentò Antonio Magliabechi, Cosimo Della Rena, Vincenzo Viviani e Rudolf Christian Von Bodenhausen, non è stata trasmessa alcuna prova di un incontro con Cosimo III; sappiamo soltanto che quest'ultimo diede istruzioni a Magliabechi e Della Rena perché assistessero Leibniz e gli schiudessero le porte delle librerie e degli archivi di Firenze [33, pp. 193-294]. Da Brunswick, in una lettera datata 1691 e indirizzata a Melchisedec Thévenot, uno dei fondatori dell'*Académie Royale des Sciences*, Leibniz esprimeva però un duro giudizio sul Granduca, che coinvolgeva anche la relazione di quest'ultimo con Stenone:

Il Gran Duca è estremamente cambiato; un tempo era assai curioso riguardo le scienze e aveva egli stesso acquisito grandi conoscenze, ma oggi è del tutto estraneo a quell'interesse. Non so se il Sig. Stenone vi ha contribuito o se è stata piuttosto Sua Altezza Serenissima che ha cambiato il Sig. Stenone, come credo d'aver capito¹.

Leibniz era probabilmente ben informato della "bigotteria" del sovrano dai suoi corrispondenti italiani, *in primis* Antonio Magliabechi, la cui amicizia col filosofo durò quasi fino alla morte del bibliotecario fiorentino; e questa informazione doveva tanto

* Lezione tenuta a Castiglion Fiorentino (Ar) l'11 novembre 2009, presso l'I.I.S. Giovanni da Castiglione, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

più meravigliare Leibniz quanto più gli erano noti i precedenti interessi scientifici di Cosimo, i quali, sebbene non potessero rivaleggiare con quelli del padre, pure avevano avuto una loro concretezza. Quando infatti Cosimo, venticinquenne, era un giovane principe ereditario alle prese col suo tour europeo, di passaggio in Olanda nel 1668, aveva offerto a Jan Swammerdam, allora promettente entomologo in grande rivalità con Marcello Malpighi, una somma di 12000 talleri per acquisire la preziosa collezione di reperti naturali accumulata assieme al padre in lunghi anni di paziente ricerca, e divenuta una delle meraviglie di Amsterdam. Ma Cosimo non si era limitato a questo tipo di interesse erudito. Condizione per l'acquisto, infatti, era che lo scienziato olandese accettasse di proseguire le sue ricerche presso la corte di Firenze, dove gli sarebbe stato garantito uno stipendio più che adeguato. Swammerdam non accettò né questa offerta, né quella successiva venuta direttamente da Stenone per conto del Granduca nel 1674, in parte perché, di fede protestante, temeva di trovarsi a mal partito in un paese cattolico, in parte perché aveva il presentimento, non certo infondato, che la propria attività di ricerca potesse venire ostacolata dai molteplici impegni mondani imposti dalla vita di corte [33, p. 220].

Agli occhi di Leibniz, la completa negligenza dimostrata dal sovrano per le questioni scientifiche, in favore della devozione religiosa, era tanto più grave, poi, in quanto coinvolgeva anche studiosi di estremo valore come Stenone. Quest'ultimo, con enorme sorpresa dei suoi amici fiorentini e dell'intera repubblica culturale europea, aveva deciso di abbandonare anatomia e geologia in favore di una devozione religiosa totale e pervasiva, e di dedicare tutte le proprie energie all'attività missionaria che, visti gli interessi "riuninisti" portati avanti da Leibniz ad Hannover con teologi come Georg Calixt e Walter Molanus, gli appariva ottusamente partigiana [37]. E il proprio disappunto verso quel gesto, che ebbe senza dubbio vasta eco, doveva essere stato così grande da fargli sentire l'esigenza di manifestarlo a Thévenot ancora cinque anni dopo la morte del nostro autore. D'altronde i sentimenti di Leibniz verso la conversione di Stenone non erano certamente nuovi e rimontavano ad anni addietro, come testimonia una lettera databile al novembre 1677, anno in cui incontrò il neovescovo di Tiziopoli ad Hannover. Al danese il filosofo tedesco non contestava tanto l'apostasia, comprendendo la profonda convinzione che l'aveva motivata, quanto piuttosto un bieco afflato proselitistico che, a suo dire, risultava del tutto in contrasto con il contegno intellettuale tenuto da Stenone quale brillante scienziato alle corti di mezza Europa².

Non c'è dubbio che la storiografia cosimiana si sia nutrita anche di questi giudizi – basterebbe solo ricordare, tra le altre, alcune biografie coeve del sovrano, le pagine di Riguccio Galluzzi e quelle di Furio Diaz [1, 13, 21] – e che la vicenda di Stenone abbia contribuito ad alimentare l'immagine del "principe bigotto" e della conseguente, inarrestabile decadenza culturale del Granducato toscano [16]. Seguendo questo filone interpretativo, si è voluta sovente inserire la questione del rapporto tra il sovrano e il suo grande suddito sulla linea di un contrasto assoluto tra ricerca scientifica e indagine religiosa; contrasto che configurerebbe senz'altro l'immagine del bivio, dell'*aut-aut* tra

scienza e fede a cui Stenone non poteva sottrarsi³. Se questa prospettiva ha potuto, quanto meno nel nostro Paese, venir confortata da una lunga e autorevole tradizione storiografica, oggi essa mostra in più punti elementi di debolezza, soprattutto alla luce di nuove e più approfondite analisi documentarie. Da un lato, infatti, la vicenda del Granducato di Cosimo III appare più complessa rispetto alle analisi riduzionistiche che spesso ne sono state fornite: la sua politica culturale non risulta così estremamente povera, e quella religiosa, lungi dall'essere un'eccezione, può venir inserita in una prevalente linea europea di cui il Granduca era rappresentante eccellente e riconosciuto [17, 31]. Dall'altro, la vicenda stenoniana, se analizzata complessivamente, appare in parte autonoma rispetto agli sviluppi politico-religiosi della Toscana tardo-medicea, in cui essa trova, piuttosto, terreno fertile per nutrire tendenze ampiamente rintracciabili nel periodo precedente l'arrivo in Italia nel 1666⁴.

Quando Stenone, in una lettera del 7 maggio 1683 indirizzata proprio a Cosimo, si autodefiniva «figliuolo spirituale di Firenze»⁵, aveva le sue motivate ragioni. È opportuno ricordare che, proprio nel periodo toscano, il grande anatomista e geologo raggiunse la piena maturità scientifica e un'ampia e duratura fama internazionale, sotto la protezione di quell'Accademia del Cimento. Appena un anno dopo l'arrivo di Stenone nella capitale del Granducato, verrà sciolta per forti contrasti interni e per il formale abbandono del suo principale animatore, Leopoldo de' Medici, eletto cardinale e costretto a risiedere stabilmente a Roma. Se consideriamo che agli anni 1666-1669 risalgono lavori come l'*Elementorum myologiae specimen*, pietra miliare nell'analisi miologica, il *Canis Carchariae dissectum caput*, rappresentazione del primo tentativo di un'analisi geologica dei reperti fossili, la *Historia dissecti piscis ex Canum genere*, in cui viene illustrato per la prima volta con coerenza d'indagine sperimentale il ruolo dell'apparato riproduttore femminile dei mammiferi e, infine, il *De solido intra solidum naturaliter contento*, in cui sono poste le basi per la moderna geologia e cristallografia, difficilmente si potrà ritenere che Stenone non abbia fornito un grande contributo alla scienza toscana, dentro e fuori il Cimento. Qualsiasi siano stati, infatti, i destini della celebre Accademia, è un dato di fatto che egli si sia sempre sentito parte del *milieu* scientifico-culturale della città, e abbia inteso approfondire per quella cerchia di persone sforzi scientifici di estrema rilevanza, come testimoniano numerosi passi delle sue opere e del suo epistolario⁶.

L'attività scientifica di Stenone proseguì anche dopo la morte di Ferdinando, avvenuta nel 1670, e sotto il Granducato di Cosimo III, seppur in maniera notevolmente ridotta. Non si può trascurare infatti che proprio in quel periodo, su invito del cardinale Leopoldo e grazie alla collaborazione di Felice Marchetti, egli cominciò a redigere un catalogo degli elementi contenuti nella notevole collezione mineralogica del Museo dell'Accademia in Pisa, entrando così a stretto contatto con lo Studio cittadino. Stenone venne tuttavia ricevuto con una certa freddezza, se si fa eccezione per l'allora Rettore Federigo Nomi, il quale ebbe per lui parole estremamente lusinghiere⁷. Ma questo è anche il periodo in cui Stenone compì importanti perlustrazioni geologiche nelle grotte dell'Italia settentrionale (grotte di Gresta e Moncodemo), grazie alle quali riuscì a dare

per la prima volta una compiuta confutazione della teoria dell'antiperistasi fornita da Aristotele e rimasta in vigore fino all'età moderna. Secondo lui, il ghiaccio contenuto nelle grotte sarebbe il risultato della "reazione" al calore esterno [43, pp. 238-246]. Forse meno noti, ma non per questo meno importanti, sono gli esperimenti di chimica applicata alle preparazioni anatomiche, che in questo periodo lo scienziato, sulla scorta degli insegnamenti appresi dall'amico Jan Swammerdam, portò avanti insieme al suo allievo danese Holger Jacobsen, e testimoniati appunto dai resoconti sperimentali di quest'ultimo⁸. Ancora dal diario di Jacobsen apprendiamo che nel 1676 Stenone era usualmente presente, insieme a Francesco Redi, alle dissezioni condotte dal devoto allievo dinanzi a Cosimo III⁹.

Senza dubbio, l'avvento di Cosimo segnò per Stenone il momento in cui la ricerca religiosa divenne prevalente rispetto a quella scientifica. Tuttavia, alcuni decisivi fattori che contribuirono alla conversione dal Luteranesimo al Cattolicesimo, avvenuta nel 1667, erano tutti presenti sotto il regno di Ferdinando II e in qualche modo risultavano patrimonio comune della tradizione politico-religiosa della casata medicea sin dal secolo precedente. Tra questi, assume un ruolo particolarmente rilevante il significato del mistero eucaristico, il quale da almeno un secolo rappresentava uno dei nodi fondamentali della controversia tra cattolici e protestanti, e il cui culto, celebrato nella processione del *Corpus domini*, incarnava uno dei momenti religiosi più significativi del Granducato. Non è un caso se proprio durante la grandiosa celebrazione eucaristica tenutasi a Livorno nel 1667 Stenone cominciò a considerare seriamente l'ipotesi di abbandonare il Luteranesimo per entrare nella Chiesa di Roma¹⁰.

È senz'altro vero, come afferma anche Arnaldo D'Addario, che la magnificenza e sfarzosità di questi imponenti riti pubblici produceva una forte impressione nell'animo dei partecipanti a scapito di una più profonda e genuina riflessione religiosa [9, pp. 193-194]. Ma è anche vero che, almeno nel caso di Stenone, il sentimento di venerazione nei confronti dell'ostia consacrata gli veniva da lontano, almeno dagli anni del soggiorno francese (1664-1666), in cui entrò probabilmente in contatto con la spiritualità controriformata di quel Paese, con l'eredità di Pierre de Bérulle, con la scuola giansenista di Port-Royal, e con Jacques Benigne Bossuet. Evidenze documentarie testimoniano che egli certamente affrontò, oltre a problemi riguardanti l'anatomia e la geologia, rilevanti questioni teologiche, e il significato dell'Eucarestia era una di queste¹¹. E pochi dubbi possono esservi sul fatto che, all'interno del circolo di Thévenot, in cui lo scienziato danese praticò le sue famose dissezioni del cervello, e negli altri circoli colti parigini frequentati da Stenone assieme al suo maestro Ole Borch, le perplessità sollevate contro l'onnipervasività del dualismo di Cartesio – «re dei sogni impossibili», come lo definì Gilles Personne de Roberval – erano all'ordine del giorno. Tra esse trovava senz'altro un posto di primo piano la polemica suscitata dal tentativo cartesiano di fornire una spiegazione in chiave filosofica del miracolo della transustanziazione, il quale sostanzialmente annullava il valore epifanico di quell'evento, valore sancito recentemente e con forza dai padri conciliari a Trento. Pierre Bourdelot – le cui lezioni Stenone ebbe

modo di frequentare nella capitale francese – incolpava l'autore del *Discorso sul metodo* di aver tentato di dimostrare l'essenza di Dio attraverso la filosofia naturale, mentre non poteva nemmeno spiegare il rapporto mente-corpo senza ricorrere all'esistenza del Creatore. Quest'identica accusa sarà fatta propria in maniera quasi letterale dallo scienziato danese nelle sue successive requisitorie contro i cartesiani¹².

Appaiono così molteplici le consonanze religiose trovate da Stenone a Firenze, e sarebbe forse fuorviante presumere che lo scienziato danese fosse venuto in Toscana principalmente per immergersi nell'eredità di Galileo, i cui lavori egli aveva imparato a conoscere negli anni di studio all'Università di Copenhagen. È questa l'ipotesi avanzata dal grande studioso del danese, il p. Gustav Scherz CSsR, il quale, nei suoi preziosi lavori, ha inteso enfatizzare lo Stenone dedito alle scienze esatte, mentre avrebbe in fin dei conti praticato l'anatomia per convenienza accademica e non per convinzione profonda, come egli stesso sembra testimoniare in una lettera giovanile al maestro Thomas Bartholin¹³.

Nonostante tale evidenza documentaria, tuttavia rimasta un *hàpax* all'interno del *corpus* stenoniano tramandatoci, ritengo che questa pur autorevole opinione vada molto mitigata. Da un lato, infatti, Stenone, nonostante i suoi non comuni e, per certi aspetti, sorprendenti interessi per la matematica, per la fisica e per l'astronomia, non ha mai inteso essere un fisico né tantomeno un astronomo (le sue idee cosmologiche, in effetti, risultano abbastanza incoerenti e involupate). Dall'altro, i suoi maestri testimoniano di una lunga tradizione di rapporti scientifico-culturali con l'Italia: Caspar Bartholin senior, il famoso autore delle *Institutiones anatomicae*, i suoi figli Erasmus, il matematico, suo fratello e tutore di Stenone Thomas, il poliedrico Ole Borch, tutti hanno trascorso un certo tempo in Italia per approfondire i rispettivi campi di ricerca, e senza dubbio Stenone appartiene pienamente a questa tradizione¹⁴. La sua venuta a Firenze, dunque, si inserirebbe piuttosto nel solco di una consuetudine consolidata di relazioni scientifiche, la quale certo poteva trarre alimento dall'interesse del giovane scienziato per l'eredità galileiana, senza tuttavia che questa rappresentasse l'unica o la prevalente motivazione del suo lungo *iter italicum*.

D'altronde, l'approccio epistemologico di Stenone risultava in più punti abbastanza distante da quello di Galileo. Il ruolo da egli assegnato alla matematica non era così pervasivo: la natura era lungi dal risultare un libro «i cui caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola», come si dice nel celebre passo de *Il Saggiatore* [18, p. 232].

Secondo Stenone la natura, per quanto in parte indagabile con strumenti matematici (si pensi al suo tentativo di geometrizzare la miologia e la geologia), rimaneva di fatto irriducibile ai suoi elementi ultimi, rimaneva un mistero che rivelava la grandezza del suo creatore, e di fronte al quale non si poteva che rimaner infine muti. È anche questo, credo, il senso del celebre motto che egli inserisce nel *Proemio* alle dimostrazioni anatomiche tenute a Copenhagen nel 1672-73: «*Pulchra sunt quae videntur, pulchriora quae sciuntur, longe pulcherrima quae ignorantur*»¹⁵. Dio è presente nella creazione come

potenza, la quale deve indirizzarci, tramite la fede, alla Sua essenza; ma Dio vi è anche come provvidenza, per cui la natura perde quel marchio di inesorabilità assegnatole da Galileo [19, p. 316] e assume piuttosto in Stenone i caratteri di luogo di redenzione estetica e morale. Coerentemente, tutto l'arco della produzione scientifica stenoniana mostra un legame assai stretto con considerazioni di tipo religioso, assenti invece nelle opere di Galileo. Quest'ultimo, infatti, aveva intrapreso la strada delle riflessioni teologiche più sulla spinta di attacchi a lui rivolti dai filosofi e dai teologi, piuttosto che sulla scorta di un coerente progetto di ricerca¹⁶.

Non deve stupire, dunque, se subito al suo arrivo a Firenze il brillante autore del *Discorso sull'anatomia del cervello* dimostrò interesse per gli aspetti peculiarmente religiosi della vita italiana e toscana, e non c'è motivo di dubitare che pure essi, accanto alla ricerca scientifica, abbiano costituito un potente incentivo al suo trasferimento.

A ragione la conversione di Stenone è stata presentata come una vittoria della politica culturale e religiosa medicea, con cui si voleva dimostrare, dopo le tensioni provocate dall'*affaire* Galileo, che la scienza non produceva soltanto miscredenza e ateismo [20, p. 125]. Senza alcun dubbio questa componente ha avuto una sua rilevanza; tuttavia tale interpretazione tralascia di prendere in considerazione il sincero fervore religioso toscano rappresentava, come ha già da tempo sottolineato la storiografia [9], una punta di diamante della Controriforma e che dovette giocare un ruolo considerevole nell'animo di Stenone, aveva già mostrato, sin dagli anni universitari, forti interessi per il mondo cattolico; mondo che tuttavia, fino al 1666, aveva conosciuto solo tangenzialmente, grazie alle missioni gesuitiche che si avvicendavano a Copenhagen e ai molti contatti con istituzioni e personalità cattoliche, soprattutto in Olanda e Francia, come già abbiamo avuto modo di dire. Senza dubbio egli vide nella Toscana medicea, come si evidenzia in più parti del suo epistolario, la *cattolicità pienamente realizzata*, che poi terrà a modello del suo futuro contegno come vescovo *in partibus infidelium*. La *politica religiosa* medicea era prima di tutto una *religiosità* sostanziata da una fitta rete assistenziale e devozionale, la quale lambiva le attività di corte e spesso vi si inseriva attivamente; la pratica di portare i religiosi a Palazzo, se trova un momento apicale sotto Cosimo III, certo contraddistingue l'intera vicenda medicea sin dalla nascita del Granducato [17].

Se è vero poi che, nel caso di Stenone almeno, la scienza non porta soltanto all'ateismo, si deve aggiungere inoltre che essa porta alla fede; e questo significa riconoscere il ruolo giocato dalla ricerca anatomica nell'evoluzione religiosa dello scienziato danese, senza immaginare brusche fratture esistenziali. D'altronde egli non nascose mai questo aspetto a sé o ad altri; celebre è la lettera scritta a Leibniz nel 1677, come risposta alla domanda provocatoria che il filosofo di Hannover gli aveva posto, ovvero se per caso avesse trovato Dio nel midollo delle ossa. La sua replica è netta: «la scoperta della fabbrica delle ossa (*fabrique des os*) mi fece aprire gli occhi e conoscere Dio, facendomi desiderare di servirlo nel miglior modo possibile»¹⁷. D'altronde l'opinione espressa dal trentasettenne neovescovo ad Hannover non era nuova; appena ventunenne, come studente di Ole Borch a Copenhagen, scrisse che

peccano nei confronti della maestà di Dio coloro che non desiderano indagare l'opera della natura, ma si accontentano della lezione altrui e si fabbricano immagini (*figmenta*); così non solo non traggono utilità dalla serena indagine delle meraviglie di Dio, ma sprecano il tempo che deve dedicarsi alla cose necessarie e al vantaggio immediato, e affermano molte cose che sono indegne di Dio¹⁸.

Questo legame, così stretto, tra ricerca scientifica e religiosa nella prima modernità, non appare certo un'esclusiva peculiarità del nostro autore, ma rappresenta, per aspetti rilevanti, un tratto comune della Rivoluzione Scientifica¹⁹. In Stenone, tuttavia, scienziato tra i più notevoli del suo tempo e poi uomo di fede prossimo alla santità, esso si configura come percorso di vita e inesausto tirocinio spirituale e morale; questo tratto, riflettendosi sulla sua personalità, dovette lasciare un segno su quanti incontrò in Toscana, suscitando reazioni diverse: il sospetto del bibliotecario di corte Magliabechi, la diffidenza, se non addirittura l'astio, di Giovanni Alfonso Borelli, il grande affetto di Francesco Redi e Vincenzo Viviani²⁰. Tuttavia il percorso scelto da Stenone doveva separarlo anche da questi amici, come sembra testimoniare il drastico diminuire dello scambio epistolare tra loro nel corso degli anni Settanta del Seicento, fino alla sostanziale scomparsa in quel decennio. È probabile che, al di là dei differenti percorsi di vita che andarono sempre più differenziandosi, abbia giocato un ruolo anche la diversa visione del rapporto scienza-fede manifestata da Stenone rispetto agli eredi di Galileo.

Nel nome di uno sperimentalismo anti-scolastico e anti-aristotelico, Redi non vedeva punti sostanziali di contatto tra ricerca scientifica e religiosa: la prima si svolgeva unicamente osservando in modo attento i fenomeni naturali, la seconda andava portata avanti «a chius'occhi»²¹. Nonostante non abbia mai abdicato al principio della rispettiva autonomia tra scienza e fede, certamente condivisa con Redi, Stenone, il quale non era un «empirista radicale» [5], lasciava più spazio nella propria ricerca scientifica a considerazioni di stampo metafisico, che, se non influivano strettamente sul metodo d'indagine, inserivano tuttavia quest'ultima in un quadro teisticamente connotato. Ne consegue inoltre che il rapporto tra il «libro della Scrittura» e quello «della natura» risultava per lui relativamente permeabile, com'è dimostrato da un passo del *De solido*, in cui il geologo danese, riguardo la storia della terra, pone sullo stesso piano l'indagine naturale e il dato scritturale²².

Neppure a Cosimo III sfuggì quella singolare personalità. Chiusi nel paradigma interpretativo ben rappresentato dal giudizio di Leibniz, gli studiosi non si sono mai concentrati sulla natura del rapporto di Stenone col penultimo sovrano mediceo. L'analisi delle fonti mostra chiaramente come, lungi dall'assecondare semplicemente la bigotteria del suo protettore, il nostro autore assunse invece il ruolo assai delicato di consigliere spirituale del principe, affiancando Cosimo in delicate questioni di politica religiosa, di natura non solo locale, ma italiana ed europea, quali il problema della penetrazione giansenista in Italia, o il contenimento, nel nostro Paese, del movimento quietista.

Quando a Cosimo si presentò il problema di appianare la controversia che vedeva

fronteggiarsi il suo teologo personale, il padre Enrico Noris, eminente rappresentante dell'agostinismo toscano, e i Gesuiti, i quali lo accusavano di sostenere le teorie di Giansenio giudicate eretiche, il Granduca coinvolse il nostro autore direttamente²³.

Stenone aveva conosciuto Noris personalmente prima di partire per la Germania; la devozione del danese per le dottrine agostiniane, inoltre, è ampiamente documentata, in tutta la sua opera teologica, in cui il vescovo di Ippona risulta tra gli autori più citati²⁴. Sebbene Stenone non ritenesse gli avversari di Noris in grado di avere validi appigli per attaccare il presule, nondimeno il futuro vicario apostolico, «secondo la licenza datami da Vostra Altezza serenissima», invitava Cosimo a prudenza, poiché le questioni coinvolte sono complesse, e bisogna stare attenti che la «verità di Dio da tutti sia difesa». Non è utile fomentare le controversie, e anche se «non mancano a Roma, chi in favor di queste dottrine, le fanno passare per cose scolastiche», è necessario evitare «di moltiplicare negl'animi degl'incauti lettori un veleno non conosciuto da chi non intende quelle materie *ex professo*»²⁵.

Anche sul quietismo italiano Stenone ebbe modo di esprimersi col Granduca, il quale, attraverso il gesuita Paolo Segneri, prese parte alla controversia che oppose quest'ultimo al quietista spagnolo Miguel de Molinos. Segneri, uno tra i predicatori prediletti di Cosimo, aveva in sospetto la mistica moliniana, in quanto tendeva a sminuire il valore delle opere e della direzione spirituale in favore di una religiosità estatica estremamente individualistica. Essa tuttavia aveva trovato forti appoggi presso la curia di Innocenzo XI: la moliniana *Guida spirituale*, esempio tra i più notevoli di religiosità quietista, venne stampata nel 1675 con l'approvazione di molti ordini religiosi, ad eccezione dei Gesuiti. La controversia tra i due, con la contropubblicazione da parte di Segneri della sua celebre *Concordia tra la fatica e la quiete nell'oratione*, stampato nel 1680, si concluse solo molti anni più tardi nel 1687 con la condanna di Molinos. Stenone, il quale, dal canto suo aveva conosciuto personalmente e stimava molto Segneri, ne condivise da subito le generali linee d'azione²⁶; tuttavia egli provava una certa attrazione per le idee quietiste, le quali rimandavano ad una religiosità della *unio mystica* con Dio cara alla grande tradizione spiritualista del XVI secolo (Teresa d'Avila, Giovanni della Croce e in parte Ignazio di Loyola), a cui anche lui si rifaceva. Tale attrazione, in ogni modo, rimaneva confinata agli esercizi spirituali, ed era concepita piuttosto come rafforzamento della *diakonia* e comunque sempre sottoposta al giudizio di un padre spirituale, il confessore personale, alla cui figura il sacerdote danese dedicò molte pagine²⁷.

In generale, Stenone si sentiva autorizzato da Cosimo ad aiutare il sovrano nel buon governo del suo regno e, cosciente del proprio ruolo, presentava al Granduca il suo ideale di *princeps christianus*. In una lettera datata 28 agosto 1677, veniva offerta al sovrano la storia di Giuseppe d'Egitto al fine di spiegare quale sia «lo stato di chi governa in questa vita»: con la consapevolezza di essere «esiliato tra esiliati», prigioniero tra i prigionieri, Giuseppe governò coloro che gli erano sottoposti, per essere infine elevato «al secondo posto nel regno de' liberi». Così il nostro autore poteva concludere che

veramente in questo mundo siamo tutti schiavi, tutti prigioni e chi ha da Dio superiorità sopra gl'altri è uno schiavo, che comanda tra gli schiavi, e un incarcerato, che governa gl'incarcerati, dove non si deve far caso di altro che di quello, che fa, *ut Dominus sit cum omnibus et omnia singulorum opera dirigat*²⁸.

E Cosimo, da parte sua, non mancava di ricambiare la dedizione di Stenone, sostenendolo nei tempi assai duri della missione in Germania che certo senza i sussidi granducali avrebbe avuto vita breve, minacciata com'era dalla penuria economica e dall'assedio della maggioranza protestante. In una lettera datata 31 maggio 1684 da Amburgo il vicario apostolico scrisse significativamente al sovrano: «In ogni modo, da che son qui a Hamburg, dopo la protezione divina, quella di Vostra Altezza Serenissima è la sola che mi mantiene in questo luogo»²⁹. Proprio a Cosimo, con parole di infinita gratitudine, era diretta l'ultima lettera che Stenone, «anatomista, fondatore della geologia e servo di Dio», stese il 4 dicembre 1686, poche ore prima della morte³⁰.

NOTE

¹ Vedi [24, erste Reihe, vol. VII, p. 353].

² Vedi [43, vol. 2, pp. 938-940].

³ Vedi [20], [10], [12]. Più recentemente questo paradigma è stato ripresentato in [28].

⁴ Mi permetto di rinviare, per questo, al mio recente [27].

⁵ Vedi [43, vol. 2, p. 586].

⁶ A titolo di esempio, si legga quanto Stenone afferma nella dedica a Ferdinando II contenuta nel *De solido*:

Avevo anche cominciato a stendere questo scritto in italiano, sia perché capivo che ciò Vi sarebbe piaciuto, sia per mostrare alla illustre Accademia che mi iscrisse fra i suoi membri, che quanto meno ero degno di tale onore, tanto più ero desideroso di testimoniare lo sforzo con cui mi impegno a qualche conoscenza della lingua toscana [44, vol. 2, p. 193].

⁷ Lo scienziato danese, tuttavia, non potrà portare a termine il compito assegnatogli a causa del ritorno in patria, avvenuto nel 1672. Il catalogo verrà completato dall'ex-segretario del Cimento e curatore dei *Saggi di naturali esperienze* Lorenzo Magalotti. *L'Indice delle cose naturali* è stato pubblicato in [36, pp. 203-289]. Sul giudizio di Nomi si veda [11], e più in generale, sulla figura di quest'ultimo il recente [3].

⁸ Vedi [41, vol. 2, p. 297]. Sugli esperimenti chimici di Swammerdam e la familiarità di Stenone con questi ultimi si veda [28, pp. 30-31, 61 (nota n. 53)].

⁹ Vedi [23, pp. 106, 137]; su questo diario e le sue caratteristiche, si veda [39, pp. 171-174].

¹⁰ Stenone riporta, in una lettera di qualche anno più tardi indirizzata a Lavinia Felice Cenami Arnolfini, moglie dell'ambasciatore della Repubblica lucchese a Firenze e importante artefice della sua conversione, l'effetto che causò in lui la processione, sembratagli, per la partecipazione intensa e per il forte ardore devozionale promanati, una prova concreta della verità dell'interpretazione cattolico-tridentina del rito eucaristico; vedi [42, vol. 1, p. 9]. Per una descrizione della grandiosità delle processioni mediche del *Corpus Domini* si veda [46, p. 310].

¹¹ Tra le molte personalità religiose che egli ebbe modo di incontrare a Parigi, vanno menzionati almeno Helvig Margarete von Rantzau, nobildonna divenuta cattolica e poi fattasi annunziata, e il gesuita Johannes Baptist de la Barre, celebre predicatore e controversista, con il quale egli discusse a lungo di temi eucaristici; si veda [42, vol. I, p. 191].

¹² Le informazioni sul *milieu* parigino e sulle reazioni anticartesiane provengono dal diario di Ole Borch; si veda [6, vol. IV, pp. 32, 306]. Si veda anche, sul tema della ricezione del cartesianesimo nei circoli dotti francesi della seconda metà del Seicento [26]. Com'è noto, all'interno del circolo rediano, Stenone poté trovare ampie conferme ai suoi dubbi sull'estendibilità incondizionata della filosofia cartesiana all'intero dominio delle scienze.

¹³ Vedi [43, vol. I, pp. 158-159]:

Dopo la pubblicazione delle mie poche osservazioni avevo deciso, riposto il coltello anatomico per tempi migliori, di riprendere in mano il compasso,

che non avevo messo totalmente da parte, anche perché non sembrasse che avessi sprecato tanta fatica e lavoro qualora avessi abbandonato del tutto quello studio a cui avevo consacrato un tempo non poche ore, e che metterei non al primo posto, ma considererei l'unico, se le difficoltà domestiche non mi avessero convinto, o piuttosto obbligato, a preferire l'utile al dilettevole. Ma appena le dita, purgate dal sangue, si erano leggermente cosparse di quella graditissima polvere, in parte le minacce assai feroci di uomini illustrissimi, in parte alcuni scritti poco amichevoli, che non presentavano le mie parole col senso che avevo assegnato loro, mi hanno invidiato la felicità a lungo desiderata e, imponendomi la necessità di rispondere, mi hanno anche costretto a tornare a quel sanguinario esercizio.

pubblicato anche in [44, vol. I, p. 225].

¹⁴ Il matematico Erasmus Bartholin, in particolare, intratteneva salde relazioni con l'Accademia del Cimento, come ci è testimoniato dalla corrispondenza di quest'ultimo con Vincenzo Viviani; vedi [38].

¹⁵ Vedi [44, vol. II, pp. 249-256].

¹⁶ Vedi [8, p. 16]; [15, vol. I, pp. 155-157].

¹⁷ Vedi [43, vol. I, pp. 366-367].

¹⁸ Vedi [45, col. 57, fol. 44r].

¹⁹ La letteratura su questo tema è sterminata. Luca Bianchi, in [4], ha cercato di fare il punto della situazione in un articolo non più recente, ma ancora prezioso per gli spunti offerti. Tra i molti volumi apparsi sul tema generale dei rapporti storici tra scienza e religione (teologia, chiesa) cristiana, rimangono fondamentali almeno [7], [25] e [30].

²⁰ Si veda [2]. Le dinamiche interne al *milieu* culturale toscano erano assai complesse: il confronto sul piano intellettuale era solo uno degli elementi in gioco; fattori caratteriali e sociali pesavano altrettanto nel determinare alleanze e inimicizie. Su Borelli e i suoi burrascosi rapporti con l'Accademia si veda [14].

²¹ Si veda [32, p. 90]:

Ah che i santi e profondi misteri di nostra fede non possono dall'umano intendimento essere compresi e non camminano di pari con le naturali cose, ma sono speciale e mirabil fattura della mano di Dio; il quale, mentre che venga creduto onnipotente, l'altre cose tutte facilissimamente e a chius'occhi creder si possono e si debbono; e credute a chius'occhi più s'intendono.

²² Si veda [44, vol. II, p. 224]:

Per evitare che qualcuno scorga dei pericoli nella novità, esporrò in poche parole la concordanza che al riguardo [sc. la teoria della formazione degli strati geologici] vi è tra la Natura e la Sacra Scrittura, passando in rassegna le principali difficoltà che potrebbero essere sollevate nei confronti dei singoli aspetti della terra.

I «pericoli» a cui Stenone allude non sono, come si potrebbe immaginare, legati ad una pos-

sibile difformità con la datazione biblica, ma relativi solo ad aspetti specifici sulla formazione delle acque diluviali e sulla formazione di valli e monti. Sostanzialmente, Stenone sembrava accettare, o comunque non considerare materia d'indagine, la prospettiva adottata da James Ussher nel suo *Annales Veteris Testamenti, a prima mundi origine deducti*, pubblicato nel 1650, che collocava nel 4000 a.C. la creazione del mondo.

²³ Si veda, su Noris e la controversia che lo coinvolse, [34, pp. 30-31].

²⁴ Sulla spiritualità di Stenone vedi [40].

²⁵ Lettere a Cosimo III da Roma, datate 7 e 24 luglio 1677; vedi [43, vol. I, pp. 334-338].

²⁶ Si veda [43, vol. I, pp. 399, 402, 406].

²⁷ Per una ricognizione di questi aspetti della religiosità stenoniana, e per il rapporto di Stenone col quietismo italiano ed europeo si veda [27, pp. 117-126].

²⁸ Si veda [43, vol. I, pp. 352-353].

²⁹ [43, vol. II, p. 690].

³⁰ [43, pp. 896-897]. Il titolo dato a Stenone di «*anatomicus, geologiae fundator, servus Dei*» si trova iscritto sulla statua a lui dedicata presso la biblioteca universitaria di Copenhagen.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Becagli, V., *Biografie coeve di Cosimo III*, in Angiolini F., Becagli V., Verga M. (a cura di), *La Toscana nell'età di Cosimo III. Atti del convegno Pisa-San Domenico di Fiesole (FI) 4-5 giugno 1990*, Edifir, Firenze 1993.
- [2] Bernardi, W., *Il paggio e l'anatomista. Scienza, sangue e sesso alla corte del Granduca di Toscana*, Le Lettere, Firenze 2008.
- [3] Bernardi, W., Bianchini, G. (a cura di), *Federigo Nomi. La sua terra e il suo tempo nel terzo centenario della morte (1705-2005)*, Franco Angeli, Milano 2008.
- [4] Bianchi, L., Cristianesimo e scienza moderna. Vecchie polemiche e nuove prospettive di ricerca storica, *La nuova civiltà delle macchine*, 15, nn. 1-4, 1997.
- [5] Bonciani, A., *Esitazioni metodologiche di un empirista radicale*, in Bernardi, W., Guerrini, L., (a cura di), *Francesco Redi un protagonista della scienza moderna. Documenti, esperimenti, immagini*, Olschki, Firenze 1999.
- [6] Borch, O., *Itinerarium 1660-1665. The journal of the danish polyhistor Ole Borch*, 4 voll., Schepelern, H. D., (a cura di), *The Danish Society of Language and Literature*, C. A. Retzels Forlag Copenhagen, E. J. Brill, London 1983.
- [7] Brooke, J. H., *Science and religion. Some historical perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge 1991.
- [8] Camerota, M., *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della Controriforma*, Salerno, Roma 2004.
- [9] D'Addario, A., *Aspetti della Controriforma a Firenze*, Pubblicazioni degli Archivi di Stato, LXXVII, Roma 1972.
- [10] De Rosa, S., *L'Europa culturale-religiosa e la conversione di Stenone*, in De Rosa, S., (a cura di), *Niccolò Stenone nella Firenze e nell'Europa del suo tempo. Mostra di documenti, manoscritti, opere nel terzo centenario della morte. 23 settembre-6 dicembre 1986*, Firenze, Sala Donatello, Basilica di S. Lorenzo. Catalogo, Firenze 1986.
- [11] De Rosa, S., *Niccolò Stenone e la politica culturale medicea: i suoi rapporti con lo studio pisano*, in *Il futuro dell'uomo*, XIV, nn. 1-2, 1987.
- [12] De Rosa, S., *Cosimo III de' Medici e Niccolò Stenone*, in Ascani, K., Kermit, H., Skytte, G., (a cura di), *Niccolò Stenone (1638-1686). Anatomista, geologo, vescovo*. Atti del seminario organizzato da Universitetsbiblioteket i Tromsø e l'Accademia di Danimarca, lunedì 23 ottobre 2000, in *L'erma di Bretschneider*, Roma 2002.
- [13] Diaz, F., *Il Granducato di Toscana. I medici*, UTET, Torino 1976.
- [14] Dollo, C., *Filosofia e medicina in Sicilia*, a cura di Bentivegna, G., Burgio, S., Magnano San Lio, G., Rubbettino, Cosenza 2004.
- [15] Drake, S., *Essays on Galileo and the history and philosophy of science*, 3 voll., University of Toronto Press, Toronto 1999.
- [16] Fantoni, M., *Il bigottismo di Cosimo III da leggenda storiografica ad oggetto storico*, in Angiolini, F., Becagli, V., Verga, M., (a cura di), *La Toscana nell'età di Cosimo III. Atti del convegno Pisa-San Domenico di Fiesole (FI) 4-5 giugno 1990*, Edifir, Firenze 1993.

- [17] Fantoni, M., *Il «principe santo». Clero regolare e modelli di sovranità nella Toscana tardo medicea*, in F. Rurale, (a cura di), *I Religiosi a Corte. Teologia, politica e diplomazia in Antico regime*, Bulzoni, Roma 1998.
- [18] Galilei, G., *Il Saggiatore*, in *Edizione Nazionale delle Opere*, a cura di A. Favaro, vol. VI, Barbera, Firenze 1896.
- [19] Galilei, G., *Lettera a Madama Cristina di Lorena Granduchessa di Toscana*, in *Edizione Nazionale delle Opere*, a cura di A. Favaro, vol. V, Firenze 1896.
- [20] Galluzzi, P., *Il dibattito scientifico in Toscana (1666-1686)*, in L. Negri, N. Morello, P. Galluzzi, (a cura di), *Niccolò Stenone e la scienza in Toscana alla fine del '600. Mostra documentaria ed iconografica. Catalogo*. Firenze, 23 settembre - 6 dicembre 1986, Firenze 1986.
- [21] Galluzzi, J. R., *Istoria del Granducato di Toscana sotto il governo della Casa Medici*, in per Gaetano Cambiagi stamp. Granducale, Firenze 1781.
- [22] Hoogewerf, G. J., *De Twee Reizen van Cosimi de' Medici Prins van Toscane Door de Nederlanden (1667-1669)*, Journalen en documenten, Amsterdam 1919.
- [23] Jacobsen, H., *Holger jacobaeus' rejsebog*, W. Maar, Copenhagen 1910.
- [24] Leibniz, G. W., *Sämtliche schriften und briefe*, Akademie Verlag, Berlin 1986-2008.
- [25] Lindberg, D. C., Numbers, R. L., *God and nature. Historical essays on the encounter between christianity and science*, University of California Press, Berkley-Los Angeles-Londra 1986.
- [26] MacCloughlin, T., *Censorship and defenders of the Cartesian faith in mid-seventeenth century France*, *Journal of the history of ideas*, vol. 40, n. 4, 1979.
- [27] Miniati, S., *Nicholas Steno's challenge for truth. Reconciling science and faith*, Angeli, Milano 2009.
- [28] Nordström, J., *Swammerdamiana: Excerpts from the travel journal of Olaus Borrichius and two letters from Swammerdam to Thévenot*, *Lychnos*, 1954-55.
- [29] Onoprienko, V. I., *Scientific discoveries live for centuries. Notes on the dramatic fate of Nicolaus Steno*, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, vol. 77, n. 6, 2007.
- [30] Osler, M. J. (a cura di), *Rethinking the scientific revolution*, Cambridge University Press, Cambridge 2000.
- [31] Paoli, M. P., *Le ragioni del principe e i dubbi della coscienza: aspetti e problemi della politica ecclesiastica di Cosimo III*, in F. Angiolini, V. Becagli, M. Verga (a cura di), *La Toscana nell'età di Cosimo III. Atti del convegno Pisa- San Domenico di Fiesole (FI) 4-5 giugno 1990*, Edifir, Firenze 1993.
- [32] Redi, F., *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti*, a cura di W. Bernardi, Giunti, Firenze 1996.
- [33] Robinet, A., *G. W. Leibniz iter italicum (mars 1689-mars 1690)*, Olschki, Firenze 1988.
- [34] Rodolico, N., *Stato e chiesa in Toscana durante la reggenza lorenese (1737-1765)*, Felice Le Monnier, Firenze 1972.

- [35] Rurale, F. (a cura di), *I Religiosi a Corte. Teologia, politica e diplomazia in Antico regime*, Bulzoni, Roma 1998.
- [36] Scherz, G. (a cura di), *Nicolaus Steno and his indice*, Munskgaard, Copenhagen 1958
- [37] Scherz, G., Leibniz über Stensen, *Stenoniana Catholica*, n. 1, Marzo 1959.
- [38] Scherz, G., Briefe aus der Bartholinerzeit, *Centaurus*, vol. 7, n. 2, 1961.
- [39] Seaton, E., *Literary relations of England and Scandinavia in the seventeenth century*, Blom, New York 1972.
- [40] Sobiech, F., *Herz, Gott, Kreuz. Die spiritualität des anatomen, geologen und bischofs Dr. Med. Niels Stensen (1638-86)*, Aschendorff Verlag, Münster 2004.
- [41] Steensen, N., *Opera philosophica*, a cura di V. Maar, 2 voll., V. Tryde, Copenhagen 1910.
- [42] Steensen, N., *Opera theologica*, edita da K. Larsen e G. Scherz, 2 voll., NYT Nordisk Forlag, Copenhagen 1949.
- [43] Steensen, N., *Epistolae et epistolae ad eum datae*, a cura di G. Scherz, 2 voll., NYT Nordisk Forlag, Verlag Herder, Copenhagen-Freiburg 1952.
- [44] Steensen, N., *Opere scientifiche*, a cura di L. Casella, E. Coturri, 2 voll., Cassa di Risparmi e Depositi di Prato, Prato 1986.
- [45] Steensen, N., *Chaos. Niels Stensen's chaos-manuscript, Copenhagen 1959, complete edition*, a cura di A. Ziggelaar, Danish National Library of Science and Medicine, Copenhagen 1997.
- [46] Vivoli, G., *Annali di Livorno*, IV, G. Sardi, Livorno 1846.

L'AVVENTUROSA DEFINIZIONE DEL METRO*

GIUSEPPE PIRILLO

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Unità di Firenze

Dipartimento di Matematica Ulisse Dini, Università di Firenze

Université de Marne-la-Vallée

Lato e diagonale del quadrato sono incommensurabili.

Pitagora

Le conquiste militari vanno e vengono, ma il metro durerà per sempre.

Napoleone

Non vi è sale al mondo che tanto sia attico quanto il sale dei pratesi, non v'è nulla di più euclideo di quel loro misurare il mondo a braccia come la stoffa...

Curzio Malaparte

1. Introduzione

Abbiamo voluto cominciare con tre citazioni, una calabrese, una francese e una pratese. La prima contiene l'enunciato di due fondamentali risultati di matematica, la seconda è un'importante affermazione politica mentre la terza appartiene alla letteratura. Il richiamo esplicito di affermazioni sulla *misura*, così diverse fra loro, potrebbe aiutare, soprattutto gli studenti, a evitare pericolose confusioni.

L'avventura di Delambre e Méchain è un monumento alla precisione: i due astronomi francesi, tra il 1792 ed il 1799, usando in modo raffinatissimo la trigonometria, hanno misurato un arco di meridiano passante per Parigi con una precisione che sorprende ancora oggi. Pierre-François-André Méchain ha scoperto diverse comete e ha calcolato le loro orbite. Jean-Baptiste-Joseph Delambre è ricordato anche per alcune formule di trigonometria e per [1], *Base du système métrique*. Delambre ha scritto una storia dell'astronomia; un cratere sulla luna e un asteroide portano il suo nome.

2. Spazzavento, Retaia e Poggio Castiglioni

Dopo che, nella primavera del 2009, ci era stata affidata la conferenza sull'avventura di Delambre e Méchain, abbiamo ritenuto di anticiparne il contenuto ad una nipote che, nel Liceo Europeo del Cicognini di Prato, stava studiando trigonometria. Ci è parso opportuno cominciare con un esercizio da svolgere senza fare calcoli, ma indicando

* Lezione tenuta a Prato, il 27 ottobre 2009, presso il Liceo Rodari, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

solo le procedure. In altri termini, un esercizio di *trigonometria teorica*, utile per porre in evidenza il meglio di quel che la trigonometria permette di fare, cioè effettuare *misure a distanza*.

Dal balcone di casa nostra a Prato sono ben visibili il Monte Le Coste (detto anche Spazzavento, sul quale si trova il mausoleo di Curzio Malaparte), la Retaia e il Poggio Castiglioni. Abbiamo convenuto di considerare Spazzavento, Retaia e Poggio Castiglioni come vertici di un triangolo e ci siamo chiesti come ‘calcolare’ le distanze tra questi vertici e anche come calcolare le ampiezze degli angoli del triangolo che essi formano.

Per qualche minuto abbiamo scherzato sostenendo che con mezzi adeguati alcune *misure* sarebbero state piuttosto *semplici*. Se, ad esempio, avessimo avuto a disposizione un elicottero che ci avesse aiutato a tendere una corda tra la Retaia e Poggio Castiglioni e se avessimo avuto anche la collaborazione di un acrobata disposto a fare una passeggiata sulla corda tesa e contemporaneamente a misurarla allora trovare la distanza tra Retaia e Poggio Castiglioni non sarebbe stato affatto un problema!

Poi, per ritornare a parlare seriamente, abbiamo posto una condizione: desideravamo conoscere le misure dei lati e degli angoli, ma non volevamo muoverci dal nostro balcone: non potevamo fare a meno della trigonometria.

Dopo una breve discussione, abbiamo convenuto che era opportuno preliminarmente calcolare le distanze di Spazzavento, Retaia e Poggio Castiglioni dal nostro balcone.

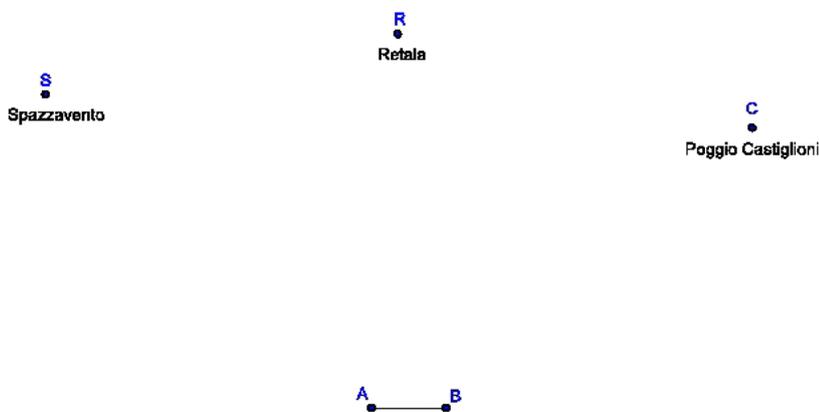


Figura 1.

Con queste premesse (si veda la Figura 1, che non è in scala), abbiamo scelto due punti *A* e *B* sul nostro balcone e abbiamo indicate con

- *C* Poggio Castiglioni
- *R* Retaia
- *S* Spazzavento

Abbiamo per primo considerato il triangolo *ABC*. Potevamo facilmente misurare la

distanza tra A e B e potevamo misurare sia l'ampiezza dell'angolo avente vertice in A e lati passanti per B e C (si tratta dell'angolo α della Figura 2) sia l'ampiezza dell'angolo avente vertice in B e lati passanti per A e C (si tratta dell'angolo β della Figura 2).

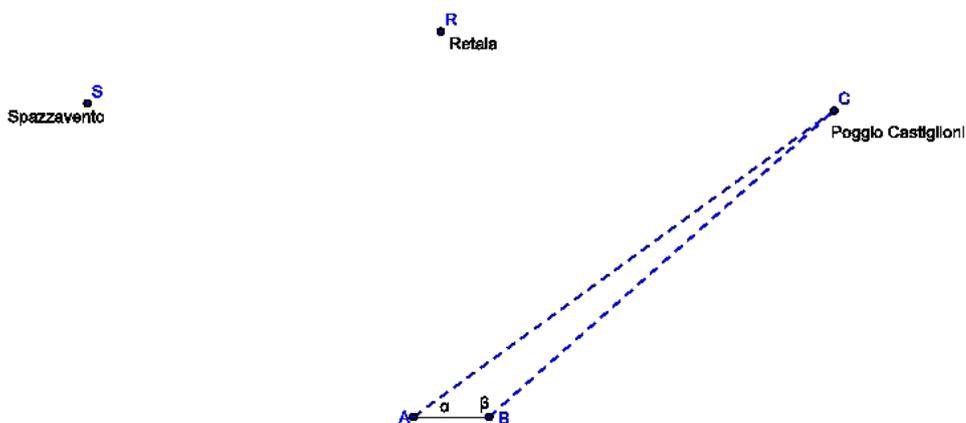


Figura 2.

La trigonometria ci insegna diversi metodi per “risolvere” un triangolo. Uno di questi si può usare quando di un triangolo dato sono note la lunghezza di un lato e le ampiezze dei due angoli ad esso adiacenti. Questo era proprio il caso del triangolo ABC del quale ci erano note le ampiezze degli angoli α e β e la lunghezza di AB . Potevamo, in particolare, calcolare le lunghezze di AC e BC . Con la stessa procedura, potevamo risolvere il triangolo ABR e in particolare calcolare le lunghezze AR e BR . Sempre allo stesso modo potevamo risolvere il triangolo ABS e in particolare calcolare le lunghezze AS e BS .

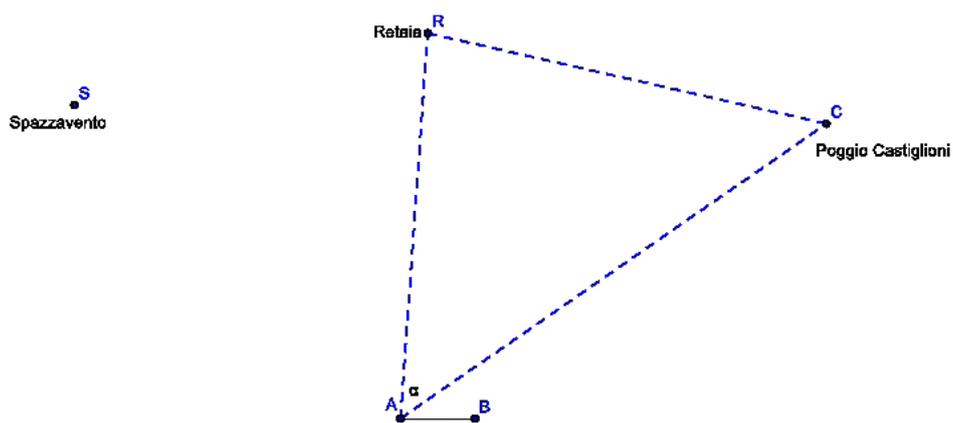


Figura 3.

Potevamo dunque conoscere le misure di sei segmenti: AC , AR , AS , BC , BR , BS . Potevano servirci per risolvere il nostro problema iniziale: calcolare le misure dei lati e degli angoli del triangolo CRS ?

Certamente! Un altro metodo per risolvere un triangolo si può usare quando di un triangolo dato sono note le lunghezze di due lati e l'ampiezza dell'angolo fra essi

compreso. Per calcolare la lunghezza di RC avevamo addirittura due scelte: il triangolo RCA e il triangolo RCB. Abbiamo scelto RCA.

Le lunghezze di AR e AC erano già state calcolate e, inoltre, l'angolo con vertice A e lati passanti per C e R (si tratta dell'angolo α della Figura 3) era misurabile senza muoverci dal nostro balcone! Pertanto potevamo risolvere il triangolo RCA e, in particolare, calcolare la lunghezza RC. Con procedura analoga, potevamo risolvere il triangolo ARS e in particolare calcolare la lunghezza RS. Sempre allo stesso modo potevamo risolvere il triangolo ASC e in particolare calcolare la lunghezza SC.

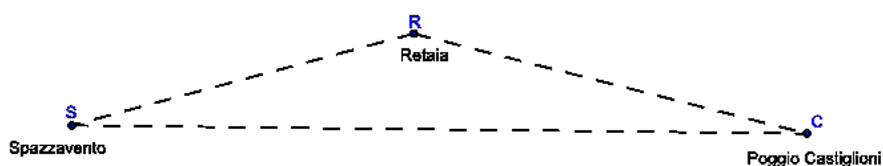


Figura 4.

Un ulteriore metodo per risolvere un triangolo che la trigonometria ci insegna si può usare quando di un triangolo dato sono note le lunghezze dei suoi tre lati. Quest'ultimo metodo si poteva applicare al triangolo CRS (si veda la Figura 4), dal momento che conoscevamo i suoi tre lati RC, RS e SC. Potevamo pertanto calcolare anche le ampiezze dei suoi tre angoli. Fine dell'esercizio di trigonometria teorica.

Quelle che abbiamo appena visto sono solo alcune delle misure a distanza che si possono effettuare con l'uso della trigonometria. Altre, per esempio, sono le seguenti:

- misura dell'altezza di una torre con base inaccessibile;
- misura dell'altezza di una montagna rispetto ad un piano orizzontale dato.

3. Il lavoro di Delambre e Méchain

Gli astronomi francesi hanno fatto un lavoro profondamente diverso da quello appena accennato e teorico della sezione precedente. Non potevano certo limitarsi ad affermare che l'arco di meridiano da Dunkerque a Barcellona era misurabile! Dovevano, invece, concretamente misurarlo, ottenere un risultato più preciso di quello di Cassini di mezzo secolo prima. Anzi, dovevano raggiungere la massima precisione allora possibile. E così hanno fatto.

Se per qualche ragione (estranea al lavoro di misurazione del meridiano) avessero dovuto misurare lati e angoli di un triangolo *con struttura orografica simile* a quello Spazzavento-Retaia-Poggio Castiglioni non avrebbero certo proceduto scegliendo i due

punti A e B sul balcone di una casa, ma li avrebbero scelti a qualche chilometro di distanza l'uno dall'altro! Si sarebbero, inoltre, assicurati che A e B fossero stati visibili uno dall'altro, avrebbero misurato la loro distanza con la precisione (almeno!) dell'attuale millimetro. Avrebbero, inoltre, scelto A e B in modo tale che Spazzavento, Retaia e Poggio Castiglioni fossero stati visibili sia dall'uno sia dall'altro e avrebbero misurato gli angoli con la precisione del secondo di grado. Misure così precise erano state da poco rese possibili dal *circolo ripetitore* di Borda.

Le operazioni che Delambre e Méchain hanno fatto erano certamente simili a quelle descritte in precedenza ma, ovviamente, comportavano in più le misure e, con le formule opportune, i calcoli effettivi. Naturalmente esistono ottimi manuali di trigonometria sui quali possono essere trovate le formule che noi abbiamo ommesso. Segnaliamo, ad esempio, Bergamini-Trifone-Barozzi [2]. Si vedano anche Gasparrelli [4-5].

4. La triangolazione

La triangolazione era la principale tecnica di lavoro di Delambre e Méchain. Venivano individuate una serie di *stazioni*, generalmente sopraelevate. Quasi sempre erano campanili, torri, cime di colline o montagne ma all'occorrenza potevano anche essere piattaforme fatte costruire solo per effettuare le misurazioni di quella missione scientifica. Le stazioni erano poi assimilate a vertici di triangoli. I due astronomi hanno, in questo modo, coperto tutto l'arco di meridiano da Dunkerque a Barcellona con una serie ininterrotta di triangoli aventi a due a due un lato in comune.

Dobbiamo precisare che i metodi trigonometrici dei quali abbiamo appena parlato non sarebbero stati da soli sufficienti a portare a termine il lavoro di misurazione del meridiano. C'erano, infatti, anche altre considerazioni da fare. Ci limitiamo ad un brevissimo cenno su alcune di esse:

- a) non sempre si potevano posizionare gli strumenti esattamente sul vertice di un triangolo;
- b) le stazioni non erano tutte allo stesso livello e pertanto i triangoli risultavano *inclinati*;
- c) la terra non è piatta;
- d) la misurazione degli angoli risentiva della rifrazione atmosferica.

Ciascuna di queste considerazioni comportava la necessità di altri calcoli delicati e complessi e aumentava il rischio d'*errore* che, in quel periodo particolarmente turbolento, era forse inevitabile. E Méchain si convinse di aver fatto davvero un *grave errore*. Proprio lui che aveva fama di essere abilissimo nelle misure e nei calcoli!

5. Le disavventure

Ci vorrebbe un libro. E ci sono già libri eccellenti: [3] e anche [1], [6] e [7]. Ci limiteremo pertanto a qualche breve cenno.

Méchain e Delambre partirono per la loro missione nel giugno del 1792. Delambre

era diretto a Dunquerque e Méchain a Barcellona. Ciascuno dei due portava strumenti di misura, denaro e lettere firmate da Luigi XVI. In un periodo normale, queste ultime sarebbero state di notevole aiuto, ma allora...

Inoltre un semplice controllo dei documenti era rischioso: chiunque avrebbe potuto essere controllato ma ugualmente chiunque avrebbe potuto arrogarsi il diritto di controllare e porre domande. Quando Delambre cercò di spiegare che lui era in missione per l'Accademia ottenne questa secca risposta: «Cademia? Cademia! Non ci sono più cademie, siamo tutti uguali! Venga con noi!».

Per ragioni politiche, Delambre venne addirittura espulso dalla Commissione pesi e misure e gli venne ordinato di consegnare d'urgenza strumenti, calcoli, appunti e memorie ai rimanenti membri della commissione. Un drappo bianco, che avrebbe semplicemente dovuto rendere più visibile da lontano un campanile, venne subito additato dalla folla come *realista* e si comprende bene per quale motivo venne subito affiancato da due strisce di tessuto, una blu e l'altra rossa, in modo da formare una bandiera... *repubblicana!* Un grave incidente (avvenuto non a causa della misurazione del meridiano ma per la curiosità di vedere il funzionamento di una pompa idraulica di nuova invenzione) stava per costare la vita a Méchain.

Una parte del merito del lavoro di Méchain deve essere attribuita alla moglie Thérèse che lo raggiunse quando era in crisi, condivise forse con lui anche una parte del lavoro scientifico e, in ogni caso, riuscì a convincerlo a portarlo a termine. Si veda Alder [1].

7. Le scienze durante la definizione del metro

Non basterebbe un libro. Ci limiteremo a un brevissimo cenno su due personaggi che hanno avuto un ruolo importante per il sistema metrico decimale.

Antoine-Laurent de Lavoisier ha dato contributi importantissimi alla definizione del chilogrammo¹. L'affermazione: «nulla si crea, nulla si distrugge, tutto si trasforma» è dovuta a lui. È fra coloro che più hanno contribuito alla nascita della chimica moderna. Si è interessato anche di fisiologia. È stato *fermier général* (esattore delle tasse). Durante il Terrore fu condannato e ghigliottinato.

Napoleone Bonaparte ha dato un contributo rilevante e ben noto alla diffusione in Europa e nel mondo del *sistema metrico decimale*. È stato membro e anche Presidente dell'*Académie*. Un teorema di matematica porta il suo nome.

8. Cronologia

In Francia alla fine del Settecento erano in uso ben duecentocinquanta diverse unità di misura. La Convocazione (1788) e l'Apertura degli Stati Generali (5 maggio 1789), la trasformazione degli Stati Generali in Assemblea nazionale costituente (27 giugno 1789) e la presa della Bastiglia (14 luglio 1789) precedono di poco le prime proteste in Assemblea per il caos delle misure e le prime riflessioni sulla necessità e i modi di renderle uniformi.

Nel tentativo di favorire un accordo fra tutte le nazioni, si scelse la *terra stessa* come

unità di misura. In particolare, il *quarto di meridiano terrestre* sarebbe dovuto diventare l'unità di misura *reale* e la *diecimilionesima* parte di esso l'unità *abituale*.

Il 10 giugno 1792, anno IV della Libertà, addirittura il re Luigi XVI raccomandò a tutti i corpi amministrativi e alle municipalità non solo di non ostacolare Méchain e Delambre nello svolgimento della loro missione (misura dell'arco di meridiano tra Dunkerque e Barcellona), ma di dar loro tutto il supporto e l'assistenza possibili.

Circa sette anni dopo la partenza di Méchain e Delambre da Parigi, finalmente il 22 giugno 1799 (4 Messidoro, anno VII) in ottemperanza a quanto previsto dalla legge del 7 aprile 1795 (18 Germinale, anno III) vengono depositati negli Archivi della Repubblica, *una ed indivisibile*, i campioni del metro (*mètre*) e del chilogrammo (*kilogramme*).

9. Forma della terra

Curiosamente, gli assunti iniziali per l'universalità del metro sono stati messi in discussione proprio da Méchain e Delambre! I due astronomi infatti hanno dimostrato che la terra ha forma irregolare! (Si veda, ad esempio, [1] alle pagine 296 e 297.) Tutto ciò meriterebbe una discussione approfondita. Qui ci limitiamo a dire che l'irregolarità della terra praticamente non ha avuto influenza sulla scelta del metro, adottato sulla base di decisioni politiche.

In tempi remoti verosimilmente gli uomini consideravano la terra di forma piatta. Con le prime misurazioni, gli uomini colti hanno cominciato a immaginare la terra come un corpo celeste avente forma sferica. In seguito misurazioni più precise permisero di trovare una non trascurabile differenza tra il raggio polare ed il raggio equatoriale della terra alla quale venne pertanto attribuita una forma ellissoidale. Questo modello è stato messo in crisi dalle misurazioni di Méchain e Delambre (ai quali pertanto va anche riconosciuto il merito di avere dato un notevole impulso alla ricerca di una forma più realistica della superficie del pianeta sul quale viviamo). La forma oggi attribuita alla terra è quella di un geoide, superficie continua e chiusa con rigonfiamenti ed avvallamenti. Il geoide non è facile da descrivere matematicamente ma è fisicamente individuabile ed è usato in topografia e cartografia come superficie di riferimento per l'altimetria.

NOTE

Il metro oggi è definito come la «distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1/299\,792\,458$ di secondo».

¹ Il film voluto da Guedj non è mai stato realizzato; tuttavia, leggendo le pagine 84-88 di [6], abbiamo ugualmente 'visto' la scena di Lavoisier impegnato nel suo laboratorio sulla definizione del chilogrammo e abbiamo particolarmente apprezzato le seguenti parole:

Nel vedere il chimico sempre chino sulla sua vasca ad armeggiare col cilindro, le maniche rimboccate, a Condorcet venne da pensare: aggiungiamo una vela a questo oggetto galleggiante sull'acqua, e avremo un bambinone che gioca con la barchetta nella fontana. Ecco la scienza al lavoro!.

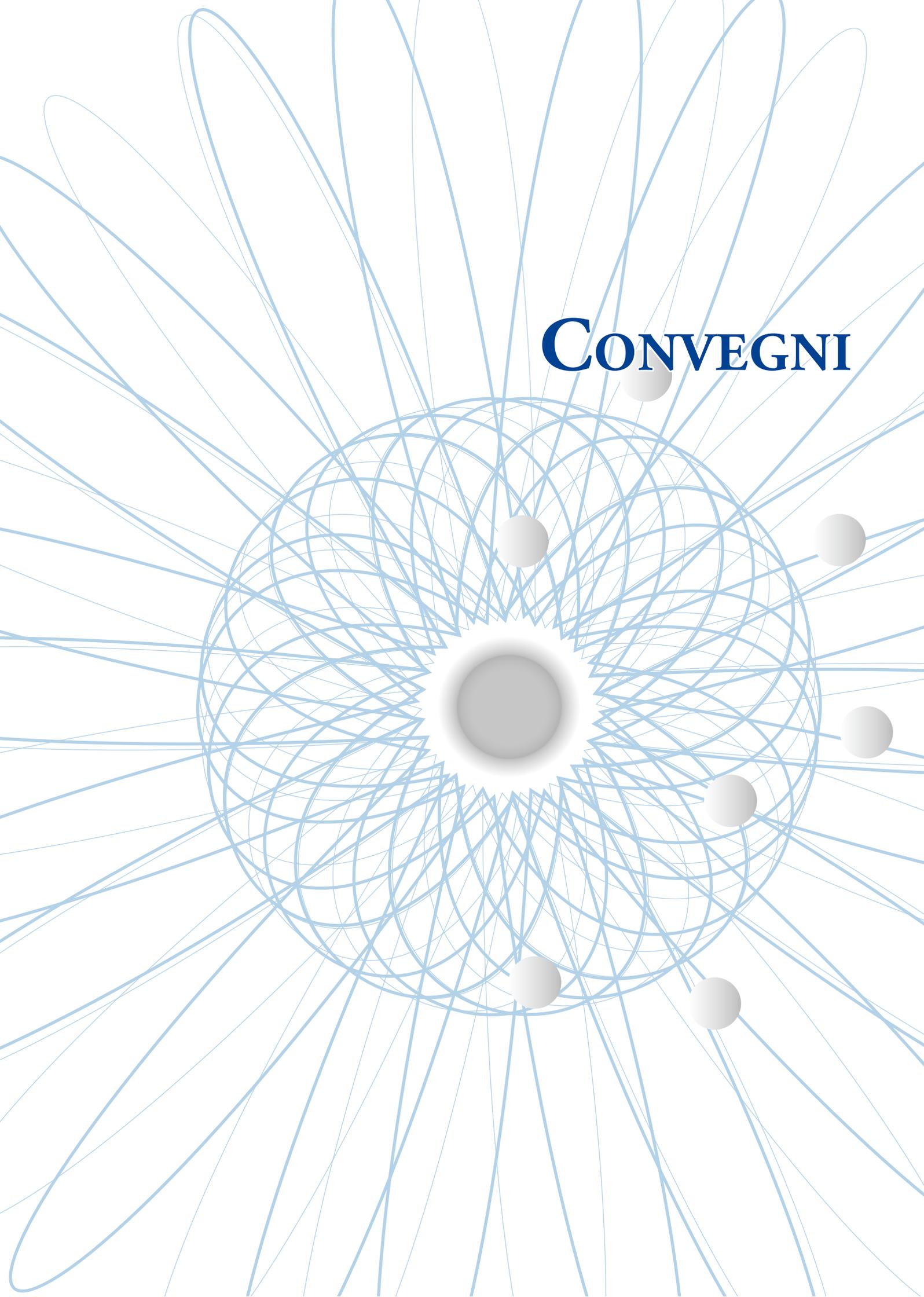
Nel libro di Guedj le considerazioni sulla scienza, tutte molto appropriate e interessanti come quella appena citata, sono numerose e chiare.

RINGRAZIAMENTI

Il geometra Lucio Falcone mi ha fatto conoscere i libri di Luigi Gasparrelli che contengono oltre a chiari suggerimenti di *trigonometria pratica* anche un interessantissimo elenco di *misure agrarie antiche* delle varie regioni italiane e mi ha fatto vedere l'uso pratico dei suoi strumenti di lavoro, fra i quali la *stadia*. In questo modo mi ha permesso di avere un'idea più adeguata dell'enorme mole del lavoro di Méchain e Delambre. Desidero ringraziare con profonda riconoscenza il geometra Falcone per la grande attenzione che egli mi ha dedicato. Ringrazio il Dipartimento di Matematica Ulisse Dini dell'Università di Firenze che mi concede generosa ospitalità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alder, K., *La misura di tutte le cose (L'avventurosa storia dell'invenzione del sistema metrico decimale)*, Rizzoli, Milano 2002.
- [2] Bergamini, M., Trifone, A., Barozzi, G., *Goniometria + Trigonometria*, Moduli blu di matematica - Modulo O + Q – Zanichelli, 2005.
- [3] Delambre, J. B. J., *Base du système mètrique décimal, ou mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone exécutée en 1792 et années suivantes par MM. Méchain et Delambre, rédigée par M. Delambre secrétaire perpétuel de l'Institut pour les sciences mathématiques...*, Baudouin, Paris 1806, 1807, 1810.
- [4] Gasparrelli, L., *Manuale del geometra*, undecima edizione riveduta, Ulrico Hoepli editore, Milano 1958.
- [5] Gasparrelli, L., *Prontuario tecnico di campagna, Vademecum per ingegneri, agronomi, geometri, periti agrari e tecnici in genere con 181 tabelle e 89 tavole*, Ulrico Hoepli Editore, Milano 1975.
- [6] Guedj, D., *Il Meridiano, ovvero come i due astronomi Pierre Méchain e Jean-Baptiste Delambre stabilirono la misura di tutte le cose*, Longanesi, Milano 2001.
- [7] Guedj, D., *Il Metro del mondo, (In piena Rivoluzione Francese inizia una straordinaria avventura scientifica: la ricerca di un'unità di misura universale)*, Longanesi, Milano 2004.

The image features a complex, abstract graphic design. A central, large, light grey sphere is surrounded by a dense, intricate web of thin, light blue lines that radiate outwards, creating a starburst or sunburst effect. Several smaller, light grey spheres are scattered around the central sphere, some appearing to be connected to the blue lines. The overall composition is symmetrical and dynamic, with a clean, modern aesthetic. The word "CONVEGNI" is prominently displayed in the upper right quadrant.

CONVEGNI

Galileo in Cina

LA CINA MING E L'INCONTRO CON L'OCCIDENTE

GUIDO SAMARANI

Dipartimento di Studi sull'Asia Orientale, Università Ca' Foscari, Venezia

1. La Cina Ming

I Ming furono la penultima dinastia imperiale nella storia cinese. Essa governò la Cina per circa trecento anni, dalla seconda metà del XIV alla metà del XVII secolo, prima che l'invasione mancese portasse alla nascita dell'ultima dinastia imperiale, che sarebbe sopravvissuta sino a un secolo fa, cioè sino al 1911¹.

L'Impero Ming era sicuramente il più grande e sofisticato tra gli imperi di quel periodo storico: un periodo in cui ancora gli Stati Uniti d'America non esistevano, la Russia muoveva solo i primi passi verso la costruzione di uno stato unitario, l'India era lacerata dalle lotte intestine, e i grandi imperi degli Aztechi ed Inca venivano assoggettati alla colonizzazione spagnola e le loro popolazioni falciate dalle nuove malattie importate dai colonizzatori.

Prima dei Ming, i conquistatori mongoli – che pure erano stati considerati dei *barbari*, degli *inferiori* dai Cinesi – avevano tuttavia impresso un forte spirito cosmopolita alla civiltà cinese (dinastia Yuan, 1279-1368), mettendo in collegamento via terra l'Estremo Oriente e i confini settentrionali della Cina con l'Asia centrale e con l'Europa orientale e, attraverso l'esperienza di Marco Polo e di altri viaggiatori, con il cuore stesso della cristianità.

Per certi aspetti, questa spinta cosmopolita era continuata nel primo secolo dei Ming, anche se ora la direzione prioritaria era rivolta a sud, ai mari ed oceani più che alle vie terrestri. Infatti, tra il 1405 e il 1433, sette grandi spedizioni marittime vennero organizzate verso il Mar Cinese meridionale e l'Oceano Indiano, e sino al Golfo Persico e al Mar Rosso, visitando tra l'altro parti dell'attuale Indonesia (Giava e Sumatra), l'India meridionale, la Persia, la penisola arabica e la Somalia.

Si narra che oltre sessanta navi e 30.000 uomini vennero impiegati complessivamente in tali spedizioni, che produssero tra l'altro varie opere a carattere geografico e resoconti e dimostrarono – in tempi in cui l'Europa non appariva ancora preparata a simili sfide – l'alto livello tecnico raggiunto dalla cantieristica cinese e le grandi capacità di navigazione dei comandanti cinesi, aiutati dall'uso della bussola che si era sviluppato nell'Impero già nei secoli XII e XIII.

Ben presto, tuttavia, la politica di espansione e di scoperta da parte cinese si ridusse e poi si trasformò in un vero e proprio ripiegamento politico e culturale, essenzialmente per due ragioni: la prima, l'aggravarsi dei problemi alla frontiera settentrionale, che

resero prioritaria questa minaccia rispetto alle spedizioni verso sud; la seconda, i pesanti oneri finanziari che le spedizioni comportarono, resi tanto più inaccettabili dal fatto che i risultati apparivano straordinari sul piano della conoscenza culturale ma assai meno esaltanti per quanto riguardava i vantaggi economici.

Tale ripiegamento, che divenne costante a partire dalla seconda metà del XVI secolo, andò peraltro intrecciandosi – fatto storico forse casuale ma sicuramente importante – con l'arrivo delle prime flotte europee in Asia, che avrebbero presto portato dapprima alla presenza di Spagna e Portogallo cui si sarebbe sovrapposta presto quella di Olanda e Inghilterra.

L'interesse europeo appariva vasto dal punto di vista territoriale: il Kyushu in Giappone, Batavia (ora Giacarta), Malacca, Taiwan. Ma certo il sogno proibito era alla fine fine rappresentato dall'Impero cinese, dal suo mercato potenzialmente illimitato. Non si può non sottolineare come questo *miraggio cinese* ricordi abbastanza, pur nella grande diversità dei tempi, il straordinario interesse che ha mosso molti in questi ultimi anni a interessarsi proprio della Cina.

La Cina Ming doveva innanzitutto il proprio successo e la propria solidità ad una popolazione molto numerosa ed estremamente laboriosa, in gran parte dedita al lavoro agricolo e alle altre attività sussidiarie (artigianato, commercio) diffuse nelle aree rurali, ove la stragrande maggioranza della popolazione viveva. Si stima che alla fine del Cinquecento la popolazione cinese fosse di 120 milioni di abitanti, rapportata ad una popolazione mondiale stimata di 470-480 milioni.

Per tutto il XV e la prima parte del XVI secolo la Cina Ming conobbe indubbiamente una grande crescita economica, alimentata tra l'altro dalla messa a coltura di nuove terre collinari, dalla possibilità di ottenere doppi raccolti in diverse zone del centro-sud e dall'arrivo dei nuovi prodotti di importazione americana quali il mais e l'arachide, giunti in Cina grazie innanzitutto ai Portoghesi, che verso la metà del Cinquecento si erano insediati, con il tacito consenso cinese, a Macao.

Gran parte di questa popolazione, essenzialmente contadina, abitava le centinaia di villaggi cinesi, che offrivano tuttavia una ricca varietà di tipologie di colture, stili di vita e organizzazione sociale. In generale, esisteva una divisione abbastanza netta tra la realtà rurale a nord e quella a sud del fiume Huai, uno dei grandi sistemi fluviali che tagliava la Cina inserendosi tra i due maggiori fiumi cinesi, il Fiume Giallo a nord e lo Yangzi a sud.

A sud del fiume Huai, clima favorevole, acque abbondanti e terreni fertili rendevano molte zone assai prospere. Qui la coltura del riso era intensiva e le campagne disseminate di laghetti, stagni e pozze d'acqua in cui venivano allevati pesci e anatre. Nella parte più meridionale di questa area crescevano miriadi di gelsi, le cui foglie alimentavano una interminabile catena produttiva finalizzata alla fabbricazione e commercializzazione della seta, nonché piantagioni di tè e di canna da zucchero, mentre nel sud-ovest, ricco di alture e catene montuose, dominavano il bambù e i legnami pregiati.

Nelle zone a nord del fiume Huai invece, benché non mancassero villaggi assai prosperosi, le condizioni di lavoro e di vita erano in generale assai più dure. Qui, l'inverno era spesso assai rigido, causa i venti ghiacciati che soffiavano dalla Mongolia i quali erodevano le terre e riempivano i fiumi di limo. Le colture principali erano frumento e miglio, mele e pere.

La Cina Ming non era però un paese solo rurale: infatti, l'urbanizzazione era andata sviluppandosi nel corso degli ultimi secoli e tra il Quattrocento e il Cinquecento essa si era ulteriormente diffusa.

I maggiori centri urbani erano innanzitutto luoghi in cui sorgevano la sede e gli uffici dei più importanti amministratori e funzionari provinciali, impegnati innanzitutto ad amministrare il bene comune (non sempre ciò avveniva, bisogna dirlo, e i casi di corruzione e malversazione non mancavano), mantenere l'ordine e darsi da fare per raccogliere il massimo possibile di tasse.

Erano però anche centri d'affari e commerciali: fabbri, fabbricanti di scarpe e di fuochi d'artificio si mescolavano a venditori di bambù e di tè e, un gradino più in su nella scala sociale, venditori di beni di lusso quali ceramiche, lanterne ornamentali e beni di cuoio. Una rete di piccole banche ed istituti di credito, nonché di alloggi di vario tipo, offrivano aiuto e sollievo ai molti mercanti e alle persone ricche e benestanti che venivano anche da lontano, mossi dalla volontà di fare lucrosi affari ma anche dalla ricerca del divertimento e del piacere nei diversi locali in cui era possibile bere così come incontrare prostitute disponibili.

Perlopiù le città cinesi erano circondate da mura e le porte d'accesso venivano chiuse di notte. Esse tuttavia non esibivano in genere quei grandi edifici in mattoni e pietre tipici della realtà architettonica europea e nemmeno cattedrali o minareti come nell'Europa cristiana e nell'Islam del periodo. Vi erano certo molti templi buddhisti e taoisti dedicati alle forze della natura, accanto a moschee, soprattutto nell'ovest dove maggiormente si concentravano i musulmani, e ad alcune sinagoghe, in cui vivevano i discendenti di quegli ebrei che si erano trasferiti in Cina molti secoli prima.

Ma questa scarsa ostentazione architettonica non era certo segno di disinteresse per il prestigio e la gloria quanto semmai una scelta politica, motivata da una parte dal desiderio del potere centrale di limitare e contenere ogni ambizione eccessiva dei grandi centri urbani sparsi nel paese e dall'altra, per quanto riguarda più specificamente il ruolo della religione, dalla volontà del potere politico di combinare tolleranza religiosa con un controllo sufficientemente stretto della religione e della fede popolare.

La capitale stessa dei Ming era per certi aspetti una città difficilmente eguagliabile nel mondo d'allora per pompa e magnificenza. Nel primo periodo della dinastia era stata scelta Nanchino, nel sud; ma poi presto la capitale era stata trasferita al nord, dove era stata perlopiù nei secoli precedenti, nella attuale città di Pechino.

La nuova capitale fu proclamata ufficialmente nel 1421, dopo anni di grandi lavori e di edificazione a cui furono chiamati circa 250 mila artigiani e più di un milione di lavoratori/contadini. Simbolo della nuova capitale e della gloria imperiale divenne la Città Imperiale detta anche Città Proibita, un complesso impressionante di edifici,

giardini, laghetti, e di varie migliaia di stanze in cui l'Imperatore, mogli e concubine, cortigiani e guardie, letterati e funzionari vivevano un'esistenza intrisa di norme e di rituali, di precari equilibri politici e di lotte tra fazioni, un'esistenza comunque – come indica il nome stesso di Città Proibita – separata dalla gran parte del popolo.

La Città Imperiale era circondata da alte mura e protetta da un ampio fossato; vi si accedeva attraverso quattro enormi *porte*, di cui la più celebre è Tian'anmen (la Porta della Pace Celeste), che fronteggia oggi l'omonima piazza. Essa era essenzialmente divisa in due parti: la parte a nord, detta Corte Interna, era quella in cui l'Imperatore viveva assieme alla famiglia imperiale; quella a sud, detta Corte Esterna, era quella in cui l'Imperatore esercitava le proprie funzioni di governo. Il colore dominante del complesso era ovviamente il giallo, simbolo della regalità imperiale.

Peraltro, gli imperatori Ming potevano contare su qualcosa che spesso nelle corti europee di quel periodo storico era ancora in fase di costruzione: un sistema burocratico funzionale e ben organizzato che era indispensabile a qualsiasi sovrano per espandere le basi fiscali (e quindi le risorse economiche) dello stato, gestire efficacemente territori vasti e anche estremamente variegati, porre sotto controllo le risorse produttive agricole e le attività commerciali.

In Cina, questo sistema burocratico era in piedi ormai da lungo tempo ed era stato affinato nel corso dei secoli. Una parte di questa burocrazia aveva il compito nella capitale di assistere l'imperatore nel governo della cosa pubblica; accanto ad essa, operava una folta schiera di studiosi ed esperti che avevano la responsabilità di consigliare il sovrano nei riti, di compilare le storie ufficiali e di prendersi cura dell'educazione dei figli dell'imperatore. L'altro segmento della burocrazia operava invece nelle province (quindici in genere in quel periodo storico) in cui era suddiviso il paese.

Sull'attività complessiva del sistema burocratico, centrale e periferico, vigilava uno stuolo di censori, particolarmente attenti verso ogni comportamento che violasse i doveri morali ed amministrativi dei funzionari statali.

Il periodo Ming fu però segnato anche da una grande fioritura in campo culturale. In particolare, accanto alle forme tradizionali e classiche di espressione artistica e letteraria, si svilupparono nuovi generi e nuove tendenze, frutto soprattutto dei processi di urbanizzazione e dello sviluppo di una vera e propria cultura urbana.

Uno dei simboli più rilevanti di ciò sono i racconti e i romanzi, espressione della grande vitalità della società Ming: quelli epici e storici come il *Romanzo dei Tre Regni*, opera cavalleresca che avrebbe reso immortali le gesta di alcuni personaggi storici entrati nella leggenda popolare, o *Sul bordo dell'acqua*, che narra delle imprese di una serie di briganti-giustizieri che puniscono i potenti disonesti e proteggono i poveri; o ancora romanzi fantastici e allegorici come il *Resoconto del viaggio ad Occidente*, che narra le avventure del monaco Xuan Zang in pellegrinaggio verso l'India e dei suoi strani accompagnatori, il timoroso e rozzo maiale e il coraggioso e magico re delle scimmie; o infine la narrativa a sfondo sociale, quale il *Jin Ping Mei*, straordinario affresco sui rapporti sociali e familiari tipici di quel periodo storico.

E sicuramente di grande significato culturale ma anche sociale fu altresì la crescente diffusione della educazione delle donne, teorizzata con forza nell'ultima parte della dinastia da diversi teorici e intellettuali cinesi.

2. Matteo Ricci, i Gesuiti e i rapporti culturali Cina-Occidente

È in questo contesto storico che si colloca l'arrivo di Matteo Ricci in Cina.

Sappiamo che la Compagnia di Gesù aveva da tempo sviluppato un interesse crescente per la Cina, in particolare da quando nei primi decenni del Cinquecento Pedro Mascarenhas, ambasciatore del Portogallo a Roma, aveva chiesto a Ignazio di Loyola di inviare dei sacerdoti nelle Indie orientali. Nel 1542, Francesco Saverio giungeva a Goa, prima tappa del suo viaggio in Asia sotto la spinta di un preciso mandato papale che gli conferiva l'autorità sugli altri sacerdoti occidentali presenti nel continente al seguito dei Portoghesi. Presto Saverio si rese conto che il centro dell'azione evangelica doveva essere la Cina e nel 1550 organizzò un viaggio verso il Celeste Impero: dopo varie peripezie, giunse nell'area di Macao e attese che una qualche nave cinese potesse portarlo nel continente. La morte però lo colse in attesa verso la fine del 1552.

Il suo sogno tuttavia non venne infranto: alcuni gesuiti lo avevano già raggiunto negli anni precedenti e con lui si erano presto impegnati nel non facile compito di imparare la lingua cinese, passo fondamentale per qualsiasi approccio con i Ming. Non tutti però la pensavano allo stesso modo e alcuni proponevano di non perdere troppo tempo e di occupare militarmente la Cina.

Fu negli anni Settanta del XVI secolo che con l'arrivo di Alessandro Valignano in Asia il problema fondamentale della inculturazione del messaggio cristiano divenne centrale. Infatti, Valignano si rese conto pienamente che i missionari non avrebbero mai potuto operare con una qualche efficacia e possibilità di successo in Cina se non avessero appreso la lingua e la cultura del paese. Così, fece venire a Canton Michele Ruggieri, disposto a tale studio, e Ruggieri coinvolse presto altri confratelli nella nuova avventura, tra cui per l'appunto Matteo Ricci.

Ricci nel 1594 poté effettuare una prima visita a Pechino ma solo nel 1601 fu in grado di avere un'udienza dall'Imperatore, al quale offrì tra l'altro un orologio, un atlante del mondo e due strumenti musicali europei. Presto a Ricci fu concesso il privilegio di risiedere nella capitale e di avviare la propria missione apostolica; sull'onda di tale successo, Valignano fece in modo che a Macao fosse creata una università, il Collegio di San Paolo, con il compito di fornire un'adeguata preparazione in tema di lingua ma anche filosofia e riti cinesi a coloro che si sarebbero recati in Cina.

Sin dai suoi primi passi in Cina Ricci era divenuto pienamente cosciente della complessità del suo approccio basato sull'accettazione dei costumi locali. Alcuni gesuiti francesi e missionari di altri ordini erano invece contrari a una tale inculturazione o a un adattamento della prassi ecclesiale alla Cina. La diatriba si sarebbe protratta per vari decenni, producendo tra l'altro l'aperto scontro – alla metà del Seicento quando Ricci era ormai morto – tra Martino Martini, trentino che avrebbe svolto un ruolo

fondamentale nelle relazioni con la Cina e che perorava la causa dell'Ordine dei Gesuiti a Roma, e dall'altra il francese Maigrot, che accusava Martini di aver presentato alla Curia romana una situazione della Cina in modo errato.

La strada era tuttavia ormai largamente spianata verso la rottura tra Cina e Papato e lo stesso scioglimento della Compagnia di Gesù, consumatosi nel corso del Settecento quando ormai i Ming erano caduti e sostituiti dai Qing.

Aldilà dell'aspetto strettamente religioso, il ruolo che Matteo Ricci e i Gesuiti ebbero per quanto riguarda lo sviluppo delle relazioni culturali tra Cina ed Europa fu sicuramente straordinario, investendo diversi aspetti ai quali accennerò qui pur brevemente.

Innanzitutto, nel campo degli studi astronomici i Cinesi avevano compiuto notevoli progressi nei secoli precedenti, ma l'influsso dei Gesuiti, vera e propria autorità scientifica nel campo, fu indubbiamente notevole. Alla fine del Cinquecento fu proprio Ricci a introdurre il nuovo calendario adottato da Gregorio XIII, proponendo altresì nuovi metodi per il calcolo delle eclissi lunari e solari. Alcuni Gesuiti furono presto nominati assistenti all'Osservatorio Astronomico Nazionale, Johann Adam Schall von Bell spiegò tra l'altro ai Cinesi come si dovesse costruire un telescopio e Ferdinand Verbiest progettò vari strumenti astronomici per lo stesso osservatorio di Pechino.

Va in particolare ricordato, nel momento in cui ci siamo appena lasciati alle spalle nel 2009 il 400esimo anniversario del perfezionamento e uso da parte di Galileo Galilei per la prima volta a fini scientifici del cannocchiale, l'importanza cruciale delle connessioni tra i Gesuiti e lo stesso Galilei, attraverso in particolare la figura di Johann Schreck (Terentius), gesuita astronomo e missionario in Cina che aveva seguito le lezioni di Galilei presso l'Ateneo patavino, e di Cristoforo Clavio, considerato una specie di 'patriarca' degli astronomi gesuiti, insegnante di Schreck e di Matteo Ricci, il quale sarebbe morto prima che scoppiassero le tensioni tra Galilei e il Santo Uffizio.

Appare oggi tanto più straordinario pensare come questi religiosi siano riusciti in quegli anni, senza disporre in Cina di grandi biblioteche e con strumenti relativamente inadeguati, a diventare dei maestri in questa disciplina.

In secondo luogo, va detto che nel momento in cui i Gesuiti operavano in Cina questa era sicuramente assai più avanti dell'Europa per quanto riguardava varie nozioni geografiche riferite soprattutto all'Estremo oriente. Ricci disegnò così una serie di mappamondi e un globo terrestre con didascalie in lingua cinese. Si trattava di opere in evidente prospettiva eurocentrica, in cui la Cina – l'Impero di Mezzo come dice il nome stesso in cinese – appariva in realtà assai periferica rispetto alle altre parti del mondo. Ricci si rese presto conto che questa situazione non era particolarmente gradita ai Cinesi e così vennero prodotte delle mappe che meglio soddisfacevano le aspettative cinesi senza però intaccare il fatto che, oggettivamente, la Cina se rapportata al globo terrestre appariva sicuramente meno immensa e totalizzante di quanto si pensava a Pechino.

Gli sforzi del Ricci furono comunque essenziali per i futuri sviluppi delle conoscenze geografiche in Cina, sfociando nel 1623 con la celebre opera in sei volumi *Geografia del paesi non tributari* del bresciano Giulio Aleni, un'opera fondamentale non solo per

le carte geografiche in essa raccolte ma anche per le descrizioni dei paesi del mondo. Si trattò di un lavoro fondamentale anche perché consentiva ai Gesuiti di spiegare in modo più accurato e preciso alla corte cinese da quale parte del mondo essi provenivano.

In generale, se si prende in considerazione il periodo delle attività dei Gesuiti in Cina tra la metà del Cinquecento e la metà circa del Settecento, sappiamo che essi compilarono oltre quaranta opere geografiche e cartografiche, contribuendo a fornire ai Cinesi una visione più ampia ed esatta del mondo.

Il loro lavoro fu altresì fondamentale anche nel senso opposto, ossia di fare conoscere in modo più preciso ed approfondito la Cina in Europa. Certo, esistevano già in Europa carte della Cina ma esse erano in genere basate sulle fonti medievali – perlopiù letterarie – quali quelle di Marco Polo o di Odorico da Pordenone o ancora di Giovanni da Pian del Carpine o magari anche su fantasiose ricostruzioni.

Il merito principale per aver fatto conoscere la Cina in Europa spetta sicuramente al gesuita trentino Martino Martini, che poté attingere tra l'altro a molti volumi in lingua cinese. Martini compilò così alla metà circa del Seicento il celebre *Novus Atlantis Sinensis*.

Martino Martini aveva di fatto seguito le orme del Ricci e aveva cercato, pur non senza difficoltà e disagi, di adeguarsi alle esigenze e ai riti cinesi, con l'intento ovviamente di creare le migliori condizioni per la propagazione del cristianesimo.

Così, egli indossava la sfarzosa veste di seta che il suo rango di 'mandarino' gli assegnava, così come si serviva della portantina e degli accompagnatori che per norma gli erano assegnati. Ma questo suo stile di lavoro suscitò presto le ire e le invidie di domenicani e francescani, che accusavano i gesuiti di 'godersi la vita' e di disdegnare la frugale povertà che avrebbero dovuto invece osservare.

In realtà, si era di fronte – aldilà degli aspetti polemici di basso profilo presenti – a una visione profondamente diversa nella impostazione dell'opera pastorale. I Gesuiti erano disposti a tollerare alcuni riti che erano da secoli consolidati nella tradizione cinese, in particolare il culto degli antenati e di Confucio, vere e proprie pietre miliari del sistema etico, sociale e politico cinese, che essi non concepivano come elementi religiosi o segni di fedi superstiziose. Al contrario, Domenicani e Francescani privilegiavano metodi più impositivi, richiedendo la rinuncia alle usanze tradizionali per il sostegno cinese e la conversione.

Un ruolo importante in campo geografico e cartografico fu svolto anche da Michele Ruggieri, il quale al ritorno a Roma dalla Cina, dove aveva potuto visitare alcune città, portò con sé diverse mappe cinesi. L'obiettivo di Ruggieri di pubblicare un atlante della Cina fu purtroppo stroncato dalla sua morte; tuttavia, il suo prezioso lavoro fornì basi solide a coloro che si cimentarono negli anni a seguire in tale compito.

Le nuove conoscenze geografiche e cartografiche, le mappe e carte della Cina ebbero comunque un'importanza che andava ben aldilà di quella, rilevante, sul piano culturale. Esse infatti furono essenziali per rendere concreto e più reale quello che da secoli era allo stesso tempo una specie di *sogno ed incubo* per l'Europa.

Infatti, gli Europei ammiravano la millenaria civiltà cinese, ma per lungo tempo erano stati estremamente rari i viaggiatori europei che avevano percorso la Via della Seta, insieme di itinerari che rappresentava un fecondo sistema di comunicazione tra Oriente e Occidente ma lungo il quale erano spesso le merci e le tecniche a viaggiare, in quanto molti mercanti si limitavano a tragitti familiari, da una stazione all'altra e viceversa, e consegnavano poi i prodotti ad altri mercanti che percorrevano strade successive, e così sino alla meta finale.

Questi rari viaggiatori europei avevano lasciato certo ricordi e testimonianze: in diversi casi e per ragioni varie, tuttavia, esse avevano diffuso tra il pubblico realtà e invenzione, informazioni affidabili e immagini oniriche.

È solo con gli inizi del Cinquecento che lo sguardo si fa più attento e scrupoloso, grazie alle prime navi portoghesi che toccarono i porti della Cina meridionale. Mappe, rappresentazioni e descrizioni della Cina (e dell'Asia) si diffusero e si fecero più precise anche grazie al lavoro di vari cartografi al servizio dei sovrani spagnoli e portoghesi, alla maggiore padronanza dell'arte tipografica e alla crescente propensione per il commercio.

Anche in Italia, nei principati, signorie e repubbliche, si era andato formando un nucleo di persone e addetti curioso delle informazioni geografiche. Venezia in particolare era uno dei maggiori centri tipografici e lì non a caso risiedeva un grande cultore della geografia, Giovanni Battista Ramusio.

Insomma, la conoscenza oggettiva della Cina (e dell'Estremo oriente) attraverso le nuove nozioni geografiche e cartografiche venne a coincidere di fatto con l'espansione coloniale europea. L'attenzione andò sempre meno focalizzandosi sulle risorse culturali, i siti storici, i palazzi e le bellezze artistiche e invece andò sempre più concentrandosi sulle risorse naturali: miniere, foreste, coltivazioni, ecc.: non a caso, nei secoli XVI e XVII ben quattro paesi europei fecero il loro ingresso nei mari estremo-orientali: dapprima Portogallo e Spagna, in seguito Olanda e Inghilterra.

Infine, i Gesuiti rimasero molto colpiti dai risultati ottenuti dalla medicina tradizionale cinese e dai prodotti della farmacopea orientale e quindi si posero innanzitutto l'obiettivo di tradurre varie opere al fine di diffondere tali conoscenze in Occidente. Allo stesso tempo, essi furono promotori della diffusione delle conoscenze mediche e farmacologiche occidentali in Cina, con l'apertura tra l'altro a Macao di un ospedale e di una specie di laboratorio in cui conoscenze mediche e farmacologiche occidentali ed esperienze orientali erano affiancate.

3. Conclusioni

Le brevi considerazioni qui prodotte non hanno certo l'ambizione di offrire una visione esaustiva dei molteplici aspetti della Cina Ming e, tantomeno, del profondo intreccio che in quei secoli venne legando, attraverso vari fili, Cina e Occidente.

L'opera di Ricci e dei Gesuiti fu tuttavia fondamentale – come è stato evidenziato – su numerosi piani. Ma lo fu anche, ad esempio, per quanto concerne il settore delle

belle arti e della letteratura, con il ruolo centrale svolto da Giuseppe Castiglione, e per quanto riguarda l'opera di traduzione delle principali opere classiche cinesi, con l'ausilio presto di grammatiche e dizionari.

Peraltro, già verso la fine del Cinquecento, i Gesuiti erano riusciti a usare i caratteri cinesi nella stampa, beneficiando della grande competenza cinese nell'utilizzo della tecnica delle matrici di legno intagliate sulle quali veniva riprodotta un'intera pagina di libro e delle grandi innovazioni nella stampa a carattere mobili apportate da Gutenberg.

A guardare quel periodo storico, appare difficile pensare che presto, con la prima metà dell'Ottocento, cannocchiali, scienza e opere d'arte avrebbero lasciato il posto alle cannoniere.

Lo testimonia tra l'altro la lettera scritta nel 1839 da Lin Zexu, Commissario imperiale deputato ad affrontare la questione del contrabbando d'oppio sviluppato dai mercanti inglesi nella provincia meridionale del Guangdong²:

Il nostro Impero Celeste troneggia su ogni altro paese quanto a virtù e possiede un potere sufficientemente grande e maestoso da realizzare ciò che desidera [...]

Il Vostro paese è molto lontano dalla Cina. L'obiettivo delle vostre navi che giungono in Cina è di realizzare ampi profitti: dato che tali profitti sono conseguiti in Cina e sono di fatto tolti al popolo cinese, come è possibile che gli stranieri in cambio dei benefici avuti portino un simile veleno che arreca danno ai loro benefattori? Probabilmente non lo fanno con intento cosciente, ma resta il fatto che sono così ossessionati dai guadagni materiali da non avere alcun riguardo per il danno che possono causare ad altri. Mi è stato detto che avete severamente proibito l'oppio nel Vostro paese, e ciò indica senza dubbio la Vostra consapevolezza di quanto dannoso esso sia. Voi non volete che l'oppio arrechi danno al Vostro paese ma scegliete di portare un simile danno ad altri paesi come la Cina? Perché?

Il mondo era cambiato e con esso i rapporti di forza e, soprattutto, i valori attraverso i quali essi venivano misurati.

NOTE

¹ A differenza di oggi in cui appaiono integrati nel sistema cinese, i Mancesi erano a quel tempo considerati degli 'esterni' rispetto al centro della civiltà cinese, anche se essi ne erano stati molto influenzati.

² Vedi [1 pp. 270-73] (la citazione è a p. 271; traduzione mia).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Schoppa, R. K., *The Columbia Guide to Modern Chinese History*, Columbia University Press, New York 2000.
- [2] Carioti, P., *Cina e Giappone sui mari nei secoli XVI e XVII*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2006.
- [3] Guida, D., *Nei mari del Sud*, Nuova Cultura, Roma, 2007.
- [4] *Riflessi d'Oriente. L'immagine della Cina nella cartografia europea*, catalogo della mostra a cura di A. Caterino, (Trento, Centro Studi Martino Martini), Il Portolano, Genova 2008.
- [5] Santangelo, P., Sabattini, M., *Storia della Cina*, in *Storia Universale*, vol. 26, Il Corriere della Sera, Milano 2005.
- [6] Santangelo, P., Guida, D., *Love, hatred, and other passions: questions and themes on emotions in chinese civilization*, Leiden, Brill 2006.
- [7] Spence, J. D., *The search for modern China*, Norton & Co., New York-London 1990, in particolare Capitolo 1.

LA RICEZIONE IN CINA DEL TELESCOPIO E DELL'OTTICA OCCIDENTALE

IWO AMELUNG

Goethe Universität, Frankfurt am Mein

In questo articolo mi occuperò della ricezione del telescopio in Cina e tratterò la questione dell'impatto dell'ottica occidentale in quel paese. Se è vero che il tema, negli ultimi sessanta-settant'anni, ha suscitato una notevole attenzione da parte degli storici, e in particolare degli storici della scienza, ci sono ancora problemi irrisolti, che spero di poter – almeno in parte – affrontare nel presente saggio.

Per ragioni di spazio, peraltro, dovrò limitare la mia esposizione alle domande più importanti, che vorrei identificare nelle seguenti:

1. Quando la conoscenza del telescopio raggiunse la Cina?
2. A partire da quando il telescopio fu usato in Cina?
3. Quanto si diffuse in Cina la conoscenza del telescopio?
4. In quale modo il telescopio e le conoscenze ottiche dell'Occidente disponibili in Cina si rapportano alla conoscenza tradizionale cinese?

Mentre la quarta domanda può sembrare a prima vista superflua, la considero molto importante, non tanto perché ci aiuterà ad accertare i fatti, ma più che altro perché ci permetterà di capire meglio la complessa relazione tra ricezione e uso della conoscenza occidentale e il dibattito sulla questione dell'identità in Cina, che non è soltanto importante dal punto di vista storico, ma contribuisce anche in misura rilevante alla nostra comprensione di questo paese fino a oggi.

1. Quando la conoscenza del telescopio raggiunse la Cina?

È comunemente ritenuto che sia stato un libriccino dal titolo *Tianwen lüe* (Epitome delle questioni sul cielo), pubblicato nel 1615, a introdurre per la prima volta il telescopio in Cina. Il libro fu scritto in cinese dal gesuita portoghese Manuel Dias Jr. (nome cinese Yang Manuo, 1574-1659). Dias, dopo aver studiato a Coimbra, aveva lasciato Lisbona per l'Asia nel 1601. Trascorse tre anni in India, prima di navigare, nel 1604, verso Macao, la colonia portoghese nel sud della Cina. Qui soggiornò, lavorando al Macao College, per sei anni, prima di entrare nel territorio cinese nel 1610 o nel 1611. Dopo alcuni anni nella Cina meridionale, giunse a Pechino nel 1613, dove in questo periodo operavano altri due padri gesuiti, Diego de Pantoja (1571-1618) e Sabatino de

Ursis (1575-1620). Durante il suo soggiorno a Pechino, con ogni probabilità nel 1614, Dias scrisse il *Tianwen lüe* [17, p. 100].

Nel corso del XVII e del XVIII secolo i missionari gesuiti furono attivi nel divulgare la conoscenza scientifica occidentale in Cina. Questo fenomeno aveva già avuto inizio con Matteo Ricci (nome cinese: Li Madou, 1552-1610), il quale, tra varie altre cose, aveva compilato la prima cartina moderna del mondo in cinese, insieme a collaboratori locali, e aveva scritto numerosi libri di astronomia, ma è principalmente noto per aver tradotto i primi sei libri degli *Elementi* di Euclide, opera che realizzò insieme al convertito cinese, nonché alto ufficiale, Xu Guangqi (1562-1633). Tra gli altri importanti libri pubblicati da Ricci, ricordiamo il *Qiankun tiyi* (Sulla struttura del cielo e della terra) e lo *Hungai tongxian tushuo* (Spiegazione illustrata dei modelli cosmologici). Dopo la morte di Ricci nel 1610, i suoi sforzi di introdurre le scienze occidentali in Cina – al fine di attirare alla causa cristiana gli intellettuali locali – furono portati avanti dai suoi compagni missionari e da cinesi convertiti. Altri importanti libri sulle scienze, pubblicati prima del 1615, furono *Taixi shuifa* (Idraulica occidentale), del 1612, e *Tongwen suanzhi*, un'opera di matematica basata sull'*Epitome arithmeticae* di Clavius. Anche se Nicolas Trigault (nome cinese: Jin Nige, 1577-1628) arrivò a Pechino solo nel 1620 portando con sé un numero considerevole di libri occidentali – diversi dei quali sarebbero stati tradotti in cinese successivamente –, non c'è dubbio che ancor prima i missionari occidentali, tra i quali certamente Manuel Dias, erano sufficientemente esperti nelle scienze del loro tempo da poter trasmettere alla Cina le conoscenze scientifiche più recenti dell'Occidente. È evidente che furono conseguiti grandi risultati relativi alla trasmissione delle scienze occidentali, i quali prepararono la strada al coinvolgimento dei missionari gesuiti nella riforma del calendario a partire dal 1629, e infine all'acquisizione del controllo dell'ufficio astronomico nei primi anni della dinastia Qing.

Tornando all'opera di Dias, possiamo rilevare come questo libro sia un compendio della scienza cosmografica e astronomica europea del tempo, composto – com'era piuttosto comune all'epoca – nello stile domanda-e-risposta. È stato descritto come un testo sul modello del *De sphaera*, ovvero un riassunto delle nozioni di base aristotelico-tolemaiche nella tradizione fissata dal *Tractatus de Sphaera* di Giovanni Sacrobosco. Se è vero che fu scritto da Dias, non sarebbe stato però completato senza l'intervento di collaboratori cinesi, i quali, secondo una nota alla prima edizione, erano in numero di nove. Siamo sicuramente di fronte a un'opera alquanto affidabile e di grande interesse, che è diventata un fondamentale polo d'attenzione proprio perché contiene un'introduzione al telescopio, verosimilmente aggiunta quando il resto del libro era già stato terminato, con ogni probabilità poco prima che andasse alle stampe per la prima volta, nel 1615. Poiché questo testo è così importante ai fini della nostra riflessione, merita di essere citato qui per intero:

La maggior parte di quanto si è fin qui spiegato è basato su osservazioni fatte ad occhio nudo. Ma la visione dell'occhio nudo è limitata. Come può misurare la minima parte dei punti straordinariamente piccoli e meravigliosi

del firmamento? Recentemente un famoso scienziato occidentale esperto di astronomia ha iniziato a osservare i misteri del sole, della luna e delle stelle. Ma dispiaciuto per la debolezza dei suoi occhi, ha costruito un fenomenale strumento per supportarli. Grazie a questo strumento, un oggetto della misura di un *chi* collocato a una distanza di 60 *li* sembra trovarsi giusto davanti ai vostri occhi. Osservata con tale strumento, la luna appare mille volte più grande. Venere, grazie ad esso, sembra delle dimensioni della luna. La sua luce aumenta o diminuisce allo stesso modo di quella del disco lunare. Saturno, così osservato, somiglia alla figura qui annessa, rotondo come un uovo di gallina, affiancato da due piccole stelle. Se esse vi aderiscano, tuttavia, non lo sappiamo con esattezza. Lo strumento mostra Giove sempre accompagnato da quattro piccole stelle che vi si muovono intorno molto rapidamente; alcune sono a est del pianeta; altre ad ovest; o [viceversa] alcune a ovest, altre a est. Oppure possono essere tutte a est, o tutte a ovest. Il loro movimento, però, è piuttosto diverso da quello [delle stelle] delle 28 costellazioni; perché mentre le stelle restano [nell'orbita] dei sette pianeti, ci sono stelle di una classe speciale. Il cielo delle costellazioni, con questo strumento, rivela una gran quantità di piccole stelle, vicine le une alle altre, la cui luce è raccolta come a formare una catena bianca; è quella che ora viene chiamata la Via Lattea. Quando lo strumento arriverà in Cina, offriremo maggiori dettagli sul suo mirabile uso [5, pp. 18-19].

Da questo testo si possono ricavare diversi indizi interessanti sull'introduzione del telescopio in Cina:

1. Galileo non viene menzionato per nome, ma è chiaramente lui il «famoso scienziato occidentale» a cui si fa riferimento.
2. La nuova invenzione non veniva indicata con un nome specifico, ma piuttosto vi si faceva riferimento come a un «fenomenale strumento» (*qiaoqi*). Dovremmo qui notare che anche in Occidente ci volle del tempo prima che il termine “telescopio” diventasse di uso comune.
3. Quando Dias scrisse il testo, non aveva a disposizione un telescopio e, a quanto pare, non ne aveva mai visto uno.
4. Non vi è alcun cenno diretto alle fonti da cui Dias trasse le informazioni di cui disponeva, ma ovviamente è chiaro che non si trattava del *Sidereus Nuncius*, come ci si aspetterebbe, in quanto i dettagli forniti da Dias vanno ben al di là del *Nuncius*. Di particolare interesse è l'osservazione della singolare forma di Saturno, «rotondo come un uovo di gallina, affiancato da due piccole stelle», la quale era perfino accompagnata da un'illustrazione. Tale osservazione era stata fatta per primo da Galileo nell'estate del 1610, e fu da lui menzionata per la prima volta in una sua lettera ai Medici in quello stesso anno. In ogni caso, era ben nota nell'*élite* dei Gesuiti in Italia, ai quali era stata fatta conoscere da Galileo stesso [16, pp. 181-190].

5. Dias non offre una descrizione tecnica del telescopio e la sua affermazione, secondo cui esso renderebbe possibile un ingrandimento di 1000 volte, non è certo corretta: il telescopio di Galileo, infatti, si sa che era capace di un ingrandimento di venti e in seguito di trenta volte [15, p. 36].
6. Sorprendentemente, Dias si astiene dal trarre la minima conclusione circa un possibile sistema eliocentrico, anche se in Europa tale conclusione fu immediatamente suggerita da altri astronomi, tra i quali Clavius, non appena riuscirono ad avere a disposizione un telescopio.
7. La notizia delle scoperte fatte con l'aiuto del telescopio si diffuse molto velocemente attraverso la Cina, se si pensa che l'osservazione di Saturno da parte di Galileo era stata confermata solo tra la fine del 1610 e l'inizio del 1611. In circostanze normali una lettera dall'Europa – per essere più precisi, da Lisbona – a quel tempo ci metteva quasi due anni per arrivare a Macao.

2. A partire da quando il telescopio fu usato in Cina?

È così del tutto chiaro che il telescopio era noto in Cina nel 1615. Invece, non è affatto chiaro quanto fosse diffuso il *Tianwen lüe*, al tempo della sua prima pubblicazione [21]. Chiaro è che le informazioni offerte erano insufficienti per fabbricare un telescopio. La questione di quando il primo vero telescopio sia arrivato in Cina non è stata risolta in modo definitivo. La migliore congettura è che ciò sia avvenuto nel 1619, quando Trigault e più di venti missionari gesuiti – tra cui Adam Schall von Bell (1592-1666) e Johann Schreck (anche detto Terrentius, 1576-1630) arrivarono a Macao. Quando essi giunsero a Pechino nel 1623, molto probabilmente portarono con loro il telescopio che avevano usato durante il lungo viaggio [9, p. 82]. È meno chiaro, però, quale aspetto questo strumento potesse avere. In ogni caso, è certo che, negli anni immediatamente successivi, un gran numero di riferimenti al telescopio si possono trovare in varie fonti cinesi.

La fonte indubbiamente più importante è un libro scritto (o tradotto) da Adam Schall von Bell in collaborazione col convertito cinese Li Zubai. L'opera, dal titolo *Yuanjing shuo* (Sui telescopi), fu scritta nel 1626 e introduceva i principi sul telescopio e conteneva un'introduzione su come costruirlo e usarlo appropriatamente. Il libro, ancora una volta, non menziona Galileo ma, come il *Tianwen lüe*, mette in rilievo il fatto che il telescopio fu inventato da un astronomo europeo. Il primo riferimento cinese al nome di Galileo – traslitterato in cinese come Jia-li-le-a – risale all'anno 1640 e appare in un libro intitolato *Lifa xizhuan* (Biografie di astronomi occidentali), che fu redatto sempre da Adam Schall von Bell. Anche se lo *Yuanjing shuo* non menziona Galileo, è del tutto chiaro che il *Sidereus Nuncius* fu una delle sue fonti principali, dal momento che molte delle illustrazioni sono più o meno direttamente tratte da lì. Come sopra menzionato, il libro contiene una descrizione piuttosto dettagliata del telescopio, secondo la quale questo viene realizzato utilizzando una doppia lente convessa per in-

quadrare l'oggetto e una doppia lente concava per l'oculare [41, p. 334]. Un telescopio del genere differisce dai primi telescopi assemblati da Galileo, il quale utilizzava lenti piano-convesse e piano-concave.

Finora ci siamo occupati della storia, piuttosto lineare, di un passaggio di conoscenze. La questione, però, si complica quando cerchiamo di scoprire quando il primo telescopio fu prodotto in Cina. Sicuramente, a partire dagli ultimi anni del Seicento i Gesuiti furono coinvolti nell'ufficio astronomico del governo Ming, il quale ufficio era incaricato di preparare il calendario e di svolgere importanti calcoli astronomici, come ad esempio la previsione delle eclissi solari. Nel 1629 Xu Guangqi, che era direttore dell'ufficio per la riforma del calendario e che, insieme a Matteo Ricci, aveva tradotto Euclide in Cinese, propose all'imperatore di costruire un certo numero di strumenti astronomici, tra i quali tre telescopi. Pare che in effetti uno di questi strumenti sia stato completato nel 1631, ma non impiegava molte componenti fabbricate in Cina, bensì era formato soprattutto da pezzi che vi erano stati portati dai Gesuiti. Nello stesso anno, Xu Guangqi riferiva che, per osservare un'eclissi di luna, aveva utilizzato un telescopio, che tuttavia, con ogni probabilità, era appunto uno di quelli portati in Cina dai Gesuiti [9, p. 84].

Li Tianjing (1579-1659), il quale nel 1634 succedette a Xu Guangqi come responsabile dell'ufficio per la riforma del calendario, scrisse diverse relazioni all'imperatore, in cui spiegava piuttosto dettagliatamente quale scopo un telescopio potesse avere:

Il telescopio fu inventato nel remoto Occidente; è uno strumento della nuova astronomia, finalizzato a vedere là dove altri strumenti non vedono. È molto utile. Ho precedentemente segnalato [il progetto] di costruirne uno. Quando gli orologi solari e stellari saranno finiti, presenterò insieme i tre strumenti a Sua Maestà. Il telescopio ha un diametro di poco più di un pollice. La luce delle stelle vi penetra all'interno e scende giù fino all'occhio umano. Lo strumento può individuare due stelle così vicine che l'occhio umano non ne distingue i contorni. Può vedere quelle stelle che sono così piccole che l'occhio le scorge con difficoltà.

In un'altra relazione all'imperatore, Li afferma:

In adempimento alla richiesta di Sua Maestà, ho già sufficientemente illustrato il tubo ottico, detto anche telescopio. È costruito come segue: alle due estremità ci sono delle lenti separate l'una dall'altra da numerosi tubi vuoti inseriti l'uno nell'altro, così da poter essere accorciati o allungati come si desidera, a seconda che l'oggetto da vedere sia vicino o lontano. Con tale strumento si possono osservare non solo il cielo, ma oggetti distanti parecchi *li*, come se fossero sotto gli occhi dell'osservatore. È molto utile per osservare il nemico entro la gittata del cannone. Questo strumento, portato da James Rho e John Schall dai loro regni, è stato in seguito decorato per essere presentato a Sua Maestà [5, pp. 47-49].

È perciò chiaro come, già negli anni Trenta del Seicento, il telescopio fosse conside-

rato sufficientemente importante da essere spiegato all'imperatore. Era citato e utilizzato da un ampio numero di ufficiali e studiosi, sia a fini militari sia a fini astronomici. La cosa interessante, tuttavia, è che non aveva un nome standardizzato e ancora nel corso dell'Ottocento esisteva una varietà di denominazioni cinesi, quali *Yuanjing* (Lenti da distanza, Schall), *Wangyuan zhi jing* (Lenti per guardare a distanza, Schreck), *Kuitong yuanjing* (Tubo-spia realizzato con lenti da distanza, Li Tianjing), *Kuiguan* (Tubo-spia, Li Tianjing), *Qianlijing* (Lente delle mille miglia), ecc.

3. Quant'era diffusa in Cina la conoscenza del telescopio?

Se la storia dell'introduzione del telescopio è piuttosto chiara, ci sono alcune discrepanze di cui bisogna prendere atto. Le più interessanti sono i primi riferimenti nelle fonti letterarie, i quali sembrano suggerire come i telescopi potrebbero essere stati disponibili in Cina prima che in Occidente. Il passo più famoso può trovarsi in un libro del periodo della dinastia Ming, intitolato *Er xin* (Il nuovo messaggero), scritto da Zheng Zhongkui (1636), in cui si legge quanto segue:

Il monaco straniero Matteo Ricci ha uno strumento in grado di vedere a mille miglia di distanza, che riesce a scorgere una luce di candela lontana mille miglia. [...] Dopo la sua morte, uno dei suoi discepoli lo portò con sé nella Cina meridionale, dove la gente fu entusiasta di provarlo [12].

Questo passo è veramente degno di nota. Dato che Ricci morì nel 1610, ciò potrebbe significare che esistevano dei telescopi molto prima di Galileo e del suo predecessore olandese Lippershey (1570-1619), il quale scoprì il telescopio nel 1608, oppure che questi primi telescopi erano stati portati in Cina, o, addirittura, che questo tipo di strumento era stato inventato da Ricci stesso. L'*Erxin* fu comunque scritto solo nel 1634, per cui ci sono ottime probabilità che l'autore avesse letto lo *Yuanjing shuo* o una delle altre opere che menzionavano il telescopio.

Lo storico della scienza cinese Jiang Xiaoyuan, tuttavia, è ancora dell'opinione che l'*Erxin* possa riferirsi a una fonte sconosciuta del telescopio. Il suo argomento principale è che le scoperte che si potevano fare impiegandolo, e che sono nominate nel *Tianwen liie* e nello *Yuanjing shuo*, non sono menzionate nel testo di Zheng. Il suo argomento secondario è che Ricci era designato "monaco straniero" e che in effetti egli vestì gli abiti di monaco buddhista solo fino al 1595, e in seguito usò l'abbigliamento dei maestri confuciani [12]. Già tra il 1940 e il 1950, peraltro, Fang Hao ha sottolineato che sarebbe un errore prendere questo testo alla lettera, mentre dovrebbe piuttosto esser visto come una dimostrazione di grande rispetto per Matteo Ricci [6, p. 68]. L'altro termine di riferimento letterario piuttosto conosciuto può trovarsi nel racconto di Li Yu (1610-1680) *Una torre per il caldo estivo* (che fa parte del romanzo di Li Yu *Dodici torri*). In questo racconto un giovane innamorato utilizza un telescopio (qui chiamato «strumento per vedere a mille miglia di distanza») per spiare la ragazza dei suoi sogni. Il racconto è scritto nel 1650 circa, e Li Yu si dilunga abbastanza nello spiegare i diversi tipi di lenti e gli strumenti con lenti che esistono in Occidente, e che, secondo questa

storia, sono stati portati in Cina “duecento anni fa”. Mentre è evidente che tale affermazione non può esser presa sul serio, è però interessante notare che, riguardo a queste lenti, Li Yu scrive che «La Cina non era capace di competere con gli stranieri in questo tipo di indagini» e osserva che c'erano soltanto pochissimi in grado di padroneggiare la tecnica per produrre quegli oggetti [18, pp. 18-19].

Il telescopio a quel tempo era un articolo piuttosto raro, ma, come si può ben vedere, era considerato sufficientemente importante da venir messo al centro di un romanzo di rilievo. Infatti, Li Yu in questa sua opera suggerisce che in Cina, a quel tempo, c'era un numero limitato di artigiani di talento, capaci di fabbricare diversi dispositivi ottici. Ciò, invero, dipinge la situazione reale. All'inizio del Seicento c'erano alcuni artigiani cinesi che avevano acquisito ottime capacità nella produzione di strumenti ottici. I due nomi citati più frequentemente sono quelli di due uomini della regione del Suzhou, un certo Bo Jue e un certo Sun Yunqiu. Bo Jue fu presumibilmente il primo a usare il telescopio per scopi bellici – per l'esattezza, nelle battaglie tra le truppe Ming e il ribelle Zhang Xianzhong (1606-1647) nel 1635 [23, p. 114]. È di un certo interesse la congettura secondo cui Bo Jue avesse scoperto il telescopio in modo autonomo. A quanto pare, negli anni Trenta e negli anni Cinquanta del secolo scorso, in Cina furono scoperti alcuni primitivi telescopi, che furono attribuiti rispettivamente a Bo Jue e a Sun Yunqiu. Questi telescopi erano entrambi 'in stile Keplero'. Poiché, però, la conoscenza sui telescopi in stile-Keplero si diffuse solo grazie all'opera di Scheiner, nel 1630 – e finora non è emersa alcuna prova che fossero noti in Cina durante la dinastia Ming –, alcuni studiosi ritengono che lo strumento debba essere stato elaborato in modo autonomo da Bo Jue, e quindi dovrebbe essere chiamato 'telescopio in stile Bo Jue' [36, p. 29]. Dato che i telescopi su cui quest'argomento si basa sono scomparsi, si tratta di un resoconto impossibile da verificare.

Fatta eccezione per Bo Jue e Sun Yunqiu, i quali sono piuttosto famosi, in Cina c'erano diversi produttori di strumenti ottici e di alcuni di essi conosciamo il nome. Sarebbe peraltro sbagliato credere che esistesse qualcosa di simile a un'industria ottica. Infatti, benché siamo a conoscenza dell'esistenza dei telescopi e del fatto che essi venivano usati per scopi diversi (come quelli militari, cui sopra si è fatto cenno), è molto probabile che il numero complessivo di telescopi disponibili in Cina fosse ancora piuttosto limitato. Sorprendentemente, sembra che i telescopi non fossero regolarmente utilizzati per le osservazioni astronomiche [13, p. 42]. A partire dalla fine del Seicento, abbiamo solo un numero molto limitato di resoconti indicanti osservazioni fatte col telescopio, e quando Ferdinand Verbiest (1623-1688) installò i suoi strumenti astronomici presso l'osservatorio di Pechino, nel 1673, a quanto pare non li predispose all'uso tipico dei telescopi [33, p. 322]. Questi ultimi erano però utilizzati per osservare le eclissi di sole; e la precisione delle osservazioni sembra essere stata notevolmente accresciuta dall'impiego del telescopio [20, p. 287].

La questione più rilevante con cui dobbiamo misurarci, quando investighiamo sul numero di telescopi prodotti in Cina, è il problema delle lenti ottiche. Per quel che

mi risulta, sono state fatte scoperte archeologiche di lenti d'ingrandimento risalenti alla Dinastia Han (dal 206 a.C. al 220 d.C.). Queste lenti d'ingrandimento, piuttosto piccole, erano ricavate dal cristallo di rocca [40, p. 39]. Resta completamente oscuro, invece, quando le lenti di vetro furono usate per la prima volta in Cina. Ci sono tuttavia elementi di prova molto forti circa il fatto che gli occhiali vi arrivarono durante la dinastia mongola (1271-1368); il che significa che non furono messi a punto in Cina in modo autonomo. I cosiddetti *aidai* – il termine moderno, *yanjing*, compare solo nel XVI secolo [4, p. 190] – furono probabilmente introdotti dal mondo arabo passando per la Malacca. Durante la dinastia Ming ci fu una notevole crescita nella domanda di occhiali, in Cina e in seguito gli occhiali furono prodotti sullo stesso territorio cinese.

È possibile che la lavorazione delle lenti – che fossero ricavate da cristallo di rocca o dal vetro – fosse facilitata dalla lunga esperienza che gli artigiani cinesi avevano nella lavorazione della giada. E in effetti dalla regione del Suzhou – uno dei centri più attivi in questo campo nel Cinquecento e nel Seicento – provenivano Bo Jue e il suo allievo Sun Yunqiu, operanti nel corso del Seicento.

4. In quale modo il telescopio e la scienza ottica occidentale presenti in Cina si relazionano alla conoscenza tradizionale cinese?

Sun Yunqiu è importante da un altro punto di vista, perché oggi è considerato il primo cinese ad aver scritto autonomamente un trattato di ottica, dal titolo *Jing shi* (Storia delle lenti). Questo brevissimo libro (solamente 1300 caratteri circa), è stato riscoperto solo di recente. È un'opera che non parla soltanto degli occhiali e del telescopio, ma anche di un certo numero di altri dispositivi ottici, come il microscopio, il caleidoscopio, ecc. Ormai è chiaro che questo libro, benché scritto da un cinese – del quale non sappiamo affatto se avesse dei contatti diretti con missionari gesuiti – attinge principalmente a *Sul telescopio* di Schall von Bell, opera sopra citata [31]. Lo stesso vale per un altro libro fuori dal comune, ovvero *Jingjing lingchi* (La mia modesta opinione sull'ottica) di Zheng Fuguang (1780-1853), che fu scritto molto tempo dopo, tra il 1830 e il 1840. Alcuni considerano questo libro come uno dei vertici dell'ottica tradizionale cinese [30, p. 46], e in effetti è anch'esso largamente tributario dell'opera di Schall von Bell, che l'autore combina con affermazioni tratte dalla traduzione di Ricci e di Xu degli *Elementi* di Euclide. L'opera, tuttavia, ha un aspetto di novità, perché per la prima volta combina queste nozioni provenienti dall'Occidente (benché, al tempo in cui avvenne la pubblicazione, non fossero più 'nuove') con conoscenze tradizionali cinesi di ottica, specialmente la *Mengxi bitan* (Conversazione dal ruscello dei sogni) di Shen Kuo (1031-1095), scritta durante la dinastia Song, e il *Kaogong ji* (Registro dell'artigiano), composto probabilmente nel corso del III secolo a.C. [35, pp. 43-45].

Non direi, comunque, che in Cina esistesse qualcosa di simile a un dibattito sull'ottica tradizionale. Un simile dibattito prese corpo gradualmente attraverso l'opera di Zou Boqi (1819-1869), che, tra il 1840 e il 1850, scrisse un breve saggio dal titolo *Tutti i metodi occidentali esistevano già in passato*, che fu pubblicato solo nel 1876, dopo

la sua morte. In questo saggio, Zou sosteneva che le conoscenze ottiche dell'Occidente erano contenute nel *Canone moista*, un'opera ricollegata a Mozi ma con ogni probabilità scritta da seguaci della *scuola moista* durante il periodo degli 'Stati combattenti'. In un altro saggio, intitolato *Appendici al Gezhu*, l'autore riportò delle nozioni di ottica, richiamandosi di nuovo esplicitamente ad Adam Schall von Bell e non solo al *Mojing*, ma anche alla *Mengxi bitan* (Conversazione dal ruscello dei sogni) di Shen Kuo (1031-1095) – la parte di questo libro riguardante i matematici che trattano delle questioni di ottica ha per titolo *Geshu*. Sfortunatamente, le considerazioni di Zou Boqi relative al *Canone moista* restano visibilmente vaghe. Zou cita alcuni passi tratti dalla seconda parte del *Mojing* e dai *Jingshuo* (Chiarimenti al canone), affermando che erano sufficienti a trattare esaurientemente l'ottica, che, come lui spiega, «fa apparire chiaro ciò che è piccolo e vicino ciò che è lontano ed è stata illustrata nel dettaglio nell'opera *Sul telescopio* di Schall von Bell» [42, pp. 20a-23b].

Pare nondimeno ragionevole supporre che Zou Boqi avesse in mente qualcosa di più preciso. Zou era senza dubbio un personaggio di grande spessore, un ottimo matematico, molto versato nella cartografia [1] e, a quanto pare, il primo cinese a essersi interessato di fotografia, che si dice abbia scoperto in modo autonomo [22, pp. 33-54]. Nei primi anni del 1870, la scoperta di Zou fu ampliata dal suo amico Chen Li (1810-1882), il quale citò ulteriori passaggi del *Canone moista* che, secondo lui, provano come i moisti conoscessero gli specchi concavi e convessi, da lui considerati il nucleo dell'ottica occidentale. Chen, peraltro, aggiunse una sezione, riconoscendo che gli scritti moisti sull'ottica avevano subito tagli e alterazioni, ed erano «difficili da interpretare» [3, 12.207]. Non aveva simili dubbi Zhang Zimu (1833-1886) che nel 1876, evidentemente influenzato da Zou Boqi e Chen Li per la realizzazione della sua opera *Yinghai lun* (Dissertazione sui poteri del mare), aggiunse una sezione sulle supposte origini moiste dell'ottica occidentale. Zhang citava semplicemente alcuni passi del *Mojing*, suggerendo che questi contenessero le basi dell'ottica occidentale, e si asteneva del tutto da qualunque spiegazione più dettagliata [39, p. 488]. Fatto sta che fu proprio questa sezione a diventare molto influente e ad essere ampiamente citata in numerose altre fonti, tra cui alcune di rilievo, come per esempio gli scritti di Huang Zunxian (1848-1905) e altri.

Si potrebbe arguire che il dibattito sull'ottica cinese non sia niente più che un altro esempio della teoria delle origini cinesi della scienza occidentale (*Xixue zhongyuan*), una teoria molto popolare all'epoca e anche un teoria che si estendeva a tutti i campi della cultura dell'Occidente. Soprattutto il fatto che Zhang Zimu, il quale è comunemente considerato uno dei più importanti esponenti di questa teoria, si sia occupato dell'argomento, può servire come valido indicatore. La maggior parte dei ricercatori che si dedicano alla teoria dello *Xixue zhongyuan* la considerano un tentativo fallimentare e a tratti ridicolo, da parte cinese, di riaffermare una supremazia culturale in un mondo in cambiamento, o nel caso migliore un mezzo per 'ammorbidire' la resistenza indigena alla ricezione del *nuovo sapere*, enfatizzando che questo sapere esisteva fino dai tempi antichi ma, sfortunatamente, era andato perduto [28].

Nonostante che questa analisi abbia certamente i suoi meriti, a me sembra insufficiente per una serie di ragioni. Il fatto che praticamente tutte le figure di intellettuali di rilievo in Cina, in quel periodo, abbiano aderito a una simile teoria rende senz'altro necessaria uno sguardo più sistematico [11, p. 24]. Ancor più importante sembra essere il fatto che, anche se la maggior parte dei sostenitori di questa teoria tendevano a rigettare le nozioni scientifiche occidentali sostenendo che in Cina erano esistite fin dai tempi antichi, essi dovessero pur sempre, in una certa misura, fare i conti con tali nozioni. La letteratura cinese doveva esser letta e interpretata in un modo completamente diverso; questa rilettura era guidata dal sapere occidentale e, a mio avviso, possiamo qui scorgere i primi passi verso una riclassificazione delle nozioni tradizionali cinesi che fa uso di categorie occidentali. Dovremmo infine osservare come alcune delle opere che applicavano la *teoria dell'origine cinese delle scienze occidentali* divennero fonti importanti, o almeno utili supporti, per coloro i quali, durante la maggior parte del Novecento, lavorarono su specifici aspetti della storia cinese [37].

Tornando al nostro tema, è importante notare che il *Canone moista* – come abbiamo visto, la principale fonte per scoprire l'ottica cinese – sopravvisse solo per caso. Tra il terzo secolo e la fine del diciottesimo non interessò quasi a nessuno perché, da una parte, Mozi e la sua scuola non erano considerati particolarmente importanti e, dall'altra, perché l'unica edizione esistente – quella contenuta nella *Patrologia daoista* (*Daozang*) – era stata seriamente danneggiata nel corso del suo processo di trasmissione [10]. Se è vero che, dalla fine del diciottesimo secolo, alcuni studiosi avevano tentato di ricostruire il testo originale, questi sforzi produssero i loro frutti finali solo all'inizio del ventesimo secolo, grazie ai lavori di Sun Yirang (1848-1908) e Liang Qichao. Ciò significa che la maggior parte degli studiosi i quali riscontrarono somiglianze tra vari passi del *Canone moista* e l'ottica occidentale, basarono le loro affermazioni su un'edizione del testo che era stata considerata incomprensibile; inoltre, stando alla forma del testo di cui essi si servirono, è praticamente impossibile attribuirgli un significato da un punto di vista moderno [8, p. 68].

È affascinante osservare il modo in cui studiosi come Liu Yueyun (1849-1917) interpretavano paragrafi, che, a causa delle condizioni pietose del lavoro filologico svolto sul *Canone* fino a quel momento, credevano attinenti all'ottica, mentre, almeno secondo la moderna ricerca filologica, non hanno nulla a che fare con essa [19]. Liu e i successivi commentatori, come ad esempio Feng Cheng – il quale scrisse nel 1894 un libro intitolato *Usare l'ottica per illustrare il Canone moista* (*Guangxue shu Mo*) – furono ugualmente in grado di scoprire, nel *Canone moista*, un gran numero di fenomeni di cui essi avevano solo da poco preso consapevolezza leggendo traduzioni di opere sull'ottica occidentale pubblicate a partire dalla metà dell'Ottocento [7]. I fenomeni scoperti da Liu, Feng e altri ancora comprendevano la rifrazione, la rifrazione atmosferica, il fatto che l'angolo d'incidenza corrisponde all'angolo di riflessione, la legge di riflessione, la parallasse, la fotografia, la fabbricazione del telescopio, ecc.

Parimenti interessante è un altro fenomeno. Anche tenendo conto dello stato con-

fuso in cui il *Canone moista* si trovava in quel periodo, per la maggior parte degli esegeti era chiaro come la conoscenza ottica fosse contenuta soltanto nella seconda parte del *Canone* [38, p. 252]. Così, fu certamente una sfida quando, nel 1894, una domanda d'esame del *Gezhi shuyuan* (Politecnico di Shanghai), una delle pochissime istituzioni cinesi dell'epoca specializzate nell'istruzione sulle conoscenze scientifiche occidentali, richiese prove e spiegazioni sui riferimenti all'ottica nella prima parte del *Canone*. Il vincitore di questo concorso per un saggio a tema, peraltro, non si fece scoraggiare. Dichiarando che in epoche precedenti il *Mojing* non poteva esser spiegato perché «la scienza occidentale non era ancora chiara», egli riuscì a trovare una sezione del *Mojing*, che oggi è comunemente ricollegata al ragionamento geometrico, la quale secondo lui spiegava il fenomeno delle lenti convesse, usate dagli Occidentali per ingrandire [2]. Un altro partecipante al concorso trovò nella prima parte del *Canone* il principio secondo cui la luce si trasmette in maniera rettilinea. Questo testimonia la notevole flessibilità che il testo del *Canone moista* presentava, rendendo possibile trovarvi dei riferimenti a un numero sempre più crescente di conoscenze occidentali.

Possiamo certo parlare di un processo di 'indigenizzazione' subito dall'ottica occidentale nel corso del processo della sua ricezione, che ebbe inizio nel Seicento e si estese fino all'inizio del Novecento. Credo che analizzare tale processo sia piuttosto istruttivo, in quanto dimostra il potere trasformatore della scienza occidentale. La ricezione delle conoscenze occidentali in Cina determinò infatti una rilettura dei testi tradizionali secondo le linee dei modelli occidentali di classificazione scientifica. Ciò è dimostrato con la massima evidenza dal fatto che nel 1906 uno dei primi periodici dedicati alla divulgazione scientifica pubblicò una biografia del "fisico cinese Mozi", accanto a biografie di famosi inventori e scienziati occidentali [14]. Il cambiamento prodotto dalla scienza occidentale non influenzò solo la società, la politica, l'economia e la cultura cinesi, ma, com'è evidente, modificò anche la visione della propria storia, da parte della Cina. *Wulixuejia*, la parola cinese qui usata per "fisico" e applicata a Mozi, era stata adottata solo pochi anni prima dal giapponese, e come tale indicava qualcuno che praticava una disciplina del tutto estranea alla riflessione tradizionale cinese.

Di sicuro, fu anche il potere della scienza occidentale – ivi inclusa naturalmente l'ottica – ciò che contribuì grandemente a inserire Mozi e il *Canone moista* fra i temi di dibattito in Cina tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento. La scoperta dei contenuti scientifici di quest'opera – che pur era stata riscoperta prima che la scienza occidentale penetrasse più ampiamente in Cina –, accrebbe senz'altro la sua popolarità, insieme all'urgenza con cui fu fatta oggetto di studio e analisi fin dalla tarda dinastia Qing. A partire dai primi del Novecento, ci fu un'autentica valanga di edizioni e commenti su *Mozi* e sul *Canone moista*, tra i quali opere di noti studiosi come Sun Yirang e Liang Qichao. *Mozi* e il *Canone moista* sembrano aver offerto una lieve speranza per una pretesa via cinese, 'autoctona', alla modernità, o – come Lawrence Schneider ha succintamente descritto la questione, in rapporto alle tendenze intellettuali del tempo – «per essere moderni pur restando cinesi» [29, p. 95].

L'ottica cinese ha continuato a suscitare notevole interesse, cominciando nel 1938, quando il fisico di formazione occidentale Qian Linzhao (1906-1999) iniziò a svolgere ricerche sulle parti del *Mojing* che si occupavano di fisica. A causa della guerra sino-giapponese, l'istituto in cui Qian lavorava era stato spostato nello Yunnan. Non essendo un istituto ben attrezzato per ricerche fisiche, Qian, come altri scienziati, prese a dedicare più tempo alla ricerca nel campo della "scienza testuale". Questo approccio era stato notevolmente facilitato dal fatto che la febbre di *Mozi*, fin dall'inizio del Novecento, aveva reso il *Mojing*, un tempo oscuro, così popolare da trovare ampie risorse testuali disponibili anche in un luogo remoto qual era Kunming a quel tempo.

Qian Linzhao fu il primo scienziato a occuparsi del *Mojing*. Come scienziato, era molto più prudente di alcuni dei suoi predecessori. Il suo obiettivo era quello di rendere giustizia al *Mojing*, e voleva farlo illustrandone il reale significato, il che secondo lui era possibile soltanto con una formazione completa nella fisica occidentale [26]. Sebbene non sia facile valutare se Qian vi sia riuscito o meno, penso che sia comunque importante prestare attenzione al fatto che Qian, pervenendo a conclusioni diverse, vedesse se stesso – come messo in rilievo nell'introduzione al suo articolo – all'interno di una tradizione di esegeti del *Mojing* che iniziava con Zou Boqi e si estendeva a molti degli studiosi menzionati in questo mio articolo. Nella sua autobiografia, Qian scrive che i risultati della sua ricerca divennero enormemente popolari dopo la fondazione della Repubblica Popolare Cinese, nel 1949, quando la storia della scienza e della tecnologia divenne parte della campagna per l'educazione patriottica – e quindi della propaganda – del Partito Comunista [27]. Ovviamente, le sezioni sull'ottica del *Canone moista* oggi rivestono una notevole importanza in numerose storie della fisica o dell'ottica cinese [34]. Nella sua autobiografia, Qian sottolinea inoltre come nel 1943, quando Joseph Needham visitò l'Accademia di Pechino in cui Qian lavorava e che allora aveva sede vicino a Kunming, fu egli stesso ad evidenziare i passi di rilevanza scientifica del *Mojing* a Needham, il quale fu entusiasta di questa 'scoperta' [25, pp. 12-13], e – com'è ampiamente noto – trattò diffusamente questi aspetti in *Science and Civilisation in China* [24, pp. 81-97].

Conclusioni

La trasmissione delle conoscenze sul telescopio alla Cina, collegata a quella delle conoscenze occidentali di ottica, ebbe notevoli conseguenze. I telescopi non furono usati solo per le osservazioni astronomiche – anche se non intensivamente come ci si aspetterebbe –, ma furono utilizzati anche in altri ambienti – specialmente per scopi militari, come abbiamo visto. I telescopi furono importati dall'Occidente (o, piuttosto, erano abbastanza spesso offerti in dono dai missionari), però furono prodotti anche in Cina. Possiamo supporre che la produzione locale di telescopi abbia avuto un impatto positivo sullo sviluppo della fabbricazione cinese di strumenti ottici, perché certamente la realizzazione di lenti impiegate per costruire telescopi richiede competenze che potevano essere utili anche alla produzione di altri tipi di lenti. Si tratta, però, di un argomento che meriterebbe una ricerca più sistematica.

L'introduzione in Cina del telescopio e dell'ottica occidentale non contribuì solo a migliorare la conoscenza dell'ottica e dei problemi astronomici, ma fu anche uno dei più importanti stimoli per far emergere un dibattito sull'ottica cinese, o – volendo adottare una prospettiva *à la* Hobsbawm – per la “invenzione” di una tradizione ottica.

Si potrebbe affermare che l'ottica si sia diffusa a partire dall'Europa non solo come conoscenza specialistica, utile per la fabbricazione di telescopi, ma anche come una delle branche più importanti della fisica. In Cina fu “indigenizzata” e poi questo complesso di conoscenze fu ritrasmesso in Europa come una parte importante di quella recente disciplina nota come storia della scienza e della tecnologia in Cina: canonizzata nell'opera di Needham *Science and Civilization in China*, essa resta una parte importante – e controversa – della ricerca storica e sinologica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Amelung, I., *New Maps for the Modernizing State. Western Cartographic Knowledge and its application in 19th and 20th century China*, in Bray, F., Lichtman, V., Georges, M. (a cura di), *Graphics and Text in the Production of Technical Knowledge in China, The Warp and the Weft*, Brill, Leida 2007, pp. 685-726.
- [2] Chen, H., *Mozi jing shang ji shuo shang yi qi Xiren suoyan lixue, guangxue, zhongxue zhi li. Qi tiao ju shuzheng yi wen* (La prima parte del Canone e la seconda parte dei Chiarimenti al Canone di Mozi si occupano già di scienza calendaristica, ottica e meccanica come trattate dagli Occidentali. Citano questi passaggi e li commentano), in Wang, T. (comp.), *Gezhi shuyuan keyi*, Tushu jicheng yinshuju, Shanghai primavera 1894, p. 2a-3a.
- [3] Chen, L., *Dongshu dushu ji*, (Note di lettura di Chen Li), Shangwu yinshuguan, Taipei, Taiwan, 1965.
- [4] Chiu, K., The introduction of spectacles into China, *Harvard Journal of Asiatic Studies*, 1,2 (1936), pp. 186-193.
- [5] Elia, P. M. de, *Galileo in China. Translated by Rufus Suter and Matthe Sciascia*, Cambridge/Mass. 1960.
- [6] Fang, H., *Jialilüe yu kexue shuru woguo zhi guanxi* (Il rapporto tra Galileo e la scienza che è entrata nel nostro paese), in Fang, H., *Fanghao liushi ziding gao*, Xuesheng shuju, Tabei, 1969, Vol. 1, pp. 63-71.
- [7] Feng, C., *Guangxue shu Mo* (Utilizzare l'ottica per analizzare il Mozi), Xiaocang shangfang, Shanghai 1900.
- [8] Gabelentz, G. von der, Über den chinesischen Philosophen Mek Tik, *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Philologisch-Historische Klasse*, 40, 1888, pp. 62-70.
- [8] Gao, X., Lü, H., *Jialilüe wangyuanjing de faming jiqi dui Ming Qing Zhongguo de yingxiang* (L'invenzione del telescopio di Galileo e il suo impatto sulla Cina), *Ludong daxue xuebao (Zhexue shehui kexueban)* 26:5, 2009, pp. 82-87.
- [9] Graham, A. C., *Later Mohist Logic, Ethics and Science*, The Chinese University Press, Hong Kong 1978.
- [10] Hutters, T., *Bringing the World Home. Appropriating the West in Late Qing and Early Republican China*, University of Hawai'i Press, Honolulu 2005.
- [11] Jiang, X., *Jialilüe zhi qian de wangyuanjing - ta shenzhi keneng 16 shiji yi dao Zhongguo?* (Il telescopio prima di Galileo. È addirittura possibile che fosse già arrivato in Cina nel XVI secolo?), *Xin faxian* 2006:9, pp. 116-117.
- [12] Jiang, X., *Ouzhou tianwenxue zai qingdai shehui zhong de yingxiang* (L'impatto dell'astronomia europea sulla società durante la dinastia Qing), *Shanghai Jiaotong daxue xuebao (Zhexue shehui kexue ban)* 14:6, 2006, pp. 37-43.
- [13] Jue, C., *Zhongguo wulixuejia Mozi* (Il fisico cinese Mozi), *Lixue zazhi* 4, pp. 63-70, 6, 1906, pp. 75-87.

- [14] King, H. C., *The History of the Telescope*, Charles Griffin Comp., Londra 1955.
- [15] Lattis, J.M., *Between Copernicus and Galileo: Christoph Clavius and the Collapse of Ptolemaic Cosmology*, University of Chicago Press, Chicago 1994.
- [16] Leitao, H., *The contents and context of Manuel Dias' Tianwenlüe*, in Saraiva, L., Jami, C. (a cura di), *The Jesuits, The Padroado, and East Asian Science (1552-1773)*, World Scientific, New Jersey, Londra 2008, pp. 99-121.
- [17] Li, Y., *A Tower for the Summer Heat, translated by Patrick Hanan*, Columbia University Press, New York 1992.
- [18] Liu, Y., *Mozi geshu jie* (Illustrazione dell'ottica moista), in Liu, Y., *Shijiu dezhai zazhu*, Chengdu 1896, J. 1, pp. 64a-67a.
- [19] Lü, L., Shi, Y., *Qingdai rishi yubao jilu de jingdu fenxi* (Analisi dell'esattezza della previsione delle eclissi solari all'epoca della dinastia Qing), *Zhongguo keji shiliao* 24:3 (2003), pp. 283-290.
- [20] Magone, R., *The textual tradition of Manuel Dias' Tianwen lüe*, in Saraiva, L., Jami, C. (a cura di), *The Jesuits, The Padroado, and East Asian Science (1552-1773)*, New Jersey, World Scientific, Londra 2008, pp. 123-138.
- [21] Moore, O., *Zou Boqi on Vision and Photography in Nineteenth Century China*, in Hammond, K. J., Stapleton, K. (a cura di), *The Human Tradition in Modern China*, Rowman and Littlefield, Lanham 2008, pp. 33-54.
- [22] Needham, J., Lu, G. D., *The optick artists of Chiangsu*, *Proceedings of the Royal Microscopical Society*, Vol. 2, Part 1, 1967, pp. 113-138.
- [23] Needham, J., *Science and Civilisation in China. Vol. 4 Physics and Physical Technology, Part 1. Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 1962.
- [24] Qian, L., *Qian Linzhao zizhuan* (Autobiografia di Qian Linzhao), in Zhu, Q. (a cura di), *Qian Linzhao wenji*, Anhui jiaoyu chubanshe, Hefei 2001, pp. 3-13, 12-13.
- [25] Qian, L., *Shi Mojing zhong guangxue lixue zhu tiao* (Chiarimenti sui passi di ottica e meccanica nel *Mojing*) in *Li Shizeng xiansheng liushi sui jinian wenji*, Beijing yanjiuyuan, Kunming Guoli 1942, pp. 135-62.
- [26] Qian, L., *Woguo xian Qin shidai de kexue zhuzuo - Mojing* (Un'opera scientifica dell'epoca precedente la dinastia Qing- Il *Canone moista*), *Kexue dazhong* 1954:12, pp. 468-470.
- [27] Quan, H., *Qingmo de Xixue yuanchu Zhongguo shuo* (La teoria per cui la scienza occidentale ebbe origine in Cina nel tardo periodo Qing), *Lingnan xuebao*, 4.2, 1935, pp. 57-102.
- [28] Schneider, L. A., *Ku Chieh-kang and China's New History: Nationalism and the Quest for Alternative Traditions*, University of California Press, Berkeley 1971.
- [29] Song, Z., *Zheng Fuguang he ta de Jingjing lingzhi* (Zheng Fuguang e il suo 'La mia modesta opinione sull'ottica'), *Zhongguo keji shiliao*, 8, 1987, pp. 41-46.
- [30] Sun, C., *Ming Qing zhi ji xifang guangxue zhishi zai Zhongguo chuanbo jiqi yingxiang - Sun Yunqiu Jing shi yanjiu* (La diffusione della scienza ottica occidentale nel

- momento del passaggio dalla dinastia Ming a quella Qing e il suo impatto – uno studio della *Storia delle lenti* di Sun Yunqiu), *Ziran kexueshi yanjiu*, 26:3, 2007, pp. 363-376.
- [31] Wang, F., *Mozi jing shang ji shuo shang yi qi xiren suoyan lixue, guangxue, zhongxue zhi li. Qi tiao ju shuzheng yi wen* (La prima parte del Canone e la seconda parte dei Chiarimenti al Canone di Mozi si occupano già della scienza calendaristica, dell'ottica e della meccanica per come trattate dagli Occidentali. Citano questi passaggi e li commentano), in Wang, T. (comp.), *Gezhi shuyuan keyi*, Tushu jicheng yinshuju, spring, Shanghai 1894, p. 4a-5a.
- [32] Wang, G., *Wu Yunhao, Sun Xiaochun., Ming Qing zhi ji wangyuanjing de zhuanru dui Zhongguo tianwenxue de yingxiang* (L'importazione del telescopio e la sua influenza sull'astronomia cinese), *Ziran kexueshi yanjiu*, 27:3, 2008, pp. 309-324.
- [33] Wang, J., Hong, Z., *Zhongguo guangxue shi* (Storia dell'ottica cinese), Hunan jiaoyu chubanshe, Changsha 1986.
- [34] Wang, S., *Zheng Fuguang: Qingdai shouxuan guangxue zhuanzhu de shiyan wulixuejia* (Zheng Fuguang: Il primo fisico sperimentale della dinastia Qing ad avere scritto un'opera specialistica di ottica), *Huangshan gaodeng zhuanke xuexiao xuebao*, 3:3, 2001, pp. 40-45,
- [35] Wang, S., *Liu Hengliang, Li Zhijun, Bo Jue jiqi qianlijing* (Bo Jue e il suo strumento per vedere a mille miglia di distanza), *Zhongguo keji shiliao*, 18:3, 1997, pp. 26-31.
- [36] Wang, Y., *Xixue zhongyuan shuo he 'Zhongti xiyong' lun zai wan Qing de* (L'ascesa e il declino delle teorie dell'origine cinese delle scienze occidentali e 'La Cina come il corpo e l'Occidente come luogo di applicazione' durante la tarda dinastia Qing), *Gugong bowuyuan yuankan*, 2001:5, pp. 56-62.
- [37] Xue, F., *Chushi Ying Fa Yi Bi siguo riji* (Diario della mia missione diplomatica nei quattro stati di Inghilterra, Francia, Italia e Belgio). Changsha: Yuelu chubanshe (*Zou xiang shijie congshu—Da Est a Ovest: viaggiatori cinesi prima del 1911*) 1985.
- [38] Zhang, Z., *Yinghai lun* (Dissertazione sui poteri del mare), in X. Wang (a cura di), *Xiaofanghuzhai yudi congchao*. Shanghai: Zhuyitang 1877-1897, Vol. 11, pp. 483-95.
- [39] Zhao, M., *Zhongguo yanjing ji yanjing wenhua fazhan gaikuang chutan* (Gli occhiali cinesi e lo sviluppo della cultura degli occhiali), *Zhongguo yanjing keji zazhi*, 2002:3, pp. 38-41,
- [40] Zhao, S., "Guanyu 'Yuanjing shuo' he 'Jiaoshi lizhi' zhong de wangyuanjing" (Il telescopio in 'Sul telescopio' e 'Trattato sulle eclissi'), *Nei Menggu shifan daxue xuebao. Ziran kexue (hanwen) ban*, 33:3, 2004, pp. 332-335.
- [41] Zou, B., *Lun xifa jie gu suoyou* (Tutti i metodi occidentali esistevano già nel passato), in Zou, B., *Xueji yide*, J. xia, pp. 20a-23b (Zou Zhengjun yishu), n.p. 1876.

RELIGIONI AC BONIS ARTIBUS:**L'«APOSTOLATO SCIENTIFICO» DEI GESUITI IN CINA**

ILARIA MORALI

*Istituto di Studi Interdisciplinari su Religioni e Culture,
Pontificia Università Gregoriana, Roma*

In un tempo come il nostro, nel quale si pensa alla scienza come un'attività opposta alla religione e si ritiene la vicenda di Galileo il paradigma di tale contrapposizione, nonché l'emblema dell'oscurantismo cattolico, lascia probabilmente perplessi la mia scelta di parlare dell'apporto dei gesuiti in Cina come di un *apostolato scientifico*, come pure l'aver voluto inserire nel titolo, quasi a guisa di introduzione, il motto *Religioni ac bonis artibus*, (per la religione e le buone scienze) la cui iscrizione venne affissa sulla facciata del Palazzo del Collegio Romano nel 1583, per volontà di Papa Gregorio XIII (cui si deve la costruzione dell'edificio) e che ora appare nel logo della Pontificia Università Gregoriana. Ricordo, per inciso, che l'anno 1583 segna anche l'inizio della Missione gesuitica in Cina: Matteo Ricci giunge a Macao il 26 aprile 1582, ma è a Zhaoqing, dove egli arriva il 10 settembre 1583, che vengono costruite la prima casa e la prima chiesa dei Gesuiti in Cina: sono quindi anni cruciali, ove prende forma un'alleanza inedita per noi: quella tra scienza e religione.

Può stupire anche che a parlarvene oggi sia un'esperta di Teologia dogmatica e non uno storico. Verso il *dogma*, come verso la *Teologia* e la *Religione* si nutrono pregiudizi atavici: nell'odierno immaginario comune tali concetti appaiono infatti come il coacervo di tutto ciò che si considera immobile, statico, antistorico ed antiscientifico; essi sembrano più che altro richiamare il profilo di una Cattolicità chiusa al dinamismo della ragione che anima la scienza.

In realtà, se volessimo considerare l'apporto scientifico dei gesuiti in Cina e la sua relazione con Galileo dal solo punto di vista della storia delle scienze, a prescindere cioè dal riferimento alla fede ed alla religione, otterremmo l'effetto di una lettura scarna ed unilaterale dei fatti, senza giungere ad afferrarne l'anima, senza comprendere l'intenzione spirituale profonda che mosse gli eventi di quest'epoca.

Non si può infatti ignorare una contraddizione: mentre nella Cina pagana l'astronomia e le scienze matematiche sono strumento di incontro tra il Vangelo e una Cultura non cristiana, nell'Europa cristiana esse divengono teatro di uno scisma culturale che tuttora condiziona il confronto tra Fede e Scienza, tra Teologia e Scienza, tra Chiesa e Scienza.

È in questo quadro che ora vorrei entrare nel vivo del mio intervento cominciando da alcuni dati storici preliminari ed essenziali per la nostra riflessione.

1. Fatti che spiegano la relazione Galileo-Collegio Romano-Cina

Come giustamente ha rilevato Padre Pasquale d'Elia nel suo insuperato studio, la connessione tra Galileo e la Missione gesuitica di Cina passa concretamente per la persona di Johann Schreck, astronomo gesuita, inviato missionario in Cina: negli anni 1603-1604, egli aveva seguito le lezioni dello scienziato pisano a Padova; nel 1611, anno della sua entrata nella Compagnia, era divenuto con Galileo membro dell'Accademia dei Lincei. D'altra parte, la relazione Galileo-Schreck non va disgiunta dall'amicizia intercorsa tra Galileo e Padre Christof Klau, «il patriarca degli astronomi gesuiti» e maestro dello stesso Schreck. Nel 1587, poco più che ventenne, Galileo si reca da Clavio al Collegio Romano, Istituzione per la quale il Maestro, autorità ormai di fama internazionale, insegna dal 1565 *Mathesis cum geometria et astronomia*¹.

Clavio non è stato solo il maestro di Padre Matteo Ricci: egli è infatti figura di riferimento per quei gesuiti, astronomi professionisti, in seguito destinati alla Cina: oltre a Schreck, Sabatino de Ursis, Giacomo Rho, Adam Schall von Bell ed altri ancora [17, p. 115]. Clavio è inoltre padre di una generazione di geni, come Athanasius Kircher, suo studente, che, pur non essendosi mai recato in Cina, è autore dell'opera *China Illustrata* (1667), destinata ad avere una vastissima eco in Europa². A Clavio infine spetta il merito della realizzazione della riforma gregoriana del calendario (1582), mentre ai suoi discepoli missionari in Cina, poc'anzi citati, si deve invece quella del Calendario cinese.

Né infine si deve dimenticare il 18 maggio 1611, quando un Galileo più maturo, che l'anno prima aveva pubblicato il *Sidereus nuncius* e portava ora con sé a Roma il cannocchiale, viene trionfalmente accolto dai professori del Collegio Romano: artefice di questa sorta di *dies academicus galileianus* è ancora una volta l'ormai anziano Padre Clavio, affiancato da Padre Grienberger, suo successore ed erede intellettuale, sostenuto da altri prestigiosi maestri dell'Ateneo. Tra gli studenti gesuiti presenti all'evento vi è tra gli altri il giovane Adam Schall von Bell. Stando al Villoslada, la documentazione del tempo descrive questo evento come un vero e proprio trionfo [24, pp. 196-199].

Clavio si spegne nel 1612, prima dell'esplosione delle tensioni tra Galileo e il Santo Uffizio: la sua scomparsa non pregiudica affatto il prosieguo di relazioni cordiali tra l'astronomo fiorentino e il Collegio Romano, nemmeno negli anni più difficili. Sulla base di un'ampia documentazione, lo storico Villoslada e il sinologo D'Elia, entrambi gesuiti, hanno escluso qualsiasi coinvolgimento della Compagnia, specie del Collegio Romano, nella condanna di Galileo³.

Quindi, pur senza voler entrare nell'eterna diatriba sul caso Galileo, mi sembra però giusto ricordare in questa sede tre fatti: 1) il ruolo del Cardinale Bellarmino, gesuita, tra i maggiori teologi del Collegio Romano e della sua epoca: egli consiglia a Galileo di limitarsi a presentare il sistema copernicano *ex suppositione*, ossia come ipotesi in attesa di una conferma empirica⁴. Galileo purtroppo non seguirà questo consiglio, continuando a presentare la sua come una tesi assoluta. 2) la posizione dei Gesuiti sull'elio-

centrismo: D'Elia ha ritenuto pressoché certo che gli astronomi gesuiti, sia a Roma che in Cina, propendessero per la tesi copernicana giudicandola probabile ma senza mai tuttavia arrivare a sostenerla apertamente. Ciò per due motivi: per fedeltà alla Chiesa, data la condanna del Sant'Uffizio, e per la consapevolezza che l'eliocentrismo sollevava un problema teologico, non immediatamente risolvibile: quello di un nuovo approccio interpretativo delle Scritture⁵. In tempi molto più recenti, Standaert si è mostrato invece più cauto ricordando per altro come Clavio fosse convintamente tolemaico e Grienberger, suo successore, non avesse mai accolto la tesi copernicana come rappresentazione di una realtà fisica. I Gesuiti avrebbero optato per il sistema di Tico Brahe, giungendo molto più tardi, a partire dal 1757, a presentare l'eliocentrismo ormai legittimato dalla Chiesa⁶. Rispetto alle vicende di Cina, l'eliocentrismo non compare tra i temi più implicati nell'apostolato scientifico di Cina: la scienza galileiana si rende utile in relazione ad altre problematiche come il calcolo del tempo, la superficie della Luna, le osservazioni con il cannocchiale, il moto e la gravità ecc.

A prescindere quindi dalla questione dell'eliocentrismo nel caso Galileo, ci interessa invece sottolineare il duplice e indiretto ruolo giocato dal Collegio Romano nei confronti della scienza galileiana: in Roma, esercitando un chiaro influsso su Galileo, come sostiene Wallace [25]; in Cina, contribuendo a diffonderla attraverso i suoi ex-alunni. In effetti, il primo cannocchiale sul suolo di Cina è quello portato da Padre Schreck che lascia l'Europa il 31 marzo 1618 insieme a un nutrito gruppo di confratelli: si stima che essi si siano portati dietro qualcosa come 7000 volumi tra i quali certamente le opere di Galileo.

Per concludere questo breve *excursus* storico, a sfondo delle nostre prossime riflessioni, dobbiamo tuttavia segnalare un dettaglio importante: nonostante le reiterate richieste che Schreck rivolge a Galileo, prima di partire come pure dalla lontana Cina, affinché lo aiuti nel suo apostolato scientifico fornendogli documentazione ed informazioni utili, lo scienziato pisano di fatto si negherà fino all'ultimo [3, pp. 44-46].

Quando dunque si parla del rapporto Galileo-Cina occorre ammettere con franchezza che la diffusione della scienza galileiana in Cina è unicamente frutto dello sforzo dei missionari gesuiti e che è dunque solo grazie a loro che essa è entrata nel grande Impero⁷.

2. Religioni ac bonis artibus

Richiamate dunque alcune vicende, che spiegano la relazione Galileo-Cina, non abbiamo però ancora investigato l'anima e la ragione profonda di questi fatti che ci testimoniano una vera e propria alleanza tra scienza e religione. Per comprenderla dobbiamo prima di tutto riandare al motto del Collegio Romano *Religioni ac bonis artibus*.

2.1 La formazione impartita dal Collegio Romano

In effetti, esso rappresenta una sintesi geniale del modello educativo voluto da Sant'Ignazio per i Gesuiti: nella IV parte delle Costituzioni dell'Ordine (1540), egli infatti stila l'elen-

co delle scienze «che devono essere trattate nelle Università della Compagnia»⁸. In primo luogo e al vertice sta la Teologia, seguono le *artes* e le *scientiae naturales*: nel linguaggio del tempo, le arti corrispondono soprattutto allo studio della filosofia, mentre le scienze si rivolgono allo studio delle cose naturali. *Scientiae naturales* ed *Artes* hanno inoltre una caratteristica comune per Ignazio: sono strumento per un preciso “fine”. “Fine” è una parola chiave del vocabolario degli Esercizi di Sant’Ignazio che scrive:

L’uomo è creato per lodare, riverire e servire Dio nostro Signore, e, mediante questo, salvare la propria anima; e le altre cose sulla faccia della terra sono create per l’uomo, e perché lo aiutino a conseguire il fine per cui è creato [8, pp. 99-101].

Per Ignazio, il fine dell’uomo è Dio, le cose create sono invece per l’uomo: esse hanno il compito di aiutarlo a perseguire questo traguardo. Dio è evidentemente il vertice di questo movimento che partendo dal basso (le cose create) termina in Dio (il fine).

Coerentemente a questo impianto, il Fondatore dei Gesuiti attribuisce alle scienze naturali un ruolo propedeutico alla scienza teologica. Le scienze naturali come le Arti studiano infatti «le cose che sono sulla faccia della terra»: non hanno dunque come oggetto Dio né trattano del tema della soprannaturalità del destino umano. La loro funzione è invece duplice: esse «dispongono le menti alla Teologia, e servono alla perfetta conoscenza, e all’uso di essa...», e indirettamente, in questo modo, «per se stesse giovano allo stesso fine». Nella visione di Sant’Ignazio, Filosofia e Scienze naturali non possono perciò essere disgiunte dal fine principale, che è quello di cercare «sinceramente l’onore e la gloria di Dio». Le *Costituzioni* della Compagnia sottolineano implicitamente anche un altro aspetto: la Teologia è sì una scienza, ma avente come oggetto Dio, non il creato. Essa detiene perciò uno statuto specifico rispetto alle altre discipline: essa ha come riferimento precipuo il tema del destino soprannaturale dell’uomo ed è per questo «il mezzo più diretto» per «aiutare il prossimo nella conoscenza e nell’amore di Dio e nella salute dell’anima»⁹.

È in questo quadro che vanno compresi lo spirito e l’impostazione della cosiddetta *Ratio studiorum* della Compagnia di Gesù, i cui prodromi più remoti risalirebbero al 1549, ma la cui definitiva promulgazione avvenne nel 1599¹⁰. Il Collegio Romano, rappresenta la traduzione pratica di questo nuovo codice educativo: è l’Istituzione di riferimento per tutte le altre opere della Compagnia. «Forse in nessun altro Collegio, come a Roma, la *Ratio Studiorum* fu applicata con tanta esattezza...» – scrive in proposito Padre Villoslada [24, p. 100].

Al Collegio Romano, la disposizione delle scienze, l’ordine col quale vengono insegnate e studiate, riflette totalmente la struttura a forma piramidale, dal basso verso l’alto, disegnata da Sant’Ignazio nella IV parte delle *Costituzioni* [17, p. 120]. *Artes* e *Scientiae naturales* sono studiate per prime: le scienze matematiche fanno quindi parte del piano di studi del secondo anno di filosofia. La Teologia viene per ultima essendo al vertice di questa struttura piramidale, traguardo dell’*iter* di formazione.

Il sinologo gesuita Padre Standaert precisa che in questo assetto occorre tuttavia distinguere la formazione scientifica generica, da quella specialistica [17, p. 114]: Ricci chiede alla Compagnia astronomi professionisti perché egli a Roma ha ricevuto una formazione astronomica di base che, per la sua elevata qualità, giunge a stupire e convincere i cinesi, ma che non è sufficiente per risolvere problemi complessi come la riforma del calendario. Vi è poi da ricordare che Ricci parte per l'Oriente senza ancora aver compiuto i suoi studi di Teologia, effettuati poi a Goa in preparazione al suo ingresso in Cina (1578-1581).

La *Ratio studiorum* presenta una caratteristica specifica: il suo indirizzo apostolico. Infatti, la Compagnia di Gesù è stata istituita *ad fidei defensionem et propagationem*¹¹; il Collegio Romano venne a sua volta fondato *Causa Religionis*, come recita l'*incipit* dell'iscrizione incisa sulla prima pietra posata per la costruzione del nuovo edificio (11 gennaio 1582)¹². Come ci ricorda Standaert, col Collegio Romano si era inteso perseguire un obiettivo ambizioso: formare apostoli idonei di cui il Papa potesse disporre per la missione della Chiesa sia in Europa, lacerata dallo scisma Luterano, sia in Terre lontane, come la Cina¹³. Il Collegio Romano è, in un certo senso, il laboratorio intellettuale in cui prende forma un nuovo modello di missione che distingue la Compagnia dagli Ordini mendicanti di origine medioevale. I Gesuiti scelgono il centro in luogo della periferia, la città in luogo della campagna, Pechino, ove vivono le élite intellettuali di Cina, anziché le città minori¹⁴. L'opzione per la scienza è la conseguenza logica di questa innovativa strategia missionaria che si prefigge di arrivare al cuore dell'Impero, dalla cui conquista dipende l'adesione a Cristo dell'intero popolo cinese.

2.2. L'astronomia e le scienze matematiche nella missione gesuitica di Cina

Nella missione gesuitica di Cina la scienza giocò perciò un duplice ruolo, che caratterizza i due tempi dell'incontro tra i Gesuiti e la Cina:

1. inizialmente aiutò i missionari a guadagnare fiducia presso i cinesi e quindi a costruirsi uno spazio proprio in una società chiusa
2. divenne poi uno strumento di evangelizzazione a servizio della Religione vera: quella di Cristo.

Questa duplice funzione è più volte richiamata dagli stessi Gesuiti: Padre Philippe Couplet (1623-1693), scriveva:

Questa libertà di propagare la Religione cristiana senza dubbio devesi alla astronomia Europea per mezzo di cui, come ho detto altre volte ci siamo fatti largo appresso de' Grandi i/ quali ci hanno havuto in molta stima, e con questa habbiamo havuto campo/di promulgar la detta legge [6, p. 63].

«Farsi largo presso le autorità» corrisponde al primo stadio di questa strategia e pone al centro la socializzazione propedeutica all'annuncio; «aver campo per promulgare il Vangelo» è invece lo stadio dell'apostolato vero e proprio. La scienza avvicina gli uomini sul terreno della cultura e della conoscenza del creato, aiutando i cinesi

a superare gli steccati ideologici che li separano dal mondo esterno: si tratta di una fase necessaria dal valore propedeutico, perché predispone la strada all'annuncio del Vangelo.

Padre Parennin, in una lettera del 1735, sottolinea quanto già rilevato da Couplet: «Per meritare attenzione, si deve quindi acquistare credito nella loro mente, guadagnarsi la stima attraverso la conoscenza delle cose naturali», specificando che «Niente li [i Cinesi letterati] predispone meglio ad ascoltarci sulle sante verità del cristianesimo»¹⁵. Standaert puntualizza tuttavia che l'esigenza di una tale opzione per la scienza si afferma gradualmente: Ricci non partì da Roma con questo proposito, ma fu il contatto con i cinesi stessi ad orientarlo in questa direzione. La Scienza europea è, infatti, dapprima oggetto di curiosità: Ricci regala dei prismi in vetro di Murano e degli orologi a pendolo, oggetti sconosciuti che suscitano stupore al punto che il missionario viene preso inizialmente per un alchimista. Il passaggio dalla curiosità all'interesse ed al confronto scientifico avviene gradualmente: i cinesi imparano inizialmente a risituarsi rispetto al mondo, guardando una mappa che per la prima volta mostra loro la Cina in relazione all'estensione degli altri continenti. Un vero e proprio incontro con la scienza europea avviene quando i Gesuiti si mettono a tradurre libri di matematica ed astronomia [17 p. 116]. La scienza europea ha dunque inizialmente una funzione socializzante che esplicita a vari livelli che qui di seguito intendiamo brevemente illustrare.

2.2.1. Gli strati della funzione socializzante della scienza in Cina

a. *Scienza per 'fare amicizia'*

In molte sue lettere Matteo Ricci parla di una Cina serrata il cui muro di diffidenza è difficilmente valicabile¹⁶. Egli ha lasciato il suo *Heimat* sapendo di non farvi più ritorno ed è umano che, al di là dello zelo missionario, egli sia desideroso di costruirsi un tessuto di relazioni che lo aiuti a superare la nostalgia per la patria lontana e per gli affetti che ha lasciato. Scrive Ricci di questa nostalgia: «sarei disposto a sopportare per dieci volte le scomodità che si trovano nel viaggio, pur di stare un solo giorno con V.R. e gli altri miei vecchi amici»¹⁷. Non è casuale che anche agli occhi dei cinesi, Ricci appaia come colui che «sente il bisogno di cercare [amici]», definizione posta da Feng Yingjing a prefazione di una delle prime opere di Ricci in Cina, proprio dedicata al tema dell'amicizia¹⁸. A questo livello, la scienza concorre a soddisfare un bisogno molto umano, di natura psicologica, poter 'fare amicizia' significa anche entrare in una nuova comunità umana.

b. *Ruolo anti-ideologico della scienza gesuitica in Cina*

L'esigenza psicologica si fonde con quella sociologica di penetrare nel tessuto sociale, vincendo la diffidenza che i cinesi nutrivano verso il barbaro. In effetti, l'autoreferenzialità della cultura cinese costituiva una barriera ideologica, il cui superamento era assolutamente necessario. Infatti tutto ciò che di non autoctono si presentasse agli occhi dei cinesi era giudicato inferiore e privo di valore. Nelle *élites* si entrava per comu-

nanza di nascita e di religione ed i gesuiti non potevano esibire niente di tutto questo, appunto perché 'barbari' e perciò di basso rango. Parlando delle strutture sociali cinesi, Standaert sottolinea appunto il forte sentimento di gruppo costruito sul possesso condiviso di requisiti per lo più autoctoni, ovviamente preclusi a un europeo [19, pp. 16-19].

L'eccellenza della scienza europea riesce quindi a mettere almeno in parte in crisi il principio ideologico della superiorità culturale cinese e crea le condizioni per l'ingresso dei gesuiti in gruppi sociali esclusivi: la *novità delle nostre scienze*, per usare un'espressione di Ricci, arriva a stupire in tal grado gli interlocutori del missionario che essi, ad un certo punto, non hanno più neppure il coraggio di definire 'barbara' la terra da cui egli proviene [16, p. 301]. Come avrebbe scritto nel 1701 Padre de Chavagnac a Padre Le Gobien:

Le scienze d'Europa, in proporzione a quanto vi si eccelle, predispongono particolarmente i grandi a trascurare il supremo disprezzo nutrito per tutto ciò che viene dagli stranieri¹⁹.

Non è perciò casuale che Ricci, «fondatore di questa missione abbia trovato per primo sepoltura in questo regno», prerogativa finora negata agli stranieri [16, p. 649]. La sua saggezza lo ha reso così familiare e degno agli occhi dei cinesi da meritargli questo privilegio, che verrà accordato in un crescendo di onori anche ai suoi successori fino alla sponsorizzazione imperiale delle onoranze funebri che verrà tributata a Padre Adam Schall, l'allievo di Clavio [21, pp. 184-206].

La cultura laica è pronta a riconoscere la funzione socializzante della scienza, così come la abbiamo poc'anzi descritta, mentre è probabile che essa sia assai più refrattaria nell'ammettere come elemento positivo la funzione propedeutica che la scienza esercitò in Cina nei confronti della Religione cristiana. Inerpichiamoci dunque su questo difficile versante della nostra esposizione.

2.2.2 Scienza e religione cristiana

Jacques Gernet afferma senza ombra di dubbio che gli insegnamenti scientifici dei Padri Gesuiti costituivano una vera e propria introduzione all'insegnamento religioso, anche se poi altrettanto fermamente sostiene il fallimento di questa impostazione, giacché i cinesi avrebbero ritenuto solamente le scienze, rigettando invece la religione [7, pp. 82-83]. Avendo fatto del caso Galileo il vessillo dell'oscurantismo della Chiesa e del Cattolicesimo siamo probabilmente refrattari all'idea che la scienza possa servire alla causa della religione. In questo modo però sottovalutiamo il fatto che la scienza di Galileo, il suo cannocchiale, le acquisizioni scientifiche contenute nei suoi libri, aiutarono indirettamente la diffusione della Religione cristiana in Cina. Prescindendo quindi dal giudizio di Gernet, dobbiamo invece chiederci quale sia l'interpretazione di *religio* sostenuta dai maestri del Collegio Romano e, di conseguenza, dai missionari gesuiti di Cina.

a. *La religione come ritorno a Dio*

Infatti, pur avendo già una prima risposta orientativa dalla struttura piramidale della *ratio studiorum* gesuitica, plasmata sul pensiero di Ignazio, tuttavia non siamo ancora giunti a chiarire completamente la prima parte del motto, la cui formula non è *Theologia ac bonis artibus* ma *Religioni ac bonis artibus*. Se si avesse *Theologia*, in luogo di *Religio*, il motto apparirebbe perfettamente coerente con il programma educativo del Collegio Romano dove si insegnava *Theologia, Artes e Scientiae naturales*. Nella realtà però, il motto presenta la parola *Religio*, termine che non designa una scienza: la presenza di questa parola anche nell'attuale logo della Pontificia Università Gregoriana, come pure il fatto che essa sia stata scolpita nella prima pietra del Collegio Romano rinvia ad un significato che necessariamente non coincide con quello di *theologia*.

Francisco Suarez, uno dei più importanti teologi della Compagnia di Gesù, docente di *Theologia Scolastica* presso il Collegio Romano tra il 1580 ed il 1585, sottolineava la poliedricità di significati ed interpretazioni della voce *religio* nella stessa Tradizione cristiana. Egli dichiarava apertamente di preferire e ritenere più esauriente la definizione classica: religione come ciò che ci unisce a Dio (*Mihi magis placet ut religio dicatur, quia ipsamet religat homines Deo. [...] Religio enim primum omnium unit nos Deo*)²⁰.

Suarez di per sé non aggiunge nulla di nuovo, ma fa sua una dottrina che da Agostino, in età patristica, penetra nel Medioevo per essere ulteriormente articolata da San Tommaso, di cui Suarez è tra i più illustri commentatori di Epoca Moderna. *Religio*, dunque, da *re-ligare*: proprio l'Aquinate aveva affermato che *religatio* significava legare nuovamente, ricostituire un vincolo che ha iniziato ad allentarsi o che si è perduto²¹. Ogni creatura, anche l'uomo, venendo all'esistenza inizia anche a distanziarsi dal suo creatore, distacco che evidentemente presenta due facce: quella positiva dell'autonomia creaturale, quella negativa del peccato come distacco da Dio. L'interpretazione di Tommaso esplicita dunque la ricchezza del dato patristico: religione è infatti il movimento di ritorno dell'uomo verso Dio, un nuovo ricongiungimento: essa costituisce il primo vincolo (*ligatio*) con cui l'uomo è legato a Dio mediante la fede²². Religione è dunque relazione vitale con Dio.

Questa spiegazione pone il motto del Collegio Romano, come pure l'indirizzo apostolico dei suoi insegnamenti e, in ultima analisi, anche l'apostolato scientifico in Cina, in una luce ben diversa da quella che noi tenderemmo a proiettare, perché noi conferiamo a religione un senso svalutativo, perché siamo figli dell'Illuminismo. La religione è per noi subordinazione ai dogmi, stato di minorità, limitazione della propria libertà, oscurantismo, chiusura al progresso. Anzi, guardando al ruolo socializzante giocato dalla scienza in Cina ci sentiamo confortati nella tesi che la scienza è invece l'unica vera saggezza, capace di umanizzare e riunire gli uomini sotto una medesima *ratio universi*, mentre giudichiamo la religione, specie quella cristiana, come il principale fattore di divisione e di conflittualità, forriera di intolleranza.

Vorrei quindi puntualizzare che la strada per recuperare il senso autentico di Religione, che è poi la ragione ultima a fondamento di questa alleanza con le scienze avvenuta in Cina, proprio in epoca galileiana, non si può trovare nel *sapere aude* di

Kantiana memoria, ma nella riscoperta della visione cristiana dell'uomo, che troviamo in filigrana alla spiegazione di San Tommaso: nel darci l'esistenza, come giustamente egli ricorda, Dio ci rende autonomi. Una tale autonomia è un diritto costitutivo dell'uomo, il suo esercizio nelle cose temporali, ove rientra anche la stessa ricerca scientifica, deve però costantemente tendere ad una *religatio*, al ricongiungimento con Dio. Il modello di autonomia che al contrario domina la nostra cultura verte al distacco, alla rottura relazionale col creatore, alla tirannide della ragione, alla scienza senza più riferimenti etici, senza più anelito ad una *religatio cum Deo*, alla cancellazione del pensiero metafisico e della categoria di grazia e soprannaturale. Questo distacco dal creatore produce peccato: la scienza è usata contro l'uomo perché affrancata da Dio.

b. La questione della verità della religione cristiana

La lettura di Suarez offre un altro spunto interessante. Egli ripropone infatti la distinzione tra vera e falsa religione: falsa *ex parte cognitionis*, perché vi si adora come Dio ciò che Dio non è. Vera è invece quella religione fondata *in vera fide*²³. La garanzia di verità non già proviene dalla libera iniziativa del credente e dalla sua fede, non è frutto di un suo giudizio veritativo, ma è data da Dio, il vero ed unico Dio. Vera religione si dà quando orientata e fondata sul vero ed unico Dio, rivelato da Cristo che eleva l'uomo alla dignità di figlio ed amico di Dio in un'autentica *religatio*. Se dunque religione può essere solo quella in grado di stabilire un'autentica *religatio* con Dio, da un punto di vista teologico (ricordiamo la spiegazione di San Tommaso), essa coincide unicamente con la Religione cristiana, istituita da Cristo. Le altre sono semplicemente delle *sectae*. Questa distinzione è la stessa che ritroviamo nella terminologia almeno delle prime generazioni di missionari gesuiti in Cina: costoro si mantengono nel solco del vocabolario tradizionale. Vale la pena di ricordare che, fino a metà del 1400, *religio* ha quindi un solo senso: *Religio christiana*.

Quest'accezione ristretta, fondata su ragioni teologiche, permane nel linguaggio ecclesiale fino almeno all'Illuminismo; nella cultura rinascimentale, tuttavia, si verifica una graduale estensione di significato, cosicché religione viene a designare anche quelle che in ambito ecclesiale si continuano a chiamare o 'sette' o 'Leggi'. Analogamente alla Religione di Cristo che ha per dottrina la *Lex Evangelii*, anche le sette infatti hanno ciascuna la loro *Lex*. L'accezione estesa ha finito col prevalere nel linguaggio, anche ecclesiale, con la conseguenza che in seno alla cristianità è andato purtroppo perduto il contenuto teologico della prima e più antica accezione, quella che ruotava attorno al concetto di *religatio*.

Se dunque torniamo all'insegnamento del Collegio Romano come pure all'alleanza tra religione e scienze matematiche che da esso scaturisce per la Cina, è probabile che l'intellettuale contemporaneo provi orrore al solo pensiero che in quel motto si siano accostate scienze e religione, subordinando le prime a una religione che di fatto pretende di essere l'unica vera e si pone sopra alle altre. Non meno ribrezzo può suscitare il pensiero che esse in Cina abbiano servito la causa di missionari che rifiutavano come

false tutte le altre religioni dell'umanità.

c. L'apostolato delle scienze nel confronto inter-religioso

In Cina la questione della verità della religione si impone su due fronti anche se in modo latente al dibattito scientifico: il primo è, per così dire, un *prodotto di importazione*. Pochi sanno che, in connessione alla discussione sulla riforma del calendario, che implicava una misurazione esatta del tempo, i Gesuiti lottano anche contro degli astronomi cinesi di fede musulmana. L'Islam era infatti presente da tempo nell'Impero. Conquistare la considerazione dell'Imperatore con un computo più esatto di quello esibito dagli esperti musulmani non era solo un servizio alla verità della scienza europea, ma anche a quello della sua Religione²⁴.

Più importante del confronto con l'Islam, è certamente l'analisi della religiosità cinese. Da una lettera di Ricci, del 1584, apprendiamo che «in Cina non esiste una vera religione», ma anche che «i cinesi sono divisi in tre sette»²⁵. Il Missionario si riferisce a Buddisti, Taoisti e Confuciani, distinzione che si ritrova anche altrove nei suoi scritti [16, cap. X, pp. 90-106]. È però noto che Ricci giudicasse assai più positivamente la tradizione confuciana di quella taoista e buddhista [4, pp. 91-93].

Guardando al dopo-Ricci, in effetti, prende sempre più corpo la distinzione tra forme degenerate di religione, come idolatria e superstizione, la cui causa è ricondotta all'ingresso in Cina di Buddhismo e Taoismo, e *Religio civilis* plasmata sugli insegnamenti confuciani, quest'ultima considerata in modo assai più positivo²⁶. I letterati, in particolare, fanno prevalente capo al neoconfucianesimo totalmente refrattario a Buddhismo e Taoismo. Verso la fine del Seicento, il matematico gesuita LeComte, inviato in Cina, parla di un ateismo raffinato, come reazione plausibile alla degenerazione religiosa introdotta in Cina da queste due sette. È un ateismo ove i suoi seguaci – scrive Le Comte «danno alla natura quasi tutte le qualità che noi riconosciamo in Dio» [12, pp. 380-381]. Il tema della natura è in effetti il perno della sapienza neoconfuciana che per le sue cerimonie presenta molte analogie con ciò che normalmente caratterizza il linguaggio e la prassi di una religione. Di qui l'idea, da parte dei Gesuiti, di coniare il concetto di *religione civile/culto civile* in riferimento alla setta neoconfuciana sebbene in essa vi si professi un chiaro ateismo con al centro il culto della natura.

Siamo spontaneamente portati a ricollegare termini come “ateismo”, “religione civile”, “natura”, al movimento di idee che caratterizza il pensiero europeo di quei secoli, dominato da correnti filosofiche anticristiane come il deismo. Sarebbe però un errore: l'ateismo cinese non si opponeva alla religione, ma alle sue degenerazioni: resta perciò una saggezza potenzialmente aperta alla fede. Da parte dei Gesuiti non vi è quindi alcuna intenzione di esaltare, attraverso la Cina, l'ateismo degli intellettuali europei.

Questa importante sfumatura non sarà purtroppo compresa in Europa né dai giansenisti, che accuseranno i Gesuiti di connivenza con gli atei; né dai deisti che vedranno nelle entusiastiche relazioni gesuitiche sulla *religio civilis* di Cina la prova che può esistere una religione non religiosa, fondata sul culto della natura; né da intellettuali come

Voltaire che vedranno nella saggezza cinese la prova che tutte le religioni sono vere; né dagli ambienti cattolici più conservatori, come dagli Ordini mendicanti che contestano il metodo di adattamento praticato nelle missioni gesuitiche di Cina, giudicandolo troppo tollerante verso cerimonie e pratiche, che essi giudicano pura idolatria.

Dico per inciso, senza potermi soffermare: la fine dell'esperimento missionario di Cina è in buona parte da ascrivere al complesso intreccio di fattori di ordine storico, ideologico e politico che dominano la scena europea tra Seicento e Settecento, non quindi all'opzione della scienza che portò anche delle conversioni tra gli intellettuali cinesi.

Dobbiamo però prescindere da queste considerazioni, perché ci porterebbero troppo lontano dal nostro tema, a proposito del quale possiamo in effetti riconoscere che la centralità della natura, la sua divinizzazione da parte delle *élites* intellettuali neo-confuciane giustificano una volta di più l'opzione gesuitica per la scienza: lo studio della natura può veritabilmente schiudere la via della conoscenza di Dio come ben si arguisce già da una delle prime lettere di Matteo Ricci, che nel 1584, un anno dopo il suo ingresso in Cina, auspicava che Dio volesse aggiungere «alla luce del loro natural ingegno... quella della nostra Santa Fede Cattolica»²⁷.

3. Conclusione

I riferimenti al motto del Collegio Romano e alla sua pedagogia sono dunque più che mai essenziali per comprendere appieno il ruolo giocato dalla scienza galileiana in Cina. Possiamo quindi con ragione parlare di apostolato scientifico *causa religionis* senza tuttavia che ne sia mai risultata depauperata l'autonomia della scienza.

L'alleanza tra scienza e religione concepita dai Gesuiti in Cina non costituisce un caso unico solo per la storia delle Missioni, ma anche per quella delle scienze, anche per la sua collocazione temporale: l'epoca in cui visse Galileo. Suona dunque come una provocazione per noi, così assuefatti all'idea dell'autonomia assoluta della scienza anche rispetto all'etica. Il Novecento, ma anche tempi più recenti ci mostrano che là dove la scienza ha assolutizzato se stessa, si è perso sovente di vista il riferimento al bene dell'uomo su questa terra ed al suo destino soprannaturale in quanto creatura di Dio.

Con ciò non intendo affermare che l'esercizio della scienza debba essere regolato dalla religione: i maestri del Collegio Romano insegnavano la scienza come scienza, con le sue regole, le sue modalità specifiche, distinguendola e distanziandola intenzionalmente dallo studio della Teologia, che giungeva per ultimo.

Il matematico Odifreddi ha recentemente asserito sul web, nel sito dell'Università Bocconi di Milano, che Matteo Ricci cercò – cito – «di contrabbandare il cristianesimo come il fondamento della scienza occidentale»²⁸. Niente di più falso e inconsistente si potrebbe affermare a proposito della Missione di Cina, come provano i dati da me offerti nel corso di questo intervento. Gli scienziati gesuiti furono scienziati nel senso stretto del termine, come prova del resto l'amicizia tra Galileo e Clavio. Essi tuttavia erano stati educati a considerare lo studio delle scienze non disgiunto dal problema del destino so-

prannaturale dell'uomo: videro perciò nelle perfezioni della natura e nelle matematiche dell'universo la strada più idonea per condurre gli intellettuali cinesi a scoprire gradualmente l'origine in Dio di queste straordinarie armonie naturali, perché, come ci ricorda il salmo 19: «I cieli narrano la gloria di Dio e l'opera sua proclama il firmamento».

L'ateismo raffinato dei Letterati di Cina, nemico della superstizione e dell'idolatria, ma non della religione autentica, poteva in effetti rappresentare un varco alla fede e al nascere di una nuova *religatio* con Dio. Questa intuizione resta permanentemente valida aprendo ancor oggi nuovi confini che si potrebbe tornare a percorrere.

NOTE

¹ Vedi [24, p. 195, p. 335]. Sul Collegio Romano vedi anche [5, pp. 571-599], [13, pp. 16-32]. Riguardo a Clavio vedi Kraye, A., *Clavius und die Jesuitenastronomie* in [11, pp. 72-81].

² Vedi [10]. L'edizione da noi consultata è una ristampa anastatica del 1966 (Graphischer Betrieb Heinz Saamer Frankfurt am Main West-Germany).

³ [3, pp. 18-20], vedi specialmente nota n. 3, p. 19:

È vero che Galileo, nei suoi ultimi anni, affermava che la causa della lotta che gli veniva fatta non era per le sue teorie, ma d'esser caduto in disgrazia dei gesuiti. Però l'affermazione non corrisponde al vero. Molti gesuiti lo stimavano e desideravano sinceramente la sua amicizia. Basti citare i nomi di Grienberger, Grassi, Kircher [24, pp. 212-213].

⁴ Bernard, H., *L'encyclopédie astronomique du Père Schall* in *Monumenta Serica* 3, n. 54 del 1938, testo completo pp. 35-77 e pp. 441-527:

Il [Saint Robert Bellarmine] ne voyait aucun inconvénient à présenter le système de Copernic comme une hypothèse; pourtant, à son avis, la démonstration du système n'avait été faite par personne; si jamais on la faisait, 'il faudrait apporter beaucoup de circonspection dans l'interprétation des passages de l'Écriture qui paraissent contraires, et dire que nous ne comprenons pas, plutôt pas que de tenir pour faux ce qui est démontré.

⁵ Vedi [3, VIII]:

Senza il precetto del 1616 e specialmente senza la condanna del 1633, essi lo avrebbero seguito anche nelle loro conclusioni in favore del sistema eliocentrico e ciò, non soltanto nella loro opinione privata, come verosimilmente già fecero, ma anche nelle loro pubblicazioni scientifiche in cinese.

⁶ Vedi Standaert, N., *Astronomy*, [18, pp. 713-717], testo completo: pp. 711-737.

⁷ «Aux instances répétées de Terrentius en faveur de la Chine, Galilée ne répondit rien» in Bernard, H., *L'encyclopédie astronomique du Père Schall*, p. 65.

⁸ Vedi *Constitutiones*, pars quarta cap. XII, Romae: Apud Curiam Praepositi Generalis Societatis Iesu 1995, 171 [450].

⁹ 'Costituzioni – parte IV cap. XII' in *La ratio studiorum con la parte quarta delle Costituzioni della C. di G. ed appendici*. Introduzione, traduzione e note di Olinto Marella, pp. 56-57 (nn. 1-3).

Sic etiam, quoniam [C] Artes vel Scientiae naturales ingenia disponunt ad Theologiam, et ad perfectam cognitionem et usum illius inserviunt, et per se ipsas ad eundem finem iuvant; qua diligentia par est, et per eruditos praeceptores, in omnibus sincere honorem et gloriam Dei quaerendo, tractentur.

¹⁰ *La ratio atque institutio studiorum* del 1599 è infatti la prima ad essere ufficialmente approvata e promulgata da un Generale, il Padre Acquaviva: vedi [2, § 17, pp. 46-50]. Vedi anche Julia, D., *Généalogie de la «Ratio studiorum»* in [9, pp. 115-130].

¹¹ Vedi «*Formulae instituti societatis Iesu I*» in *Constitutiones societatis a congregationi generali XXXIV annotatae*, Apud Curiam Praepositi Generalis Societatis Iesu, Romae 1995, p. 4.

¹² «*Religionis Caussa (sic!) Gregorius XIII Pont. Max. Bon. Collegii Rom. Soc. Iesu apliss. Reditu Aucti Aedes ad Omnes Nationes optimis Disciplinis erudiendas aere dato extruens primum hunc in fundamenta lapidem de more coniecit MDLXXXII*» [24, p. 149].

¹³ [17, p. 112]:

One of the reasons for Ignatious to found the Roman College, was that this institution would facilitate the Pope to find able and learned persons who could be given a mission. 'Mission' had a very concrete meaning, and meant for many to be sent (for ever) to a distant country, both in Europe or elsewhere in the world. Consequently, the college was soon called Collegium universale and omnium nationum Semnarium

¹⁴ Vedi [19, pp. 13-16]. Vedi anche dello stesso autore [20, pp. 352-361].

¹⁵ Lettera da Padre Parennin, missionario della Compagnia di Gesù, al Signor Dortous de Mairan, dell'Accademia Reale delle Scienze. Pechino, addì 28 settembre 1735, in [1, pp. 339-340]:

Cancellerei, signore, tutto ciò che ho l'onore di scrivervi, se indirizzassi la mia lettera a una persona illuminata meno di voi, la quale forse mi rimprovererebbe dicendo che a un missionario si addice soltanto l'annuncio della fede ai miscredenti, senza perdite di tempo per parlare di fisica e di semplici curiosità. A un simile rimprovero risponderai ciò che l'esperienza ha insegnato a tutti i vecchi missionari: se si tratta di predicare ai grandi e ai letterati di questa nazione, non si può iniziare con i misteri della nostra santa religione. Persuasi come sono che gli stranieri non vantino in campo religioso conoscenze che siano paragonabili alla loro grande dottrina, essi ci ascoltano un istante e poi portano il discorso su altro argomento. [...] Per meritare attenzione, si deve quindi acquistare credito nella loro mente, guadagnarsi la stima attraverso la conoscenza delle cose naturali, che essi in gran parte ignorano e che tuttavia sono curiosi di apprendere. Niente li predispone meglio ad ascoltarci sulle sante verità del cristianesimo.

¹⁶ «Stanno i grandi molto ben con noi e vanno perdendo la paura che hanno di forastieri, e molti dicono che siamo quasi quasi come loro, il che non è puoco in nazione tanto serrata e superba...» Lettera di M. Ricci al Padre Claudio Acquaviva S. I. Preposito Generale (Zhaoqing, 20 ottobre 1585), in [14, p.100].

¹⁷ Lettera di Matteo Ricci al Padre Gian Pietro Maffei S. I. – Lisbona (Goa, 1 dicembre 1581), in [14, p. 40].

¹⁸ Prefazione per la stampa dell'*Amicizia* [di Feng Yingjing] in [15, p. 53].

¹⁹ Lettera da Padre de Chavagnac a Padre Le Gobien (Addì 30 dicembre 1701) in [1, p. 59].

²⁰ Suarez, F., *De natura et essentia religionis* cap. I n.7, in [22, p. 5]

²¹ Thomas Aquinas, *Contra impugnantes dei cultum et religionem*, cap. I, § 1, in [23, p. A 53]:

Ut autem religionis naturam cognoscere valeamus, huius nominis originem inquiramus. Nomen igitur religionis, ut Augustinus in libro De vera Religione innuere videtur, a religando sumptum est.[...] ...religatio iteratam ligationem importans ostendit ad illud aliquem ligari cui primo coniunctus fuerat et ab eo distare incepit. [...] Et ideo Augustinus De vera religione dicit: 'Religet nos religio uni omnipotenti Deo' [...]

²² Thomas Aquinas, *Contra impugnantes dei cultum et religionem*, cap. I, § 1, in [23, p. A 53]:

[...] sed religatio iteratam ligationem importans ostendit ad illud aliquem ligari cui primo coniunctus fuerat et ab eo distare incepit Et quia omnis creatura prius in Deo existit quam in se ipsa et a Deo processit, quodammodo ab eo distare incipiens secundum essentiam per creationem, ideo ad ipsum Deum religari debet cui primo coniuncta fuerat etiam antequam esset, ut sic 'ad locum unde flumina revertantur [...]. [...] Et ideo Augustinus De vera religione dicit: 'Religet nos religio uni omnipotenti Deo' [...]

²³ Vedi Suarez, F., *De natura et essentia religionis* in [22, cap. II, n. 1-7, 6-9]

²⁴ Henri Bernard illustra con dovizie di particolari le lotte ingaggiate dagli avversari dei missionari stranieri per impedire che le loro teorie guadagnassero credito presso l'Imperatore: vedi Bernard, *L'encyclopédie astronomique du Père Schall*, 453ss.

²⁵ Lettera di Matteo Ricci a Gianbattista Román – Macao (Zhaoqing, 13 settembre 1584) in [14, p. 84]

²⁶ Vedi [12, pp. 365-367]. A proposito del contributo scientifico offerto dai gesuiti di origine francese, vedi Du Sh-ran and Han Qi, *The contribution of french Jesuits to chinese science in the seventeenth and eighteenth centuries* in *Impact of science on society* (1992) pp.167, 265, 275.

²⁷ Lettera di Matteo Ricci a Gianbattista Román – Macao (Zhaoqing, 13 settembre 1584) in [14, p. 76]

²⁸ Scrive Odifreddi su <http://matematica.unibocconi.it/odifreddi/odifreddiricci.htm>:

Il Ricci cercò di contrabbandare il cristianesimo come il fondamento (teo) logico della scienza occidentale e di usare i successi di questa (ad esempio, la superiore capacità predittiva delle eclissi) come prove della validità di quella: un evidente *non sequitur* al quale i cinesi non abboccarono, facendo giustamente rilevare che "le sue sofisticate argomentazioni eran o solo intelligenti giochi di parole".

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Lettere edificanti e curiose di missionari gesuiti dalla Cina (1702-1776)*, Ugo Guanda Editore, Parma 2008, (ed. originale francese: *Lettres édifiantes et curieuses de Chine par des missionnaires Jésuites*, Garnier – Flammarion 1978).
- [2] Bertrán-Quera, M., S. I., *La pedagogia de los Jesuitas en la ratio studiorum. La fundación de colegios. Orígenes, autores y evolución histórica de la ratio. Análisis de la educación, caracterológica e intelectual*, Universidad Católica del Tachira-Universidad Católica Andrés Bello, Caracas 1984.
- [3] D’Elia, P., *Galileo in Cina. Relazioni attraverso il Collegio Romano tra Galileo e i gesuiti missionari in Cina (1610-1640)*, Apud Aedes Universitatis Gregorianae, Romae 1947.
- [4] Duteil, J.-P., *Le rôle des Jésuites en Chine*, αQ éditions Arguments, Paris 1994.
- [5] Fois, M., *Il Collegio Romano: l’istituzione, la struttura, il primo secolo di vita*, *Roma Contemporanea*, 3/3, 1995, pp. 571-599.
- [6] Gatta, S., *Il natural lume de Cinesi. Teoria e prassi dell’evangelizzazione nella Breve Relatione di Philippe Couplet (1623-1693)*, in *Monumenta Serica* 37, Steyler Verlag, Sankt Augustin 1998.
- [7] Gernet, J., *Chine et christianisme. Action et réaction*, Gallimard, Paris 1982.
- [8] Ignazio di Loyola, *Esercizi Spirituali. Ricerca delle fonti*, a cura di P. Schiavone, Edizioni San Paolo, Cinisello Balsamo (Mi) 1995.
- [9] Julia, D., *Les Jésuites à l’âge baroque 1540-1649*, sous la direction de Luc Giard et Louis de Vancelles, J. Millon, Grenoble 1996 (pp. 115-130).
- [10] Kircher, Ath., *China monumentis qua sacris & profanis nec non variis naturae & artis spectaculis, Aliarumque rerum memorabilium argumentis illustrata*, Amstelodami: Apud Jacobum à Meurs, in fossa vulgò de Keysergracht, 1667.
- [11] Krayer, A., *Mathematik im studien plan der Jesuiten*, Franz Steiner Verlag, Stuttgart 1991.
- [12] Le Comte, L., *Un Jesuite à Pékin. Nouveaux memoires sur l’état présent de la Chine 1687-1693*, Phébus, Paris 1990.
- [13] Pozo, C., *La facoltà di teologia del Collegio Romano nel XVI secolo*, *Archivum historiae pontificiae*, 29, 1991, pp. 16-32.
- [14] Ricci, M., *Lettere (1580-1609)*, a cura di P. Corradini e F. D’Arelli, Quaderni Quodlibet, 11, Quodlibet, Macerata 2001.
- [15] Ricci, M., *Dell’Amicizia*, a cura di F. Mignini, Quodlibet, Macerata 2005.
- [16] Ricci, M., *Della entrata della Compagnia di Gesù e Christianità nella Cina*, Quaderni Quodlibet, 10, Quodlibet, Macerata 2006.
- [17] Standaert, N., *The Roman College and the mission mutual influence and interaction in Atti del Solenne Atto Accademico del 450° Anniversario della Fondazione del Collegio Romano 1551-2001* (Roma, 4-5 aprile 2001), pp. 111-126.
- [18] Standaert, N., *Handbook of christianity in China I: 635-1800*, Brill, Leiden –

Boston – Köln 2001.

- [19] Standaert, N., *L'«Autre» dans la mission. Leçons à partir de la Chine*, Lessius, Bruxelles 2003.
- [20] Standaert, N., *The Jesuits. Cultures, sciences, and the arts, 1540-1773*, W. O.'Malley, G. A. Bailey (a cura di), University of Toronto Press, Toronto-Buffalo-London 1999.
- [21] Standaert, N., *The interweaving of rituals. Funeral in the cultural exchange between China and Europe*, University of Washington Press, Washington 2008.
- [22] Suarez, F., De natura et essentia religionis, in *Opera Omnia*, Vol. XIII, Apud Ludovicum Vivès, Bibliopolam Editorem, Paris 1859.
- [23] Thomas Aquinas, Contra impignatores Dei cultum et religionem, in *Opera Omnia*, Vol. XLI, Ad Sanctae Sabinae, Romae 1970.
- [24] Villoslada, R. G., *Storia del Collegio Romano dal suo inizio (1551) alla soppressione della Compagnia di Gesù (1773)*, Apud Aedes Universitatis Gregoriana, Romae 1954.
- [25] Wallace, W. A., *Galileo and his sources. The heritage of the Collegio Romano in Galileo's science*, Princeton University Press, Princeton 1984.

L'ASIA E L'EUROPA AL TEMPO DI GALILEO: L'ALTRO 'NUOVO MONDO'

ROBERTO PERUZZI

Dipartimento di studi sull'Asia Orientale, Università di Venezia

1. Nuove vie e nuovi mondi

Con la caduta di Costantinopoli nel 1453 e l'affermarsi dell'impero Ottomano nel Mediterraneo orientale, le tradizionali vie di comunicazioni con l'Asia si trovarono a essere sotto il saldo controllo della nuova potenza e dei suoi mercanti. Gli arabi non avevano mai costituito un vero ostacolo alle relazioni commerciali degli europei, al contrario avevano rappresentato un importante veicolo di trasmissione delle conoscenze e delle informazioni riguardanti il continente asiatico, oltre a svolgere un ruolo di mediazione e, talvolta, di compartecipazione ai traffici che Genova o Venezia intrattenevano con i loro territori. Ma i turchi, rappresentando un potere centralizzato e in ascesa, pur non interrompendo le relazioni economiche con i mercanti italiani, indirizzarono la loro politica verso un controllo diretto del commercio, tale da favorire le corporazioni mercantili del proprio impero e da garantire un flusso costante di liquidità alle casse dello stato attraverso una serie di dazi e licenze per gli europei che avessero voluto acquisire quei prodotti che dall'Oriente raggiungevano le coste del Mediterraneo. Prodotti di lusso e di alto costo: le spezie, innanzitutto, e tra queste il pepe, ma anche la seta e oggetti, lavori di oreficeria, o tessuti che costituivano costose ed eccentriche rarità per i mercati d'Occidente. L'affermazione della nuova potenza portò dunque a un innalzamento dei prezzi di tali prodotti a tutto vantaggio dell'Impero Ottomano e delle città italiane che continuarono a svolgere le loro attività, sebbene in un nuovo contesto per loro meno redditizio e più difficile¹.

La nuova situazione rendeva chiara ai regni affacciati sull'Atlantico la necessità di liberarsi da questo duplice controllo esercitato sui traffici mediterranei. Trovare altre vie per il continente asiatico, e per il miraggio delle sue infinite ricchezze, diventava un fattore vitale della loro politica e, poiché la posta in gioco era alta, si poteva tentare di seguire anche le vie più rischiose o quelle fino ad allora ritenute più improbabili. Ad esempio, finanziare Colombo nella ricerca di una via occidentale al continente, fondata su considerazioni scientifiche non meno che ispirata da suggestioni bibliche o legate alle letture degli autori greci e arabi o a leggende, come quella della navigazione di San Brandano [13, pp. 17-40]. Oppure finanziare il viaggio verso sud di Vasco de Gama nel 1497, e il suo tentativo di trovare una via per l'India circumnavigando l'Africa, sulle tracce di antiche memorie di spedizioni e peripli portati a termine da navigatori fenici,

e sulla più concreta esperienza del viaggio con cui Bartolomeo Diaz, pochi anni prima, aveva superato il Capo di Buona Speranza.

Nei cinque anni compresi tra il viaggio di Colombo e quello di Vasco de Gama dovremmo collocare l'inizio di quel processo di interconnessione planetaria delle relazioni tra gli uomini, gli stati, le economie e le conoscenze, che solo cinque secoli più tardi sarà chiamato "globalizzazione".

Se il navigatore genovese, pensando di aver raggiunto le propaggini orientali del continente asiatico, aveva scoperto un 'nuovo mondo', Vasco de Gama aveva raggiunto quello che era stato il vero obiettivo di entrambi: nel 1498 sbarcando a Calicut aveva per primo trovato una via per l'India e per le 'isole delle spezie' e, allo stesso tempo, annullato il vantaggio storico di cui l'area mediterranea aveva goduto nelle relazioni con l'Asia.

2. I portoghesi e la 'volontà di Dio'; gli olandesi e la volontà della Compagnia delle Indie

L'India, e il continente per cui si era aperta una via diretta, erano però essi stessi qualcosa di nuovo e inaspettato per i primi europei che vi giunsero. Re Manuel del Portogallo al ritorno di Vasco de Gama cercò di ottenere subito dal Papa una conferma formale di quanto contenuto nella bolla papale *Romanus pontifex* che nel 1454 aveva garantito i diritti di conquista e commercio su Etiopia, Persia e India a re Alfonso, suo predecessore. Uno dei passaggi della bolla forse può più efficacemente rappresentare l'aspettativa e l'orientamento portoghese verso le terre appena raggiunte:

(Si accorda) [...] piena e completa facoltà al re Alfonso di invadere, ricercare, catturare, conquistare e soggiogare tutti i Saraceni e qualsiasi pagano e gli altri nemici di Cristo, ovunque essi vivano, insieme ai loro regni, ducati, principati, signorie, possedimenti e qualsiasi bene, mobile ed immobile, che sia di loro proprietà, e di gettarli in schiavitù perpetua e di occupare, appropriarsi e volgere ad uso e profitto proprio e dei loro successori tali regni, ducati, contee, principati, signorie, possedimenti e beni ... [1, p. 49].

Con questo atto, insieme al Trattato di Tordesillas del 1494, che ripartiva le rispettive 'sfere d'influenza' con la monarchia spagnola, il pontefice attribuiva al Portogallo pieno diritto a trattare come propri legittimi possedimenti tutte le terre poste a est di Capo Verde a cui le sue navi fossero giunte. L'azione portoghese fu quindi diretta a una politica di razzia e saccheggio, di pratica indiscriminata della pirateria, legittimata dal fatto di essere rivolta verso 'saraceni e pagani', in un area che arbitrariamente era stata posta sotto la corona del Portogallo. Con l'azione di forza e la pratica della pirateria, approfittando delle divisioni e rivalità politiche interne all'area dell'Oceano Indiano, i nuovi arrivati si conquisteranno una rete di punti di appoggio navale e fortezze costiere tra l'India, Ceylon e l'attuale arcipelago indonesiano: con il controllo del porto di Goa, sulla costa del Malabar, nel 1510, faranno di questo approdo la capitale di quello che, con una certa pretenziosità, chiameranno l'*Estado da India*, e nel 1560 vi istituiranno

il Tribunale dell'Inquisizione con lo scopo di perseguire e colpire le pratiche 'pagane' e il manifestarsi dell'eresia tra i neo convertiti. Eppure, sarà proprio la caratteristica predatoria e violenta della iniziale affermazione dei portoghesi a mostrarne l'intrinseca debolezza. Già i primi viaggi e i primi tentativi di commercio resero evidente che gli europei non erano in grado di offrire sui mercati asiatici alcuna merce la cui vendita potesse giustificare gli alti costi e rischi del trasporto dalla madrepatria e che non erano neppure in grado di disporre in quantità sufficiente del metallo prezioso, per lo più argento, necessario per acquistare i prodotti locali – e soprattutto le spezie – da riesportare.

Se la pirateria riusciva a fornire una parte delle merci e dell'argento necessari a che una qualche forma di commercio potesse sussistere, questa non raggiunse mai livelli tali da avere un qualche oggettivo rilievo e, di fatto, nel contesto del sistema economico asiatico, la presenza portoghese restò sempre ai margini [4, pp. 513-515]. Il vantaggio di cui questa riuscì a godere per circa sessanta anni fu essenzialmente dovuto all'aver acquisito una posizione stabile sul continente prima degli altri concorrenti europei. Perfino la capacità di imporre la propria presenza per via militare andò incontro a una serie di ostacoli e rovesci militari contro turchi, egiziani, persiani e indiani. La presenza militare portoghese non riuscì a superare le Molucche e gli arcipelaghi circostanti e il modo in cui si dovette interagire con l'Impero Cinese o con il Giappone mostrò i limiti e le possibilità di questo primo tentativo di affermazione europea in Asia. Naturalmente i portoghesi riuscirono ad avviare relazioni commerciali, ma dovendo sottostare alle condizioni e ai controlli di quegli stati: anche in questo caso, il vantaggio, più che dall'effettiva portata quantitativa e qualitativa di questi scambi, nasceva dal carattere di esclusività che faceva dei portoghesi, almeno per alcuni decenni, gli unici ad avere accesso a quei mercati².

Se l'impresa portoghese in Asia poteva suscitare meraviglia e ammirazione in Europa, e se si traeva vantaggio dall'essere i primi e, per molto tempo, gli unici a poter agire nell'area, è però necessario non perdere di vista il fatto decisivo, costituito dal peso sostanzialmente irrilevante sul piano complessivo dei commerci e delle operazioni finanziarie svolte in quello stesso periodo nell'insieme del 'sistema asiatico' dagli operatori locali e dai non europei. Commercialmente i portoghesi potevano suscitare un interesse minimo o, non di rado, passare inosservati agli occhi delle comunità di mercanti baniani, cinesi, persiani, ebrei ed armeni che operavano negli empori e nei centri di scambio asiatici.

Gli olandesi, tra la fine del Cinquecento e l'inizio del Seicento, iniziarono a scalzare i portoghesi dalle loro posizioni con la loro Compagnia delle Indie Orientali e a questi più tardi iniziarono ad affiancarsi i britannici con la loro Compagnia, omologa della concorrente olandese. Gli olandesi abbandonarono rapidamente le velleità ideologiche legate all'attività dei missionari, limitandone le attività ogni qualvolta questo poteva essere di danno ai commerci e, più in generale, alle attività della Compagnia. Ma soprattutto compresero che la fonte di profitto nel contesto asiatico sarebbe consi-

stata nell'inserirsi negli stessi commerci interasiatici, facendosi accettare come uno degli attori locali, disponibile ad accettare le regole del gioco e a collaborare con le autorità indigene e le corporazioni mercantili presenti in tutti i centri del sistema³. Pur non abbandonando del tutto le attività piratesche e l'uso della forza, compresero che non sarebbe stata questa la via degli affari in Asia. Non sarebbe stato infatti di alcuna utilità conquistare e dominare militarmente il 'sistema asiatico', posto che fosse possibile, ma piuttosto sarebbe stato di utilità diventarne parte essi stessi, riconoscendo implicitamente come la fonte di ricchezza fosse il commercio nella stessa Asia meridionale e orientale, e non nel trasportare le merci locali in Europa. Naturalmente questa attività non venne meno, ma complessivamente costituì una voce necessaria, ma secondaria, nelle registrazioni degli utili della Compagnia, oltre tutto con rischi e tempi di realizzo dei propri investimenti tali da essere incomparabili con le condizioni di relativa sicurezza e la rapidità degli scambi proprie dei mercati asiatici⁴.

3. Ricchezza e conoscenza scientifico-tecnologica: l'Europa è più avanzata dell'Asia?

Ciò che colpisce è il fatto che, da Vasco de Gama ad Adam Smith, nessun osservatore europeo, fosse mercante, soldato, filosofo o diplomatico, mise mai in discussione il carattere avanzato e prospero caratterizzante il 'sistema asiatico' nell'insieme dei suoi attori e soprattutto dei due imperi che ne costituivano i principali pilastri: l'Impero Moghul in India e l'Impero di Cina. Anzi, era diffusa tra gli osservatori la consapevolezza di una superiorità economica e di una maggior ricchezza rispetto a tutti i regni europei dell'epoca: convinzione ancora presente in Smith negli ultimi decenni del Settecento per quanto riguardava la Cina. Semmai, chi avesse voluto indicare una presunta barbarie di questi favolosi regni, doveva farlo attaccandone le forme organizzative del potere e della società o stigmatizzarne i fondamenti etici delle loro culture: lo fecero, per esempio, Montesquieu e De Raynal nei confronti dei cinesi, ma anche in questi casi si trattò di osservazioni isolate e più che bilanciate da quelle di altri, come Ricci, Voltaire e lo stesso Smith. E, in ogni caso, nemmeno le voci critiche si spingevano fino a mettere in discussione la ricchezza di questi stati e il carattere avanzato sia sul piano economico che su quello tecnologico di queste società. È su quest'ultimo aspetto che si sono spesso concentrati pregiudizi e percezioni errate, essenzialmente a partire dagli anni Venti dell'Ottocento: che in ogni caso si trattasse di paesi arretrati sul piano tecnologico, e dunque economico, è una di quelle convinzioni che si radicheranno con forza nell'immaginario occidentale. Infatti, solo negli ultimi trent'anni è stato possibile – ma gradualmente e tra mille cautele – prendere in considerazione le fonti e i documenti indigeni esistenti, per ristabilire un equilibrio di giudizio comunque più prossimo a quelli degli osservatori sei-settecenteschi che ai giudizi dei viaggiatori vittoriani, o a quelli dei nostri nonni [14, pp. 259-262].

Considerato come periodo di comparazione la prima metà del Settecento, sul piano delle tecnologie meccaniche impiegate nelle manifatture indiane o in quelle cinesi,

non è possibile rilevare un loro carattere di 'arretratezza' rispetto a quelle impiegate in Inghilterra fino all'avvento della macchina a vapore. E se si sposta l'attenzione sulle tecnologie impiegate in gran parte dei laboratori artigianali dei due imperi, è difficile non far pendere la bilancia a favore di questi in termini di soluzioni di lavoro e strumenti tecnici impiegati. Lo stesso discorso vale considerando un aspetto 'tecnologico' in senso lato dell'organizzazione del lavoro: la ripartizione del processo di produzione interno alla manifattura, o al grande laboratorio artigiano cinese. La suddivisione di tale processo in molte operazioni separate, cui sono adibiti lavoratori che debbono svolgere esclusivamente quella singola mansione, accelerando il ritmo e la capacità produttiva, così come descritto da Adam Smith, era presente da tempo in Cina, soprattutto in settori come la lavorazione e il confezionamento del tè o nelle produzioni di porcellane nelle manifatture imperiali.

Le tecnologie in cui gli europei sembravano avere un qualche vantaggio riguardavano la navigazione e le armi. Ma anche in questo caso sarebbe necessario distinguere tra percezione e realtà. La navigazione oceanica europea aveva conosciuto un grande sviluppo sia nella qualità degli strumenti e dei materiali impiegati sulle navi, sia nelle tecniche di costruzione delle navi. L'obiettivo era quello della disponibilità di battelli in grado di reggere la navigazione oceanica di lungo raggio e per lunghi periodi, sufficientemente capienti da garantire una buona capacità di carico, e in grado di avere a bordo quel minimo di armamento necessario alla propria sicurezza. Il problema di questo tipo di navi era rappresentato dai costi elevati e dalla rapida usura: nel migliore dei casi, una buona nave poteva arrivare a compiere due o tre viaggi per l'India con ritorno ma, in generale, la vita media di un battello sulla rotta delle spezie era di sei-sette anni a cavallo tra il Seicento e il Settecento. Inoltre, se erano eccellenti per attraversare gli oceani, presentavano molti più problemi nei mari dell'Asia meridionale, caratterizzati da arcipelaghi di isole e barriera corallina, forti correnti in presenza di scogli e secche del tutto sconosciute ai navigatori europei. Gli asiatici, nel tempo, avevano preferito concentrarsi su modelli di navi di minore dimensione – anche se non sempre – che venivano disegnati e pensati per impieghi specifici: ad esempio, le navi costruite per la navigazione nell'Oceano Indiano erano concepite in funzione del fatto che avrebbero dovuto sfruttare il monzone nella traversata tra l'India e l'Egitto, oppure in funzione del tipo di carico che avrebbero dovuto trasportare. Il tipo di tecnologia navale di maggior successo del 'sistema asiatico' fu indubbiamente, fino a tutto l'Ottocento, la giunca cinese. Il suo modello originario, per altro esistente da secoli, nel XV secolo sotto la dinastia Ming, aveva raggiunto dimensioni superiori ai battelli europei, in una fase in cui l'impero cinese pensava alla costituzione di una flotta oceanica e al finanziamento di spedizioni navali di esplorazione e commercio. Abbandonati questi progetti, a causa dei costi e delle nuove minacce che si addensavano sui confini continentali della Cina, la giunca cinese rimase comunque il principale e più sicuro mezzo per la navigazione commerciale in tutta l'Asia meridionale. I suoi vantaggi erano rappresentati dal basso costo, dalla rapidità di costruzione, dalla grande manovrabilità, dal rappresentare uno

strumento perfetto per la navigazione sotto costa o in bassi fondali e, non ultima, dalla grande capacità di carico. Oltre a ciò, a consentirne l'affermazione, intervenne il fatto che a est di Ceylon la diffusa rete di comunità e colonie commerciali cinesi controllava, già nel Cinquecento, il commercio internazionale di alcuni prodotti strategici come riso, rame, argento, pepe. La giunca mantenne il suo ruolo fino al momento della definitiva affermazione della navigazione a vapore: ma ancora nell'ultimo decennio dell'Ottocento, la quantità di merci convogliata attraverso questo mezzo rappresentava una quota considerevole del commercio asiatico. Il suo successo fu testimoniato anche dal fatto che i portoghesi, ma soprattutto gli olandesi, si dotarono di flotte commerciali e militari costituite di giunche cinesi ritenute più adatte a operare nell'area. Non è dunque possibile parlarne come di un tipo di tecnologia 'arretrato' rispetto alla navigazione a vela europea: si trattava di qualcosa di diverso, concepito per un diverso contesto d'impiego, ma non di qualcosa di inferiore sul piano tecnologico, almeno fino alla seconda metà del Settecento⁵.

L'aspetto in cui indubbiamente gli occidentali mostrarono rapidamente una certa superiorità fu quello della tecnologia e, soprattutto, delle metodologie d'impiego delle tecnologie militari: anche in questo caso sono però necessarie alcune precisazioni e una corretta ricostruzione dei modi e del contesto in cui è possibile fare questa affermazione. Nel Cinquecento e nel Seicento il divario tra le rispettive tecnologie militari non era marcato; probabilmente era inesistente nel caso dell'Impero Moghul in India che aveva accesso alle conoscenze ed alle produzioni degli arsenali dell'Impero Ottomano, essenzialmente equiparabili a quelle dei portoghesi, se non superiori sul piano qualitativo. Al contrario Cina e Giappone s'interessarono alle armi da fuoco dei nuovi arrivati e ne acquisirono rapidamente la conoscenza dei meccanismi di funzionamento e delle tecniche per costruirne in proprio, più tardi anche grazie alla mediazione dei Gesuiti: Oda Nobunaga in Giappone già dalla metà del Cinquecento, non solo era in grado di disporre degli archibugi sui campi di battaglia, ma era anche in grado di avviarne una produzione autoctona sempre più su larga scala [7, pp. 85-86]. La rapidità di diffusione della nuova tecnologia in Asia Orientale era dovuta al fatto che quel tipo di armi erano tutt'altro che sconosciute, così come si conoscevano i principi e i meccanismi che stavano alla base del loro funzionamento: a colpire non era la novità assoluta della cosa, ma la praticità d'impiego degli archibugi (meno interesse suscitavano infatti i cannoni). Nel caso giapponese non ci si limitò a riprodurre i modelli acquistati da portoghesi e olandesi, ma negli arsenali gli artigiani locali apportarono anche modifiche e migliorie qualitative rispetto a quelli, e la stessa cosa avvenne riguardo all'organizzazione dell'impiego tattico di tali armi.

Dunque il vantaggio tecnologico in campo militare posseduto in una prima fase, venne superato in pochi decenni e sia i portoghesi che gli olandesi andarono incontro a non poche sconfitte militari contro eserciti asiatici, tanto che la Compagnia delle Indie Orientali olandese comprese molto presto che la via militare non era praticabile. Tale rimase la situazione fino ai primi decenni del Settecento: a partire da questo mo-

mento a porre le basi di una superiorità militare occidentale fu, da un lato, la sicurezza e prosperità economica di cui in quel momento beneficiava gran parte degli stati del 'sistema asiatico', e conseguentemente una minore necessità di dover destinare nuove risorse ad innovazioni militari costose e di cui a nessuno era evidente un impellente bisogno. Dall'altro lato, a fare la differenza furono le innovazioni tecniche introdotte dagli europei: non solo sul piano del rilievo della singola miglioria o modifica al meccanismo dell'arma o al suo modo di produzione, ma nella rapidità e quantità con cui tali modifiche si succedettero per tutto il secolo. Oltre a questo, un altro elemento decisivo lo si ebbe nello sviluppo delle tecniche d'impiego delle armi e nella elaborazione delle tattiche e dell'organizzazione militare necessarie a tale scopo. Da questo punto di vista, il momento in cui si percepì chiaramente la disparità dovuta a un vantaggio tecnologico/organizzativo specifico degli europei fu certamente la Guerra dei Sette Anni (1756-1763). Si trattò del primo conflitto 'globale' della storia, poiché ebbe come teatri di confronto tra le potenze europee tutti i continenti del pianeta, coinvolgendo gli attori locali a sostegno dell'una o dell'altra parte. Nel 1757, a Plassey, un piccolo contingente della Compagnia delle Indie inglese, affiancato da truppe indigene sconfisse in battaglia l'armata Moghul di molte volte superiore per numero e affiancata essa stessa da un piccolo contingente francese. Oltre che dal tradimento di uno dei generali nemici, l'esito della battaglia fu deciso dalla qualità dei cannoni impiegati dai britannici, minori per numero, calibro e potenza rispetto a quelli indiani, ma molto più rapidi nella frequenza e nel numero dei colpi che potevano sparare senza dover ricorrere al raffreddamento dell'affusto e più maneggevoli sul campo, e fu inoltre deciso dall'analogia capacità dei fucili impiegati ed all'organizzazione e disciplina tattica degli artiglieri e fucilieri britannici. Dunque, non tanto un'assoluta superiorità tecnologica, ma una maggiore efficacia di una determinata tecnologia rispetto a un'altra in un contesto specifico: se si fosse trattato dell'impiego dei più potenti cannoni indiani contro le mura di una città o contro una fortezza assediata, probabilmente le cose sarebbero andate diversamente [3, pp. 63-64, p. 73].

Solo più tardi, a partire dalle guerre contro la Francia rivoluzionaria e poi napoleonica, 1794-1815, gli inglesi riuscirono ad acquisire una netta superiorità su scala globale per quanto concerneva la tecnologia militare: riflesso del lungo periodo di guerre, ma anche delle enormi risorse investite in questi anni per la ricerca in campo militare e tecnologico. Solo dagli anni Venti dell'Ottocento i funzionari imperiali cinesi iniziarono a porsi il problema costituito da una tecnologia europea percepita, almeno da alcuni, in maniera crescente come una potenziale minaccia alla sicurezza dell'impero. Perciò, anche nel campo militare, non è possibile parlare di una superiorità tecnologica occidentale che avrebbe caratterizzato i rapporti con gli asiatici fin dal primo incontro e che ne spiegherebbe il radicamento degli insediamenti tra l'India e gli arcipelaghi dell'Insulindia: una situazione di questo genere si manifestò solo a partire dalla metà del Settecento e, per quanto riguarda la Cina, non manifestò le sue conseguenze prima del 1839-1842, con la Prima Guerra dell'Oppio.

C'è poi un altro settore scientifico in cui l'Asia cedette il passo a una 'superiorità' occidentale in modo molto graduale: quello della medicina⁶. Sebbene le medicine tradizionali fondassero le proprie pratiche su considerazioni di carattere filosofico/religioso, le conoscenze che vi afferivano erano non di rado originate da consapevoli e non ingenui ricerche empiriche, i cui risultati venivano confrontati e discussi in una ampia trattatistica che spesso concentrava la propria attenzione sulle tecniche di cura, valutandone l'efficacia. Sia in India che in Cina la figura del medico si era in gran parte distaccata dal ruolo di guaritore/mago, acquisendo piuttosto lo status di intellettuale/filosofo o, spesso, di esperto specializzato in una determinata pratica medica.

Posto che sopravvivessero al viaggio, le condizioni di vita e ambientali che si presentavano agli europei che giungevano in Asia erano spesso letali: fino alla Prima Guerra Mondiale, il tasso di mortalità e di malattia tra i soldati, mercanti o residenti europei era enorme e, nei primi due secoli, talvolta in grado di mettere a rischio la sopravvivenza delle aree poste sotto il proprio controllo o le attività delle compagnie commerciali. L'inefficacia della medicina occidentale portò i residenti portoghesi, e tra questi i Gesuiti, o gli olandesi e gli inglesi a ricorrere all'impiego di medici locali, e spesso i più apprezzati erano quelli delle comunità cinesi. Se questa pratica divenne abbastanza comune nei primi secoli della presenza europea, anche se non volentieri riferita in patria, finì per essere eliminata e condannata già dai primi anni dell'Ottocento, stigmatizzandola come pratica superstiziosa e priva di ogni fondamento scientifico.

4. L'Impero cinese e l'Impero Moghul al centro dell'economia-mondo⁷

Al momento dell'arrivo della piccola flotta di Vasco de Gama a Calicut nel 1497, esisteva un 'sistema di relazioni asiatico', che si estendeva da Aden e dal Mar Rosso a est, fino alla Corea e al Giappone a ovest, dal Golfo del Bengala, o dal Golfo Persico, a nord, fino alle isole meridionali dell'arcipelago delle Filippine a sud, con una appendice fino alle coste occidentali dell'Africa, tra gli attuali Kenya e Mozambico. Confini presso i quali giunsero le giunche cinesi o dove, in un momento o in un altro, si stabilirono comunità di mercanti cinesi o indiani. Cina e India ne costituivano l'asse portante, o meglio, ne costituivano l'asse portante l'Impero di Cina, allora governato dalla dinastia Ming, a cui succederà la dinastia straniera dei Qing, a partire dal 1644 e l'Impero Moghul, islamico, insediatosi nell'India settentrionale e centrale, affiancato da altri potenti regni indipendenti, come il regno indù di Vijayanagara nel sud [9].

La Cina si trovava al centro essa stessa di un proprio sistema di relazioni internazionali, il cosiddetto "sistema tributario" (espressione ingannevole per le assonanze occidentali dei termini impiegati). Si trattava di un complesso sistema di reciproca legittimazione politica tra gli stati che ne facevano parte, nel quale veniva riconosciuto formalmente il ruolo centrale dell'imperatore cinese come perno dell'intero sistema. Ma a ciò si affiancava una efficace pratica di integrazione e regolazione delle relazioni commerciali interne al sistema e, allo stesso tempo, un non meno efficace sistema di interscambio delle conoscenze intellettuali, scientifiche e tecnologiche. Naturalmente,

l'Impero Celeste, posto al centro di tale sistema, era la fonte prima di tali conoscenze e acquisizioni, nonché la fonte prima di ambiti prodotti di lusso o di oggetti e strumenti 'tecnologicamente' avanzati. Esso rappresentava il punto di arrivo terminale di molte delle vie dei commerci che attraversano l'Asia Centrale o Settentrionale, e perciò fino al Cinquecento, rappresentò, insieme alla Persia, la via di accesso dell'Europa al 'sistema asiatico'. Inoltre, la Cina garantiva la circolazione delle merci fino alle regioni più interne del continente, e la sicurezza dei mercanti che vi si avventuravano, ma allo stesso tempo rappresentava il canale cui si appoggiavano i regni dell'Asia Orientale per accedere ai prodotti che affluivano o che partivano dall'Impero. Infine, la Cina rappresentava un fondamentale modello amministrativo, efficiente e stabile, fondato su una solida concezione etico politica. In misura maggiore o minore, tutti gli stati dell'Asia Orientale utilizzarono il modello cinese come riferimento per delineare le strutture amministrative interne, o nel tentativo di trovare argomentazioni ideologiche volte a garantire le strutture vigenti e a mantenere la stabilità sociale⁸.

La situazione dell'Impero Moghul si presentava in parte diversa: dopo la prima fase di conquista e consolidamento accentrate, l'Impero iniziò a conoscere un processo di decentramento a livello regionale dell'organizzazione economica e amministrativa, al suo culmine tra il XVII ed il XVIII, ovvero nel momento in cui la presenza occidentale andava facendosi più pressante. Non bisogna però equivocare, infatti se la storiografia occidentale ha da sempre parlato di quel processo come indizio di decadimento dell'Impero, in realtà gli studi sviluppatasi negli ultimi decenni hanno mostrato come il processo di decentramento sia stato accompagnato da un forte sviluppo economico, legato anche alla rapida diffusione di nuove forme organizzative della produzione, come le manifatture tessili, e da importanti trasformazioni sociali, legate al rapido processo di inurbamento e spopolamento delle campagne⁹.

I Moghul godevano del vantaggio offerto dalla posizione mediana del loro impero rispetto a tutti i traffici commerciali del 'sistema asiatico' e di cerniera tra il sistema cinese e le isole delle spezie e l'Impero Ottomano, l'Egitto e, in generale, il mondo mediterraneo. Importanti corporazioni e confraternite di mercanti delle più diverse provenienze vi operavano in sicurezza: tra questi i mercanti arabi, persiani, armeni, ebrei e cristiani di Siria. Oltre a ciò, come già accennato, vi era uno specifico vantaggio tecnologico in alcuni settori, come, ad esempio, nei telai impiegati per la lavorazione dei tessuti e nelle tecniche e organizzazione del loro impiego.

L'Insulindia, e le coste della Malesia, 'le isole delle spezie', rappresentavano il punto d'incontro tra i due assi su cui si reggeva il sistema. Nei loro centri commerciali, in cui forte era la presenza cinese, mercanti di ogni provenienza concordavano e regolavano i principali scambi e garantivano una indiscussa continuità nella circolazione delle merci attraverso i continenti. Lì solerti incaricati dai rispettivi regni e imperi redigevano rapporti sull'andamento dei mercati, sui prezzi e il loro mutare sulle diverse piazze, sulla domanda e l'offerta relative ai diversi angoli del 'sistema asiatico'. Le varie confraternite mercantili provvedevano anche a garantire e difendere il credito, con un efficiente si-

stema di lettere di cambio su larga scala, valido dalla Cina ad Aden, o a fornire i finanziamenti per determinate operazioni: il meccanismo fondava la sua estrema stabilità su una condivisa accettazione di regole e consuetudini ben note ai mercanti asiatici e ai regnanti locali che se ne facevano garanti. Il mancato rispetto di tale meccanismo, l'aver 'perso la faccia', faceva venire meno il credito finanziario e personale da parte delle varie confraternite nei confronti di chi aveva violato le regole, si trattasse di un singolo mercante o di un potente locale [9, pp. 252-253, 515-517].

Proprio nel differente atteggiamento assunto dai portoghesi e dagli olandesi rispetto al 'sistema asiatico' si possono vedere all'opera i suoi meccanismi di funzionamento. I portoghesi persero rapidamente la 'faccia', dato che il loro comportamento si orientava su una presunta liceità a violare regole e accordi qualora questi fossero stati stabiliti con 'pagani'. A una mancanza di credito agli occhi dei finanziatori del sistema, si aggiungeva la sistematica pratica della pirateria e il fatto che, nei centri di scambio, non di rado i portoghesi si recassero non solo per commerciare, ma soprattutto per valutare quali carichi convenisse predare. A tutto questo andava aggiunto un problema decisivo per tutti gli europei operanti in Asia, fino a buona parte dell'Ottocento: la mancanza d'interesse dei mercati locali per i prodotti europei, spesso giudicati di scarsa qualità e comunque inferiori alle più pregiate produzioni cinesi o indiane.

Gli olandesi, contrapponendosi ai concorrenti portoghesi, compresero subito che accettare regole e consuetudini locali e rinunciare alla propaganda missionaria, poteva essere, se non altro, un mezzo per mettersi in buona luce rispetto ai propri avversari. Ma ben presto subentrò anche la consapevolezza che il rispetto e l'adozione delle convenzioni proprie del 'sistema asiatico' e delle consorterie mercantili che vi operavano, oltre alla collaborazione con queste e con potentati locali, potevano risultare la carta vincente. Di fatto la Compagnia delle Indie Orientali olandese iniziò a operare come un soggetto del sistema, accettato e riconosciuto dagli altri, concentrando i suoi interessi sui commerci interasiatici e, in qualche modo, riducendo ad un aspetto secondario il commercio con l'Europa [3, pp. 45-66].

L'Asia contemporanea a Galileo e alla prima diffusione di alcune delle sue idee, è di fatto il centro del mondo dal punto di vista economico e tecnologico, e continuerà a esserlo fino almeno alla metà del Seicento. Un'affermazione difficilmente accettabile ancora oggi per la gran parte degli osservatori occidentali, e anche per una buona parte degli studiosi. Eppure per nessun osservatore europeo del tempo era possibile pensare di contestare quello che veniva percepito come un dato di fatto: la ricchezza è in Asia. Un economista illuminista, attorno al 1776, si spinse non solo a sostenere questa posizione, affermando inoltre che, come l'Asia era il centro della ricchezza su scala globale, l'Impero cinese lo era all'interno del 'sistema asiatico', ma addirittura giunse a indicare proprio nella Cina una forma di modello economico virtuoso a cui la stessa Gran Bretagna avrebbe dovuto guardare. Naturalmente si trattava di Adam Smith, come altri hanno detto, un autore più citato che letto [2, pp. 13-17].

NOTE

¹ Come riferimento principale si rimanda a [4, pp. 490-493, 497-503].

² Più in generale sul ruolo dei portoghesi in Asia vedi [6].

³ Vedi [3, pp. 45-50] e [4, pp. 200-205].

⁴ Per un approccio più ampio vedi [5].

⁵ Vedi [12, pp. 8-9, 146-148, 166-167] e [8, pp. 155-157].

⁶ Riguardo agli aspetti riguardanti la medicina tradizionale, in particolare quella cinese, in una prospettiva scientifica, si rimanda a [11].

⁷ L'espressione è di Fernand Braudel.

⁸ Per quanto riguarda l'Impero di Cina si consiglia come testo di riferimento [10].

⁹ Vedi [14, pp. 255-352] e [4, pp. 523-531, 533-538].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abbatista, G., *L'espansione europea in Asia*, Carocci, Roma 2002.
- [2] Arrighi, G., *Adam Smith a Pechino*, Feltrinelli, Milano 2008.
- [3] Arrighi, G., Silver, B. J., *Caos e governo del mondo*, Mondadori, Milano 2006.
- [4] Braudel, F., *I tempi del mondo*, Einaudi, Torino 1982.
- [5] Boxer, C. R., *The dutch seaborne empire, 1600-1800*, Pelican Books, Middlesex 1973.
- [6] Boxer, C. R., *The portuguese seaborne empire, 1415-1825*, Penguin, Harmondsworth 1990.
- [7] Caroli, R., Gatti, F., *Storia del Giappone*, Laterza, Roma-Bari 2004.
- [8] Chaudhuri, K. N., *Trade and civilization in the Indian Ocean*, Cambridge University Press, Cambridge 1985.
- [9] Chaudhuri K. N., *L'Asia prima dell'Europa*, Donzelli, Roma 1994.
- [10] Gernet, J., *Il mondo cinese*, Einaudi, Torino 1978.
- [11] Needham, J., *Science and civilization in China*, vol. VI, Cambridge University Press, Cambridge 1954.
- [12] Osterhammel, J., *Storia della Cina moderna*, Einaudi, Torino 1992.
- [13] Todorov, T., *La conquista dell'America*, Einaudi, Torino 1984.
- [14] Torri, M., *Storia dell'India*, Laterza, Roma-Bari 2007.

POTERE TECNO-SCIENTIFICO E CIRCOLAZIONE DI CONOSCENZE:

IL PROGRAMMA NUCLEARE CINESE

MATTEO GERLINI

Università di Firenze

Nella riflessione sullo scambio scientifico e tecnologico fra Occidente e Cina, non è possibile esimersi dal considerare quello che – durante la contemporaneità – è stato rappresentato come la massima sintesi fra sviluppo tecno-scientifico e potere politico, ovvero lo sfruttamento dell'energia nucleare [3, pp. 1-21]. Sebbene esso riguardi maggiormente lo sviluppo e il trasferimento tecnologico rispetto alla circolazione scientifica, è altrettanto vero che tale disgiuntiva fra scienza e tecnologia diviene più labile, nel momento in cui ci si confronta con le tematiche relative all'energia nucleare. L'analisi della circolazione scientifica e tecnologica con la Cina trova dunque un'espressione piuttosto peculiare nell'ambito dell'energia nucleare, essendo le tematiche a essa relative fortemente innestate nel sistema internazionale novecentesco post bellico.

Non è scopo di questo breve intervento offrire una sintesi di un argomento così vasto e complesso come l'evoluzione del programma nucleare cinese; esso si limita ad accompagnare le date essenziali di sviluppo del programma, con alcune considerazioni tratte dai principali lemmi della bibliografia in lingua inglese sull'argomento. Appare infatti evidente che, per comprendere pienamente la particolarità della via cinese all'atomo, le tappe del percorso devono essere coniugate con una lettura delle profonde implicazioni internazionali che essa ebbe. Difetta dunque a questo intervento una conoscenza delle fonti nazionali del programma nucleare cinese non tradotte in inglese, limite peraltro causato dal velo di segretezza – che contraddistingue i programmi nucleari con anche finalità militari –, in Cina più impenetrabile che in altri casi.

Fra le cause che spinsero il governo della Cina popolare a intraprendere l'avventura nucleare militare vi è senz'altro la Guerra di Corea. In precedenza, l'atteggiamento verso le armi nucleari e il ruolo che queste assunsero nella politica internazionale fu ben rappresentato dall'espressione «la bomba atomica è una tigre di carta», utilizzata da Mao Zedong [6]. A un mese dalla fondazione della Repubblica Popolare Cinese era stata creata l'Accademia delle scienze, nata dall'accorpamento della Accademia sinica di Nanjing e l'Accademia Beiping di Beijing, concentrando così in un unico centro la ricerca in fisica nucleare, ma senza mostrare interesse verso le applicazioni militari dell'energia [4, p. 43]. La controversa presenza delle armi nucleari nello svolgersi della Guerra di Corea, quale elemento dell'elaborazione strategica statunitense nella conduzione del conflitto, concorse a mutare l'atteggiamento cinese verso la questione [1, pp.

12-16]. I dirigenti della neonata Repubblica iniziarono a guardare all'arma atomica in maniera più concreta che a una "tigre di carta", giungendo ai primi del 1955 alla scelta di intraprendere un programma nucleare militare; la decisione fu presa in concomitanza con la scoperta di giacimenti di uranio nella provincia dello Guangxi [4, p. 75].

La necessità e l'auspicio di una cooperazione internazionale su tale materia era evidente per i dirigenti cinesi; pertanto la firma dell'accordo sino-sovietico del 20 gennaio 1955, che prevedeva ricerche uranifere congiunte sul territorio cinese, venne intesa probabilmente dai cinesi come un tacito assenso verso la decisione intrapresa [2, pp. 20-21]. I cinesi si impegnavano a consegnare il *surplus* uranifero a Mosca: uno scambio di materie prime contro tecnologia. Tuttavia, alla vigilia dell'accordo, il governo sovietico aveva dichiarato che avrebbe sì assistito la Cina e le nazioni dell'Europa orientale nella ricerca in ambito nucleare, ma unicamente per fini pacifici. Da parte della Cina, invece, l'interesse militare era prioritario e quasi esclusivo. Per quanto le relazioni nucleari fra i due stati si perfezionassero nel corso dello stesso anno con un accordo di assistenza alla ricerca in fisica nucleare – nei cui capi era compreso l'impegno sovietico alla fornitura di un reattore di ricerca e di un ciclotrone – erano evidenti i problemi derivanti da fini così discordanti [4, p. 105]. Difatti, mentre i cinesi definivano le istituzioni che avrebbero condotto il programma verso l'obiettivo militare, i russi evitavano accuratamente di trasferire conoscenze di carattere militare. Il momento tipico di tale dissonanza venne raggiunto nel 1957, quando venne firmato il "Nuovo accordo tecnico di difesa"; in esso era prevista la fornitura alla Cina di prototipi e informazioni di missili e bombe, sebbene in forma criptica [6, pp. 41-42]. L'accordo venne rapidamente rinnegato dall'Unione Sovietica, tuttavia esso fornì un serio contributo allo sviluppo dell'impianto di arricchimento dell'uranio di Lanzhou, al quale lavorarono alacremente i tecnici di ambedue i paesi per tutto il periodo successivo. La consistenza delle risorse di uranio nel sottosuolo e le conoscenze acquisite nelle attività estrattive segnavano il compimento di due presupposti necessari verso l'acquisizione di una capacità nucleare militare; a essi si stava aggiungendo la realizzazione di un impianto di arricchimento dell'uranio che, una volta realizzato, avrebbe posto la Cina di fronte ai soli problemi militari di realizzazione di un ordigno.

A differenza degli altri Stati che 'proliferarono' parallelamente, la Repubblica Popolare Cinese ebbe la possibilità di sviluppare per intero la filiera dell'arricchimento dell'uranio. Quando la Cina iniziò ad affacciarsi alla soglia del "club nucleare", la tecnologia dell'arricchimento rimaneva appannaggio quasi esclusivo delle superpotenze, laddove la Francia, per esempio, era costretta a sviluppare la filiera del plutonio per ottenere il materiale fissile necessario al proprio programma militare. Molti stati che ambivano all'arma atomica non avevano risorse di uranio sul loro territorio e, anche se le avevano, i costi o la tecnologia del processo di arricchimento dell'uranio, indispensabili per arrivare alla quantità di materiale fissile minima per realizzare un ordigno, erano fuori dalla loro portata. Questo è un elemento estremamente rilevante sul piano storico, che va tenuto presente nella lettura di un passaggio decisivo nella storia nuclea-

re cinese: il 20 giugno 1959 il Comitato centrale del Partito Comunista Sovietico inviò una lettera al suo omologo cinese, in cui si comunicava che, a causa dei negoziati in corso a Ginevra per la messa al bando dei test nucleari, il prototipo di bomba promesso col Nuovo accordo tecnico di difesa non sarebbe stato concesso [4, pp. 64-65]. In risposta, ai primi del 1960, il Politburo del Partito Comunista Cinese decise di proseguire sulla via della bomba indipendentemente dall'aiuto esterno: a dimostrazione di ciò, vennero avviate le ricerche anche nella filiera del plutonio. L'Unione Sovietica si ritirò anche formalmente dall'accordo del 1957, mentre la Cina costruiva un secondo impianto per l'arricchimento dell'uranio. Dopo due anni, in Cina ebbe inizio una produzione massiccia di uranio arricchito, mentre i tecnici cinesi lavoravano con successo sul design e l'innesco della bomba.

Come altri Stati 'proliferanti', la prossimità della Repubblica Popolare Cinese al conseguimento dell'arma atomica fu preannunciata dai primi passi dell'elaborazione di una dottrina per l'uso dell'arma: in risposta all'imminente firma del trattato per la parziale messa al bando dei test nucleari, Beijing propose – con fini evidentemente propagandistici – una conferenza mondiale sul disarmo nucleare. In sostanza, nella conferenza si proponeva lo smantellamento dei sistemi nucleari dei due blocchi tramite il ritiro di tutte le armi nucleari da territori esteri e l'istituzione di zone libere dalle armi nucleari. Inoltre, secondo un passaggio di testimone consueto nella breve storia della proliferazione nucleare, l'ultimo Stato 'proliferante' diveniva un convinto sostenitore della 'non proliferazione': la Cina proponeva la rinuncia generalizzata e il trasferimento di conoscenze e tecnologie nucleari militari. Vi fu un aspetto, nell'elaborazione dottrinaria cinese, nascosto dalla retorica di tale proposta, che era invece destinato a divenire la chiave di volta dell'architettura strategica nucleare cinese. Se la comunità internazionale avesse intrapreso un disarmo nucleare generalizzato, la Repubblica Popolare era pronta rinunciare all'arma atomica. Quello che pareva unicamente uno slogan poco credibile aveva una parte di concretezza, in quanto conteneva l'intenzione cinese di non sviluppare un arsenale nucleare numericamente consistente e paragonabile a quello delle potenze 'proliferanti'. Il governo cinese, il 19 novembre del 1963, inviò una lettera aperta ai leader sovietici in cui si asseriva la necessità per il blocco socialista di mantenere la superiorità atomica [6, p. 44]. Pochi mesi dopo, Mao Zedong dichiarò che la Cina avrebbe utilizzato le armi nucleari unicamente in chiave difensiva, senza usarle come uno spauracchio verso altri paesi. Il 29 settembre il segretario di stato degli Stati Uniti, Dean Rusk, dichiarò alla stampa che un test nucleare cinese sarebbe avvenuto a stretto giro; contestualmente, egli lamentò soprattutto gli effetti che il test avrebbe avuto sull'atmosfera piuttosto che sulla sicurezza degli Stati Uniti [4, p. 244]. Nonostante Washington relativizzasse la portata dell'evento, quando il 16 ottobre 1964 Beijing condusse il suo primo test nucleare, catalizzò l'attenzione di tutta la comunità internazionale. Il prototipo detonato era stato chiamato "ordigno 596": si trattava di un ordigno a uranio arricchito con un design a implosione, della portata compresa fra i 20 e i 22 chilotoni, e traeva il suo nome dal numero dell'anno e del mese in cui i so-

vietici avevano negato il prototipo di bomba promesso ai cinesi [5].

Sul piano simbolico, riguardo alla percezione che l'Occidente aveva dei popoli "non bianchi", non è azzardato paragonare l'ingresso della Cina popolare nel club atomico alla vittoria giapponese sui russi nella guerra del 1904-1905: la fissione atomica, forse la più grande conquista scientifica dell'Occidente nel Novecento, veniva realizzata dai cinesi bruciando le tappe previste dagli analisti occidentali. Si trattò di una piccola rivoluzione nel senso comune concernente lo sviluppo scientifico dell'Europa e dell'America del Nord rispetto a quello degli altri popoli; viceversa, è importante sottolineare quanto la cooperazione internazionale, lo scambio di conoscenza con la superpotenza sovietica avesse permesso l'avvio della 'nuclearizzazione' della Cina, senza poi riuscire a gestirla.

Le tappe successive del programma nucleare furono una corsa alla qualità da parte dei cinesi, limitando al massimo la quantità, in coerenza con l'elemento cardine della dottrina. Nel 1967 venne esploso il primo ordigno termonucleare, nel 1968 il primo ordigno al plutonio. Al contrario, il numero di bombe prodotte era estremamente ridotto per riuscire a investire il più possibile nell'acquisizione delle capacità necessarie per la bomba H e per quella al plutonio. La Cina Popolare dimostrò quindi di poter sedere al tavolo nucleare, contestualmente alla rinuncia al rilancio in un gioco nel quale le superpotenze erano comunque padrone. Rinuncia e forse disinteresse verso una corsa a un tipo di armamenti quali quelli atomici che manifestavano un carattere paradossale, spingendo le spese del settore al parossismo pur di non lasciare all'avversario il primato nucleare.

Vale la pena di considerare, quale ultimo carattere del programma nucleare cinese, l'estremo ritardo col quale venne avviata la produzione elettronucleare rispetto ad altri stati del club nucleare. Le considerazioni su questo piano sono molteplici, dovendo ovviamente includere le motivazioni di ordine economico; tuttavia, per rimanere sul tema fin qui ripercorso, è difficile sfuggire alla suggestione di un orientamento tecnologico ben chiaramente seguito dai cinesi. È di per sé una spiegazione il fatto che la Repubblica Popolare abbia avuto la possibilità di sviluppare in primo luogo la filiera dell'arricchimento dell'uranio per divenire, sostanzialmente, una potenza nucleare senza perciò imbarcarsi nell'edificazione di un arsenale di armi atomiche. Volendo dimostrare al mondo di avere la capacità di stare al passo con gli avanzamenti tecnico-scientifici delle superpotenze in campo nucleare e, al contempo, non intendendo andare molto oltre questo stadio, la necessità di produrre in larga scala plutonio o arricchire uranio veniva meno; di conseguenza, cadeva uno dei presupposti che avrebbero sostenuto l'economicità del settore elettronucleare.

Il programma nucleare divenne dunque una parte di quel cammino che la Cina popolare intraprese lungo le strade di sviluppo scientifico e tecnologico tracciate dalle superpotenze, prima ancora che dall'Occidente. Tale paradigma, che permette di apprezzare i presupposti e le conseguenze politico-internazionali delle acquisizioni tecnico-scientifiche cinesi, è utile per comprendere altresì le iniziative del governo cinese in

ambito aerospaziale, inteso come altro ambito caratterizzante le frontiere della scienza nel tardo Novecento. Nell'approccio alla questione nucleare rivivono dunque alcuni elementi espressi riguardo a precedenti fasi storiche e ad altri campi della conoscenza, pur nella peculiarità che la rottura rivoluzionaria della Cina postbellica impresse alla politica tecnica e scientifica del paese.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hayes, P., *Pacific powderkeg: american nuclear dilemmas in Korea*, Lexington Books, Lexington 1991.
- [2] Hsieh, A. L., The sino-soviet dialogue: 1963, *The Journal of conflict resolution*, vol. 8, n. 2, giugno 1964.
- [3] Krige, J., Barth, K. H., Introduction. Science, technology and international affairs, *Osiris*, n. 21, 2006.
- [4] Lewis, J. W., Litai, X., *China builds the bomb*, Stanford University Press, Stanford 1988.
- [5] Nuclear Threat Initiative, *China: nuclear chronology*, www.nti.org.
- [6] Zhu, M., The evolution of China's nuclear nonproliferation policy, *Nonproliferation Review*, inverno 1997.

*Galileo
nella coscienza nazionale:
dal 1945 a oggi*

STORIE D'ITALIA: LA RICONQUISTA DI GALILEO*

MASSIMO BUCCIANINI

Dipartimento di Studi Storico-Sociali e Filosofici, Università di Siena, sede di Arezzo

Nella riunione della casa editrice Einaudi del 6 maggio 1964 fu Corrado Vivanti a informare il comitato editoriale della decisione di Luigi Firpo di scrivere un libro sul processo a Galileo¹. Vivanti ne forniva anche il titolo, *La distruzione dei filosofi*, e azzardava pure una data di uscita: nei *Saggi*, entro l'anno seguente. Inoltre, dava notizia di un altro progetto sempre di Firpo, e cioè quello di pubblicare, per la Nue, una raccolta di testi galileiani che doveva comprendere il *Sidereus Nuncius*, le *Lettere Copernicane* e il *Saggiatore*. Come se non bastasse, in quella stessa riunione si decise di chiedere a Geymonat la preparazione di un'edizione del *Dialogo sopra i due massimi sistemi*. Insomma, il virus galileiano era riuscito a contagiare anche la principale casa editrice italiana. E, a guardar bene, non poteva essere diversamente.

Siamo nel 1964, ovvero in un anno galileiano per eccellenza (il trecentesimo dalla nascita), e ancora non si erano spenti gli echi del *Galileo* di Brecht diretto da Strehler, con l'irriverente quadro nono e la sua indimenticabile scena carnevalesca, con la pantomima della grottesca processione di saltimbanchi, guitti, nani e fantocci cardinalizi. Una rappresentazione a dir poco scandalosa per l'Italia del tempo, ma che, al di là di ogni aspettativa, si trasformò in un vero e proprio evento, con ben 160 rappresentazioni nella sola Milano e 60 a Roma. Il lavoro di Strehler fu preceduto e seguito da accese polemiche, da riunioni fiume in consiglio comunale a Milano, da una durissima campagna contro lo spettacolo orchestrata dalla stampa cattolica, fino ad arrivare, da parte di zelanti funzionari scolastici, a negare ad alcune scuole superiori l'autorizzazione di recarsi a Roma per poter assistere allo spettacolo.

Pochi anni prima erano usciti il *Galileo* di Geymonat (1957) e l'edizione italiana del *Processo a Galileo* di Giorgio De Santillana (1960). Feltrinelli aveva prontamente ristampato il *Galileo* di Antonio Banfi. Poi, sempre nel 1964, i convegni tenuti per l'occasione videro la partecipazione di studiosi come Delio Cantimori, Carlo Maria Martini, Arturo Carlo Jemolo, Giorgio De Santillana, Giorgio Spini, Luigi Firpo. Lo stesso anno usciva, anche se in forma 'corretta', e non dal suo autore, la *Vita di Galileo* di Pio Paschini, ed Eugenio Garin pubblicava la conferenza *Galileo pensatore e la cultu-*

* La relazione tenuta in occasione della giornata di studi *Galileo nella coscienza nazionale. Miti e frustrazioni dal 1950 a oggi* (9 novembre 2009), è stata già presentata al Convegno internazionale *Il processo a Galileo Galilei e la questione galileiana* (Torino, 26-27 marzo 2009), organizzato dalla Fondazione Luigi Firpo e dal Consiglio regionale del Piemonte in occasione dei vent'anni dalla morte di Luigi Firpo. È pubblicata in *Belfagor*, LXIV, 6, 2009, pp. 667-678.

ra del suo tempo, poi inserita l'anno successivo in *Scienza e vita civile nel Rinascimento italiano*. Infine, sarà la volta del *Galileo* (1968) di Liliana Cavani, prodotto dalla Rai ma mai mandato in onda: «È stata solo una questione di buon senso», ha dichiarato di recente Ettore Bernabei, direttore della Rai dal 1961 al 1974, «Il suo *Galileo* era addirittura più 'forte' di quello di Brecht, che già dava scandalo a teatro. Pensi che cosa sarebbe successo se lo avessimo mandato in onda» [1].

Vista con gli occhi di oggi, si può dire che questa stagione – l'ultima, con un'impronta così fortemente laica – fu breve (dai primi anni della Repubblica alla fine degli anni Sessanta) ma assai intensa: sia per la varietà delle questioni affrontate, da punti di vista tutt'altro che convergenti (basti pensare alla distanza che separava il 'Galileo tecnologo' di Geymonat dal 'Galileo filosofo' di Garin), sia per le riflessioni, sul versante della politica della scienza, che l'anniversario galileiano contribuì a porre all'ordine del giorno in un paese come il nostro, con poca scienza e senza cultura scientifica.

Molte di quelle iniziative e pubblicazioni furono accolte con entusiasmo (e non solo da un ristretto gruppo di lettori), a cominciare dal ruolo 'militante' che svolse il libro di Geymonat – il primo bestseller di divulgazione scientifica dell'Italia repubblicana – che godette di un amplissimo successo internazionale. Si trattò, infatti, di uno dei rari libri che superò lo steccato dei confini disciplinari e che, al di là delle tesi storiografiche sostenute, ebbe il merito di farsi leggere da tutti, contribuendo così ad alimentare una viva passione civile e diventando, per molti giovani di allora, un vero e proprio libro di formazione.

Il *Galileo* di Geymonat uscì nel marzo del 1957, a pochi mesi dai drammatici fatti di Ungheria. In quei giorni la figura dello scienziato italiano e la sua battaglia politico-culturale condotta in difesa di una scienza libera da dogmi e abiure tornavano ad essere drammaticamente attuali. Gli scandali prodotti dalla nuova scienza all'alba della modernità erano ancora motivo d'insegnamento e di riflessione sul mancato rinnovamento della cultura, della politica e della società di questo paese; e restavano vivi, assumendo nuovi e imprevedibili significati anche quando si incrociavano con vicende contemporanee che, solo a prima vista, sembravano tanto distanti.

Due testimonianze di eccezione ce lo confermano.

La prima è di Antonio Giolitti. Il 20 luglio Giolitti inviava a Geymonat, suo amico fraterno fin dai tempi della guerra partigiana, copia delle sue dimissioni dal PCI insieme a una lettera affettuosa e al tempo stesso piena di amarezza e di inquietudine. Ha appena finito di leggere il suo *Galileo* e si congratula con l'autore per la riuscita del libro, non soltanto ricco e stimolante per le vicende trattate, ma anche pieno di partecipazione e di passione civile. E osserva: «Il *Galileo* è stata una delle più nutrienti e illuminanti letture che ho fatto in questi ultimi tempi tormentosi: illuminante anche nei confronti della mia personale esperienza – *si parva licet*»².

Ma vi è un'altra testimonianza che ci fa comprendere quanto il caso Galileo fosse ben scolpito nelle coscienze e quanto, a distanza di secoli, fosse ancora lì, presente, e bastasse un nulla per farlo balzar fuori in tutta la sua corposità.

È il 24 dicembre, la vigilia di Natale dell'anno 1957, Norberto Bobbio aveva da poco terminato di leggere il libro e scriveva a Geymonat questa lettera:

Carissimo Ludovico,

[...] Il tuo Galileo mi è piaciuto molto. La tua interpretazione è estremamente persuasiva. E la figura di Galileo che tu riesci a rappresentare è affascinante: un gran personaggio, veramente. Uno di quegli uomini, la cui grandezza ti ricompensa dell'amarezza quotidiana di appartenere a una razza composta di tanti imbroglioni e imbecilli e prepotenti pieni di boria. Mi è piaciuta quella sua idea fissa di convincere la Chiesa ad accettare la nuova fisica, quello che tu chiami il suo programma culturale. Prima di arrendersi di fronte al fanatismo, bisogna fare, sino a che è possibile, opera di persuasione. Ci si ritirerà soltanto quando si sia battuta la testa contro il muro. E lui l'ha battuta. Leggendo il tuo libro, mi sono accorto, oltretutto, che di Galileo avevo un'idea molto vaga. Perciò credo che il tuo libro, pur con l'apparenza modesta del libro di divulgazione, sarà letto dai cosiddetti «dotti»; e servirà a rinnovare conoscenze sopite e a scuotere idee. E se servirà, come io credo, a rinnovare lo sdegno contro gli infami e ottusi persecutori, anche per questo il tuo lavoro non sarà stato vano. Tanto più che i persecutori, durante tre secoli di sconfitte, sono oggi più potenti che mai, e pronti, qualora ne avessero l'occasione, a ricominciare³.

A pronunciarle oggi, queste parole, così amare ma al tempo stesso vigorose e coerenti, sembrano provenire da un'altra epoca e da un'Italia lontanissima da quella attuale, tanto sono state soprafatte da altre voci e altre modalità di pensiero. Il secolo appena trascorso si apre e si chiude infatti sotto altre insegne, dominato dal tentativo di riconquista della scienza da parte della Chiesa cattolica. E l'evidenza di questo dato mi pare emerga nettamente anche dal progetto, simmetrico, di riconquista di Galileo e del suo alto valore simbolico attuato dalle gerarchie ecclesiastiche per tutto il Novecento.

«Era uno dei nostri», per parafrasare una pagina famosa di Conrad, appartiene a noi, fa parte della nostra storia: questo è il messaggio che traspare da una lettura complessiva del caso Galileo nell'Italia del Novecento. Che si presenta come un vero e proprio rovesciamento di prospettiva rispetto all'immagine laica, dai connotati fortemente anticlericali, che attraversò gran parte dell'Ottocento, e in particolare il Risorgimento, e che vide come protagonisti Pietro Giordani, Silvestro Gherardi, Guglielmo Libri, Giacomo Manzoni. Così, alla figura di un Galileo alfiere del libero pensiero, crudelmente perseguitato e torturato, ne subentra un'altra di matrice cattolica, di segno opposto ma non meno ideologica della precedente: quella di un Galileo uomo di scienza e di fede, che giunge fino a oggi e viene celebrata come la sua 'vera' immagine.

Agli inizi del Novecento, con la sconfitta del positivismo, il principale eroe della scienza moderna diventava l'obiettivo di una strategia culturale che mirava soprattutto a sottolineare la necessaria concordia tra scienza e fede, l'armonia indubitabile tra la verità dei teologi e le verità, seppure parziali e limitate, della scienza umana. E i tentativi

compiuti per riappropriarsene, anche se non fecero parte all'inizio di un disegno unitario e coordinato, furono molteplici e furono condotti sia dal centro che dalla periferia della Chiesa cattolica.

Il primo segnale forte giunse da Pisa ed ebbe come protagonista Pietro Maffi, il cardinale arcivescovo della città. Autore di numerosi scritti di argomento scientifico, riorganizzatore della Specola vaticana e fondatore della Specola del Seminario di Pavia, dove fu docente di fisica e matematica prima della nomina episcopale avvenuta nel 1904, direttore della *Rivista di Fisica, matematica e scienze naturali* da lui fondata nel 1900, Maffi fu l'ideatore e il tenace propugnatore del primo monumento cattolico a Galileo. Un monumento che nelle sue intenzioni avrebbe dovuto celebrare degnamente lo scienziato pisano come simbolo imperituro della concordia tra scienza e fede, e appunto per questo «la bella statua del Grande», come lui la chiamava, doveva sorgere nel posto più galileiano della città, e cioè in Piazza dei Miracoli, accanto al Battistero, dove Galileo fu battezzato, al Duomo, dove dal movimento di una lampada scopri la legge dell'isocronismo del pendolo, e alla Torre, dove poté sperimentare la legge della caduta dei gravi. Il mito di Galileo, con le sue intramontabili leggende, avrebbe trovato così la sua esatta collocazione in uno dei più suggestivi scenari della cristianità italiana. Maffi portò avanti con determinazione il suo progetto per oltre dieci anni, raccogliendo fondi in Italia e all'estero e trovando ascolto nelle forze politiche cittadine, fino a quando, il 15 aprile 1922, il progetto fu finalmente presentato al Sindaco e alle autorità pubbliche nazionali e locali. Una settimana più tardi, contro ogni aspettativa, in una tempestosa riunione del Consiglio comunale la proposta venne respinta per iniziativa del Folto gruppo dei democratici, che sconfessarono l'operato del Sindaco e della giunta di orientamento liberale che si erano espressi a favore del monumento⁴.

Il progetto del cardinale non si realizzò. Ma ciò che più conta è che esso non affondava le sue radici nella città toscana bensì a Pavia: nella città in cui Maffi svolse gran parte della sua attività di scienziato, e dove l'idea di un monumento al fondatore della scienza moderna ebbe certamente impulso dalle discussioni e dai continui incontri intercorsi tra Maffi e una ristretta cerchia di amici che, come lui, erano uomini di fede e di scienza, e tra i quali spiccava il nome di Agostino Gemelli.

L'ambizioso progetto di riconquista politica e culturale di Gemelli prendeva vigore dopo la sconfitta del modernismo e non passava soltanto attraverso la costruzione di un nuovo soggetto propulsore (l'Università Cattolica del Sacro Cuore) e lo scontro con le istituzioni prima dello stato liberale e poi del regime fascista (si pensi alla 'penetrazione' che riuscì a ottenere dentro l'*Enciclopedia italiana*), ma anche attraverso la riconquista dei simboli della scienza da sempre considerati patrimonio della cultura laica. E su questo piano, tra i simboli da riconquistare vi era certamente quello del fondatore della scienza moderna.

Anche per il milite e scienziato cristiano Gemelli, il francescano Gemelli, la riappropriazione di Galileo diveniva una questione di primaria importanza e materia non

negoziabile. Su questo punto, ma non solo, le posizioni di Maffi e Gemelli erano in perfetta sintonia. Così come lo erano nello spiegare le ragioni che avevano condotto al processo e alla condanna di Galileo. Per Maffi si era trattato di «un episodio d'uomini e di passioni e di difetti umani di un'età, ben più che un episodio della storia della Chiesa». Sulla stessa lunghezza d'onda, Gemelli: «È questa, del processo di Galileo», scriveva nel 1907, sotto lo pseudonimo di Edoardo Love, nella lunga recensione alla pubblicazione integrale dei documenti del processo curata da Antonio Favaro, «una questione oramai, come si suol dire, esaurita; se dallo studio di essa gli uomini escono malconci, la Chiesa però non risente alcuna eco degli errori di questi». Insomma, errore ci fu, ma fu errore di uomini, delle Congregazioni, perché, proseguiva:

La Chiesa non ha mai ostacolato il progresso scientifico e il conflitto tra la fede e la scienza si risolve in un conflitto tra le affermazioni della fede e le concezioni metafisiche di uomini che abusano del nome della scienza [5].

Nel 1942, in occasione del terzo centenario della morte, Gemelli non cambiò opinione e tornò a parlare degli errori commessi dai singoli teologi, ma non dalla Chiesa nella sua totalità.

Il saggio del 1942 è tutto da rileggere, oggi più che mai, anche perché vi si trovano spunti e giudizi che poi saranno ripresi nel contraddittorio progetto di riabilitazione promosso da Giovanni Paolo II. Anche le parole si rassomigliano:

È omaggio della verità, perché, passate di moda le ideologie che a lungo nell'Ottocento fiorirono, e spente le passioni che si agitarono intorno al suo nome, i cattolici non temono di riconoscere lealmente che il processo contro di lui fu un errore [5].

Anzi, per certi versi l'atteggiamento di Gemelli risulta persino più aperto rispetto a certe pubblicazioni patrociniate dalla Commissione Pontificia Galileiana nominata da Giovanni Paolo II nel 1981. A cominciare dal volume fortemente apologetico *Galileo Galilei, 350 anni di storia*, curato dal cardinale Paul Poupard [9], in cui di nuovo viene rivolta l'accusa a Galileo di non aver portato prove sperimentali a sostegno della nuova teoria eliocentrica (come se gli 'altri' avessero avuto dei validi argomenti scientifici da contrapporre, come se le straordinarie novità celesti scoperte in pochi anni – dalle montuosità lunari alle fasi di Venere, ai satelliti di Giove, alle macchie solari – non implicassero la distruzione dell'intera cosmologia aristotelica e non indicassero già quale fosse la nuova strada da percorrere).

Per rendersene conto è sufficiente esaminare più da vicino quest'opera, che il coordinatore della Commissione, il cardinale Gabriel-Marie Garrone, giudicava più di ogni altra «considerevole [...] per la ricchezza degli studi e per l'eccezionale valore delle collaborazioni su ciascun aspetto del problema» [9]. Pubblicata contemporaneamente in francese, inglese e italiano, nella prefazione Garrone suggeriva quale fosse il percorso più idoneo da seguire nella lettura del volume. Prima di affrontare i singoli aspetti della vicenda galileiana, invitava a leggere le pagine finali scritte da Georges J. Bené,

perché «esse», osservava, «danno un'idea perfetta sia dello spirito in cui l'opera è stata concepita sia del clima nel quale la questione di Galileo è oggi trattata e lo deve essere» [9, p. 252]. Il saggio di Bené, professore di fisica sperimentale, e nome del tutto ignoto a chi si occupa di questioni legate a Galileo e alla nascita della scienza moderna, è intitolato *Galileo e gli ambienti scientifici, oggi*, e bastano poche pagine per capire la disinvoltura e superficialità di certe sue apodittiche affermazioni. Scrive:

È inutile soffermarsi sulla sua [di Galileo] concezione errata dell'origine delle maree (dovute all'attrazione lunare e non al movimento della Terra), punto sul quale i suoi contemporanei e specialmente papa Urbano VIII vedevano giusto; né sulla confusione tra movimento relativo e movimento assoluto [...] Nella sua controversia, indiretta, con Bellarmino sul movimento relativo, è Bellarmino che ha ragione e non Galileo [9, pp. 262-263].

Non solo: è la teoria delle maree, scientificamente infondata, «all'origine della sua condanna». In altre parole: se Galileo avesse fornito la vera prova del moto della Terra, l'atteggiamento della Chiesa sarebbe stato diverso. E dunque, la Chiesa non aveva avuto poi tutti i torti a condannare Galileo.

Siamo di fronte a un libro pieno di macroscopici errori e di giudizi a dir poco sconcertanti da un punto di vista storico, un libro che pochi però si presero la briga di leggere attentamente quando uscì. Né a livello accademico né tantomeno a livello giornalistico ci furono risposte degne di nota, e quelle poche non furono neppure lontanamente paragonabili ai mordaci articoli a cui ci aveva abituato Firpo nei suoi interventi sulla *Stampa*. Come accadde il 23 dicembre 1979, all'indomani di un dibattito televisivo su Rai 1 dal titolo *Dopo Galileo*, quando Firpo infilzò da par suo l'illustre protagonista della serata.

Il quale [Antonino Zichichi] sarà – devo credere – un'autorità nel campo nucleare, ma su Galileo e dintorni è riuscito a dire cose inaudite, di quelle che una volta venivano registrate con un due nel registro di classe. Inoltre, egli ha mostrato un'aggressività così intollerante nel dare continuamente sulla voce ai suoi troppo cortesi interlocutori [Danilo Mainardi e Franco Pacini], da arrogarsi gran parte del discorso, e se n'è servito, ad esempio, per dire che la scienza è nata in casa cattolica, che l'evoluzionismo è un'ipotesi tutt'altro che dimostrata, che l'abiura imposta a Galileo è solo 'una mistificazione di massa' e altre amenità strampalate di questo genere, per giunta ripetute con martellante, tautologica insistenza⁵.

Rispetto a *Galileo Galilei, 350 anni di storia*, il libro di Mario D'Addio, *Considerazioni sui processi a Galileo*, si presenta almeno in parte diverso. Anch'esso pubblicato sotto la direzione e gli auspici della Commissione, merita certamente più attenzione, non fosse altro per una ricostruzione particolareggiata delle vicende biografiche galileiane e inquisitoriali. Ciononostante le sue conclusioni non contengono nulla di nuovo rispetto a quelle cui era giunto Gemelli.

È sufficiente leggere le pagine finali per capire il senso che lo anima. Scrive D'Addio: «L'abiura, paradossalmente, gli consentì di riaffermare solennemente la sua volontà di rimanere nella Chiesa, di riconoscere la Chiesa come verità e di dichiarare l'onestà e la sincerità delle sue intenzioni». E poi, ancora:

Egli riaffermava così la sincerità della sua fede nella Chiesa, testimoniava con l'abiura, con la sua umiliazione che tanto l'afflisse, che per il cattolico la verità della Chiesa era il presupposto della verità della scienza [3, p. 120].

Da atto di umiliazione, dunque, ad atto di redenzione: l'abiura finisce così per rappresentare la manifestazione più alta della spiritualità galileiana. Per questo Galileo non uscì sconfitto: egli non fu vittima ma il vincitore di quel conflitto "inevitabile". Non molto diverse erano state le conclusioni di Agostino Gemelli: «Dal conflitto inevitabile, il Galilei parve uscire come vittima; in realtà egli fu il vincitore, e tale si sentiva nel fondo della sua coscienza imperturbata. Imperturbata, essa era, perché non dubitò un momento dell'accordo tra scienza e Cattolicesimo» Naturalmente, per Gemelli, l'intima concordia tra cattolicesimo e progresso scientifico sarebbe stata assai meglio compresa dagli «italiani dell'epoca dei Patti Lateranensi» che dagli «Italiani del Risorgimento» [6, p.27].

Ma torniamo al libro di D'Addio. Quando uscì nel 1985, nessuno, o quasi, lo discusse come invece meritava. E così facendo è stato sottovalutato – in primo luogo dalla comunità degli storici – l'impatto che studi come questi, sostenuti e approvati dalla Commissione Pontificia, avrebbero avuto all'interno del nuovo canone cattolico-galileiano. Così come assai flebili furono le reazioni al discorso di Giovanni Paolo II e all'intervento del cardinale Paul Poupard, in cui di fatto si riaffermava il valore, rispetto al disobbediente e irruento Galileo, della lungimirante prudenza e saggezza dimostrata allora dal cardinale Bellarmino. Basta rileggere le parole del discorso conclusivo di Karol Wojtyła del 1992 – assai deludente rispetto alle aspettative sollevate dal Discorso del 1979 – per rendersene conto:

Egli [Galileo] rifiutò il suggerimento che gli era stato dato di presentare il sistema di Copernico come un'ipotesi, finché non fosse confermato da prove inconfutabili. Eppure si trattava di un'esigenza del metodo sperimentale del quale egli fu il geniale iniziatore [10, pp. 17-18].

Ritorna così l'argomentazione della mancanza di prove, che anticipa la ormai celebre definizione della «reciproca incomprensione», e cioè dell'ammissione di una responsabilità della condanna da attribuire in solido sia alla Chiesa che a Galileo, e che trovava nella relazione del cardinale Poupard la sua formulazione più esplicita:

Il Cardinale Roberto Bellarmino, in una lettera del 12 aprile 1615, indirizzata al carmelitano Foscarini, aveva già esposto le due vere questioni sollevate dal sistema di Copernico: l'astronomia copernicana è vera, nel senso che è suffragata da prove reali e verificabili, oppure si basa solamente su congetture o verosimiglianze? [...] In realtà, Galileo non era riuscito a dare prove irrefutabili

del duplice movimento della Terra, del suo moto annuale di rivoluzione attorno al sole e del suo moto giornaliero di rotazione attorno al proprio asse [...]. Dovevano passare ancora 150 anni prima che si trovassero le prove ottiche e meccaniche del movimento della Terra. [...] Nel 1741, stante la prova ottica dell'orbitazione della Terra attorno al Sole, Benedetto XVI fece concedere dal Sant'Uffizio l'*Imprimatur* alla prima edizione dell'*Opera omnia* di Galileo [10, p. 27].

Come dire: appena l'evidenza delle prove sperimentali si manifestò, la Chiesa non ebbe difficoltà a recepire il sistema eliocentrico — senza però ricordare che l'edizione padovana delle *Opere* di Galileo (1744), curata da Giuseppe Toaldo, venne permessa purché riportasse prima del *Dialogo* il testo della condanna. Dunque, la responsabilità di quanto è accaduto va imputata *anche* a Galileo, che rifiutò il consiglio di aderire a una concezione copernicana ipoteticista e non realista. Sono trascorsi quasi vent'anni dal *Discorso* tenuto da Giovanni Paolo II all'Accademia Pontificia delle Scienze e non mi pare che siano intervenuti fatti nuovi a modificare nella sostanza la posizione delle gerarchie vaticane. Anche la nuova edizione dei documenti dei processi a Galileo non contiene novità di rilievo da questo punto di vista. Né le recenti celebrazioni galileiane, né la pubblicazione del materiale preparatorio della Commissione Pontificia Galileiana hanno dato luogo a interventi e dichiarazioni ufficiali significativi. Siamo ancora lontani dall'ammissione «franca e leale» che quel processo e quella condanna furono atti gravissimi e che, per almeno due secoli, ebbero nel nostro paese pesanti conseguenze, e non soltanto sul piano scientifico.

La riappropriazione di Galileo come simbolo imperituro della concordia tra scienza e fede resta dunque un tratto inconfondibile della strategia attuale della Chiesa. Lo scopo è evidente: la costruzione di una tradizione del pensiero scientifico occidentale in cui Galileo è visto come scienziato e uomo profondamente religioso: *il* precursore di quel progetto di «allargamento della ragione» con cui Joseph Ratzinger, e assai prima del *Discorso di Ratisbona*, si propone di oltrepassare i confini della ragione 'calcolante' di matrice illuministica per ritrovare quella 'sana' ragione caratterizzata dal legame indissolubile tra il 'vero' logos e la fede in Cristo.

Ironia della sorte, proprio nel 1992, nello stesso anno in cui a Roma si riabilitava Galileo e lo si consacrava solennemente uomo di scienza e di fede, a Padova un insigne studioso francescano, padre Antonino Poppi, pubblicava alcuni importanti documenti da lui scoperti nell'Archivio di Stato di Venezia e relativi alle denunce presentate al tribunale dell'Inquisizione di Padova contro Cremonini e Galileo.

Si veniva così a sapere che la prima denuncia contro lo scienziato non è quella rilasciata al Sant'Uffizio romano dal domenicano fiorentino Tommaso Caccini il 20 marzo 1615, da cui prese avvio la vicenda che condusse al decreto anticopernicano del 5 marzo 1616. La prima denuncia risale a molti anni addietro, e precisamente al 21

aprile 1604, quando un tal Silvestro Pagnoni si presentò spontaneamente di fronte ai giudici del Sant'Uffizio di Padova per accusare Galileo di professare l'astrologia divinatoria e di «vivere hereticalmente». Pagnoni era rimasto al servizio di Galileo per quasi due anni, fino al 2 gennaio 1604. Assunto come scrivano, aveva il compito di copiare le dispense da distribuire ai numerosi studenti che frequentavano le lezioni private. Nella denuncia, dopo averlo accusato di fare oroscopi (una pratica allora diffusissima, e che Galileo svolgeva per arrotondare il suo stipendio di professore universitario), Pagnoni dichiarava di averlo più volte «osservato», cioè seguito e spiato:

Io so anco questo, che io son stato 18 mesi in casa sua et non l'ho mai visto andare alla messa altro che una volta, con occasione che lui andò per accidente, per parlare a monsignore Querengo [Antonio Querenghi], che io fui con lui; et non so che lui si sia confessato et comunicato mentre son stato in casa sua. Ho ben inteso da sua madre che lui mai si confessa et si comunica, la qual me lo faceva delle volte osservar le feste se andava alla messa, et io osservandolo, in cambio de andare alla messa andava da quella sua putana Marina veneziana.

E come se non bastasse concludeva così la sua deposizione:

Io credo che la madre sia stata al Santo Ufficio a Fiorenza contro detto suo fiolo, et la strapazza dicendole villanie grandissime: putana, gabrina. *Subdidit* anco che sua madre mi ha anco detto che in Fiorenza glie fu mandato un cartelo a casa dal S. Ufficio [8, pp. 55-61].

Pagnoni dichiarava inoltre che Galileo possedeva le *Lettere* – assai poco spirituali – dell'Aretino.

Il procedimento inquisitoriale contro Galileo (come quello parallelo contro Cremonini, accusato da Camillo Belloni, professore di filosofia nello Studio di Padova, di sostenere la tesi della mortalità dell'anima) non ebbe nessun sviluppo. L'intervento del governo della Repubblica (che certo non apprezzò le accuse di eterodossia rivolte a due suoi illustri professori) mise tutto a tacere, considerando «leggierissime et di nessun momento» le accuse contro Galileo.

Fino a oggi non sono venuti alla luce altri documenti che confermino questi comportamenti della sua vita privata, né sono stati trovati documenti che attestino una precedente denuncia al Sant'Uffizio da parte della madre o un'ammonizione ricevuta dagli inquisitori fiorentini. Si tratta dunque di una denuncia di un servitore rancoroso e malevolo, che per di più vantava credito nei confronti di Galileo? Può darsi. Va detto però che mentre nelle sue opere Galileo si richiama di frequente a un Dio artefice del libro della natura e del libro della Scrittura, e che tali riferimenti svolgono un ruolo decisivo per comprendere la sua idea di scienza reale e oggettiva, né nella fitta corrispondenza epistolare né tra le voluminose carte conservate alla Biblioteca Nazionale di Firenze si trovano accenni che ci fanno pensare a un uomo aduso a pratiche devozionali.

Anzi, pare proprio che al di fuori di questa immagine di un Dio matematico, *creatore* di un ordine «inesorabile e immutabile», e dunque *garante* della vera conoscenza

umana della natura, non ci siano in lui tracce di comportamenti ‘profondamente religiosi’. Neppure nelle lettere (e sono molte) scritte ad amici e familiari durante la sua lunga vita si trovano accenni che depongono a favore di questa interpretazione, a tal punto che persino il cardinale Poupard è stato costretto a riconoscere questa macroscopica e imbarazzante assenza: «Non si può negare che Galileo sia stato non solo un uomo di scienza, ma anche un uomo di fede, pur se conosciamo poco, a dire il vero, i suoi veri sentimenti religiosi» [9, p. 12]. Poupard non trovava di meglio che citare a ‘conferma’ dei «veri sentimenti religiosi» di Galileo, non un suo scritto o una sua testimonianza, ma una lettera consolatoria della figlia suor Maria Celeste inviata al padre all’indomani del processo e dell’abiura.

NOTE

¹ La lettera di Corrado Vivanti è tratta dall'Archivio Einaudi (riunione del Comitato editoriale del 6 maggio 1964).

² La lettera di Antonio Giolitti a Ludovico Geymonat si trova nell'Archivio Geymonat presso la Biblioteca del Museo di Storia Naturale di Milano. La lettera di Giolitti è pubblicata integralmente in [2].

³ Anche la lettera di Norberto Bobbio a Ludovico Geymonat si trova nell'Archivio Geymonat. È pubblicata integralmente in *La Repubblica*, 26 maggio 2009, p. 42.

⁴ Su Pietro Maffi vedi [7] e [11].

⁵ L'articolo di Luigi Firpo "Ma Galileo non è un teologo" uscì su *La Stampa* il 23 dicembre 1979, poi in [4, pp. 356-357].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bucci, S. (a cura di), Intervista a Ettore Bernabei, *Corriere della Sera*, 28 giugno 2005.
- [2] Bucciantini, M., Il nostro addio al Pci. Due lettere inedite di Italo Calvino e Antonio Giolitti a Ludovico Geymonat, *La Repubblica*, 26 maggio 2009.
- [3] D'Addio, M., *Considerazioni sui processi a Galileo*, Herder, Roma 1985.
- [4] Firpo, L., *Cattivi pensieri*, Milano, Mondadori 1983 (ripubblicato, con una premessa di Laura Salvetti Firpo e una postfazione di Saverio Ricci, da Salerno editore, Roma 1999).
- [5] Gemelli, A., Galileo e l'Inquisizione, *La scuola cattolica*, 1907.
- [6] Gemelli, A., Scienza e fede nell'uomo Galilei, in *Nel terzo centenario della morte di Galileo Galilei. Saggi e conferenze*, Milano, Vita e Pensiero 1942.
- [7] Maffi, P., *Lettere pastorali, omelie e discorsi*, SEI, Torino 1912.
- [8] Poppi, A., *Cremonini e Galilei inquisiti a Padova nel 1604: nuovi documenti d'archivio*, Antenore, Padova 1992.
- [9] Poupard, P. (a cura di), *Galileo Galilei. 350 anni di storia (1633-1983)*, Piemme, Casale Monferrato 1984.
- [10] Poupard, P. (a cura di), *La nuova immagine del mondo. Il dialogo tra scienza e fede dopo Galileo*, Piemme, Casale Monferrato 1996.
- [11] Rossetti, G., Il cardinale Pietro Maffi, arcivescovo di Pisa, la sua preziosa biblioteca e il suo progetto di un monumento a Galileo, in Vergara Caffarelli, R. (a cura di), *Galileo e Pisa*, Felici, Pisa 2004, pp. 99-104.
- [12] Simoncelli, P., Galileo e la Curia: un problema, *Belfagor*, 48, 1993, pp. 29-40.
- [13] Viano, C. A., Il Papa e il caso Galileo, *Rivista di filosofia*, 85, 1994, pp. 99-108.

LA CHIESA E GALILEO. UNA CELEBRAZIONE CON GLI INTERESSI

MAURIZIO TORRINI

*Dipartimento di matematica ed applicazioni Renato Caccioppoli,
Università Federico II di Napoli*

Se Galileo avesse dato tempo al tempo, se – come suggerì, 250 anni dopo la sua condanna, il gesuita Carlo Curci, fondatore di *Civiltà cattolica* – non fosse stato intempestivo nell'«aver veduto qualche secolo prima quel movimento della terra del quale oggi nessuno più dubita», avrebbe risparmiato a sé, e soprattutto alla Chiesa, «i mali inestimabili che [essa] ha sostenuto fin qui, e sosterrà chissà per quant'altro in Italia»¹.

Quello del tempo, dell'*intempestività* di Galileo e delle sue idee, è un filo tenace che lega la ripresa ottocentesca dell'*affaire Galilée* sino ai giorni nostri, da Curci appunto, attraverso l'altro gesuita Gaston Sortais², poi padre Agostino Gemelli³, fino al cardinale Poupard, il quale, nel maggio 1990, chiudendo sconsolatamente i lavori della Pontificia Commissione Galileiana, chiedeva ancora «maturazione e tempo» [1, p. 201]. Tempo: ben diverso il *tempo breve* che scienziati, eruditi, filosofi, da Peiresc a Mersenne, a Gassendi – «*catholiques politiques*» – ritennero necessario concedere alla Chiesa per superare l'*incidente* del 1633. Si trattava, nelle loro erronee previsioni, di darne un'interpretazione minimalista, al punto di non parlarne, in attesa di un ripensamento immancabile, favorito dal prosieguo delle osservazioni astronomiche e dal favore crescente verso Galileo e le sue opere, che essi stessi, di nascosto, incoraggiavano⁴. Un errore in cui cadrà lo stesso Leibniz alla fine del secolo quando, in viaggio per la penisola, riterrà di poter rapidamente e agevolmente metter fine al caso [14]. Lo stesso Curci, tuttavia, avrebbe imparato a proprie spese che i tempi della storia – non il copernicanesimo, ma il conflitto sul potere temporale gli costò l'espulsione dall'ordine e la sospensione *a divinis* – non coincidono con quelli della Chiesa.

Singolare richiesta, quella riguardo al tempo, da parte di membri, sempre autorevoli, di un'istituzione sovratemporale, il cui patrimonio di verità, direttamente ispirato e trasmesso ininterrottamente nei secoli, rinnova e conferma la primitiva divina investitura. Poche settimane fa l'arcivescovo di Firenze, commemorando don Lorenzo Milani, ha parlato appunto, anche in quel caso, di idee intempestive.

Una sorta di grottesco e devoto *storicismo*, dove il rapporto aspro tra verità e storia non è dato dal rintracciare nelle idee degli uomini le manifestazioni reali di forze, di strutture, di situazioni, di personalità, che ne facciano cogliere la maturità, e pertanto, pur nella relatività del divenire, le 'verità', ma dall'adeguamento alle nuove idee di un'istituzione che si arroga il privilegio di possedere o di poter stabilire la verità già tutta dispiegata in sé. In altri termini, non la conquista faticosa di una verità (che essa,

Chiesa, già possiede tutta intera per altre vie), ma il contrario: chi ha tutta la verità chiede tempo per riconoscerne i particolari negli accadimenti della storia. Alla *veritas filia temporis* di Montaigne e di Bacone, di Bruno e di Galileo, frutto delle scoperte geografiche e astronomiche che caratterizza l'ingresso nell'età moderna, e alla *libertas philosophandi* che ne deriva e ne costituisce il fondamento, si contrappone non già la verità di Dio, ma quella dei suoi 'storici' interpreti. Gli errori di questi ultimi – mettendo nell'occasione da parte lo Spirito Santo – sono da attribuire al «contesto», del quale vanno analizzate «motivazioni e circostanze» [1, p. 266], alla «situazione storico-culturale molto diversa dalla nostra» [1] – questa bella scoperta è del cardinale Poupard – e a «un errore soggettivo di giudizio tanto evidente per noi oggi, ma che in quell'epoca non era facile superare». Insomma, la Chiesa come una qualsiasi accademia del XVII secolo. Ma quando neppure il 'contesto' basta più, è sufficiente, come pani e pesci, moltiplicarlo: «in verità i contesti sono parecchi e sovrapposti», e via elencando dalla riforma luterana – vi risparmiamo gli intermedi – ai «litigi, beghe, risentimenti, invidie fra luminari e cattedratici»⁵. Resta da spiegare, ovviamente, come un gruppo di uomini, più o meno dotati di fede, abbiano potuto, nonostante i contesti, la loro moltiplicazione, nonostante la «situazione storico culturale molto diversa dalla nostra», penetrare una verità ignorata da chi era invece assistito dalla Provvidenza e dalla secolare conoscenza dei testi sacri e dei loro esegeti, fino a dichiararla falsa e addirittura eretica. Questo è il vero *caso Galileo* di cui la Chiesa non sa darsi pace.

Ma se Galileo, oltre alle proprie idee e scoperte, avesse dato tempo anche a se stesso, il 26 maggio di questo 2009 si sarebbe tolto una bella soddisfazione nel vedersi festeggiato da quel medesimo arcivescovo in quella basilica di Santa Croce, dalla quale, per quasi un secolo, i predecessori e i superiori del presule avevano fatto di tutto per tenerlo lontano, cominciando col «far passare all'orecchia... del Gran Duca» – con la salma di Galileo ancora calda – che «non è bene fabricare mausolei al cadavere di colui che è stato penitentiato dal Tribunale della Santa Inquisizione». Sorte peggiore toccò al suo giovane successore Evangelista Torricelli, per il quale non è valse neppure la consolazione del tempo, poiché gli venne negata la sepoltura in San Lorenzo senza nessuna colpa se non l'aver avuto Galileo per maestro. Solo nel 1734 La Congregazione del Sant'Uffizio diede il via libera all'erezione del monumento funebre a Galileo – purché non offrisse occasione di recriminazioni nei confronti della Chiesa – tal quale è oggi, inaugurato il 6 giugno 1737, dopo che nel marzo antecedente vi si era depositata la salma, inumata fino allora in un ripostiglio sotto il campanile della basilica. La disposizione testamentaria di Galileo di essere seppellito in Santa Croce – ovviamente non ancora Pantheon degli italiani – non era dettata dall'ambizione, più volte rimproveratagli in ambito ecclesiastico, ma solo dal desiderio di raggiungere il padre nel sepolcro di famiglia. Alla cerimonia della traslazione, il 12 marzo 1737, con larga partecipazione della cultura laica, o meglio massonica, toscana, non prese parte nessun rappresentante dell'autorità religiosa. Non ci fu, in ossequio alle precauzioni dettate dalla Congregazione romana, nessuna orazione funebre, riservata alle sale più discrete delle accademie fiorentine⁶.

Triste paese quello che affida la memoria dei propri eroi, in questo caso persino martiri, ai persecutori di un tempo. Chissà se il prossimo 150° anniversario dell'Unità d'Italia non venga promosso o affiancato da qualche iniziativa di circoli borbonici – che non mancano – o addirittura dagli austriaci, con maggiore equanimità, di certo, indicando nella soppressione dei beni ecclesiastici il tema centrale da approfondire nell'occasione. D'altronde, appena ieri, ci è capitato di dar conto di un gruppo di volenterosi – di destra, di centro, di sinistra – impegnati a ricercare l'identità italiana nei repubblicani di Salò [17, pp. 103-13]. Dare tempo al tempo.

Così, nel caso Galileo, il convegno più significativo, propagandato, più seguito dai *media*, il più autorevole per durata e per platea degli interventi, è stato promosso, nell'anno che voleva celebrare le prime decisive scoperte celesti, non già dallo Stato italiano, che pure aveva nominato un Comitato nazionale e stanziato fondi via via più avari, ma dalla benemerita Fondazione Niels Stensen dei Padri Gesuiti. Iniziativa alla quale hanno prontamente aderito le grandi istituzioni culturali dello Stato, dai Lincei in giù: 18 ne elenca il programma. La fondazione ha pensato bene di affidare l'organizzazione 'tecnica' dell'incontro (26-30 maggio 2009) a un comitato scientifico *laico*, riservandosi non solo, *comme il faut*, la cornice degli eventi – Santa Croce, il presidente della Repubblica, l'arcivescovo di Firenze – ma la scelta del tema: *il caso Galileo*. Tema del tutto estraneo al biennio glorioso 1609-10 che si voleva celebrare e che ancora compariva sulla locandina del convegno fiorentino: *Galileo 2009*. Si rileggano le lettere, i programmi, che Galileo spediva dal Veneto al segretario del Granduca, Belisario Vinta, per guadagnarsi il ritorno a Firenze, dove del tema centrale del caso Galileo, cioè scienza e fede⁷, non v'è traccia, e nel quale egli fu trascinato – è proprio il caso di dirlo alla lettera – negli anni a venire dai suoi oppositori ecclesiastici di vario grado, colore e intento, ma con i gesuiti presto alla testa. Vero è che taluno, approfittando dell'attuale contesto, ha cercato e tuttora cerca di far credere che non la natura, il mondo, le sue leggi, i suoi fenomeni, fossero il vero fine della ricerca di Galileo, per il quale volle e indossò le vesti del filosofo, ma Dio e le sue manifestazioni, trasformandolo in uno Zichichi qualsiasi.

«Per guardare negli occhi di Galileo occorre decifrare la storia interiore, occorre documentare e, correndo qualche rischio laddove l'euristica non soccorra appieno, intuirne [insomma, inventare] il dramma spirituale che lo prostrò e lo consumò non meno delle durezze, delle malevolenze e delle persecuzioni sperimentate nella seconda parte della vita». Così, dopo averlo fissato negli occhi, mettendo da parte ogni documentazione, si potrà affermare che il caso Galileo è «solo il riverbero epistemologico della sua ricca spiritualità e delle sue sincere e costanti preoccupazioni ecclesiali». Qui sta la «vera grandezza» di Galileo, che «avvolge e supera quella dello scienziato e del maestro»⁸. Ma in questo caso non c'è tempo o contesto che tenga: si lascino perdere gli affaticati occhi di Galileo e si leggano invece le sue parole!

Lungo gli oltre quarant'anni della sua vita che lo separano dal *Sidereus nuncius* (1610), prima cioè degli attacchi lanciati dai pulpiti, non c'è riga di Galileo o dei suoi

interlocutori che autorizzi un sospetto del genere. Dopo la condanna di Copernico (1616) e soprattutto di Galileo (1633), il problema ovviamente sorse, ma il caso Galileo è tutto da parte della Chiesa e dei suoi rappresentanti – e come tale fu visto subito dai contemporanei –, chiamati ad affrontare il tema inaspettato e ignoto dell'affermazione di una verità di fatto, rapidamente confermata da studi e osservazioni di ogni genere e di ogni parte, da loro negata, davvero *intempestivamente*, per esser dichiarata poi eretica⁹. L'algido Cartesio, dalle sue gelide pianure olandesi, confidò, tanto era evidente e convincente il copernicanesimo di Galileo – non solo per lui – che anche i garanti scientifici della condanna, come il gesuita Scheiner, non potevano in cuor loro pensarla in modo diverso, e colse, tanto da restarne atterrito, la tragedia di un'istituzione come la Chiesa che faceva ricorso a un articolo di fede per sostenere un errore¹⁰. Uno *shock* dal quale la Chiesa cattolica non si è più ripresa, costretta a un inseguimento senza fine, che ne ha sancito la separazione dal pensiero moderno, che da lì prese le mosse. Shock, che se ha ammaestrato la Chiesa a farsi prudente nell'affrontare le questioni di scienza, non l'ha distolta dal perseguire e condannare quelle di filosofia e quelle strettamente connesse, incapaci di per sé a trovare conferma e verifica nei fatti. Così si guardò bene dal mettere all'Indice Newton e Darwin, ma non dal perseguire e condannare newtoniani e darwinisti, da Francesco Algarotti e il suo elegante *Newtonianismo per le dame* (1737), all'oscuro, allora, vallombrosano Ferdinando Facchinei, gettato in carcere per aver scritto una biografia, rimasta *of course* inedita, di Isaac Newton, dal povero priore di Quarate d'Enna, Raffaello Caverni, insigne studioso di Galileo, tiepidamente evoluzionista, al gesuita Teilhard de Chardin, ammonito in vita e in morte per aver cercato di interpretare alla luce dell'evoluzionismo filosofia e teologia.

Si è detto dei filosofi: qui nessuna resipiscenza, né rimorso, né cerimonie riparatrici, a cominciare proprio dal sepolcro di Galileo in Santa Croce, che le autorità ecclesiastiche, sempre vigili, pretesero non venisse vegliato dalla statua della Filosofia, che insieme alla Geometria e all'Astronomia avrebbe dovuto completare il monumento. Da Montaigne, condannato postumo – e chissà cosa avrà provato il poveretto tratto fuori dal Paradiso in cui sicuramente un Dio misericordioso, capace, come ogni buono storico, di leggere in quell'animo, lo aveva destinato – a Giordano Bruno, questi direttamente arso vivo, da Bacon a Locke, da Descartes, a Spinoza, a Malebranche, e su fino ai quasi contemporanei Croce e Gentile. Insomma, tutta la storia della filosofia moderna dell'Occidente. I grandi, ma insieme una miriade di piccoli e di minimi, poveri diavoli scovati ovunque, in remote province, in siti isolati, in oscuri conventi. Con un dispendio di mezzi, di carta, d'inchiostro, ininterrotto, ripetitivo, noioso, che dall'apertura degli archivi vaticani ci sta quotidianamente sommergendo. Un'impresa disperata, una macchina mastodontica volta solo a distruggere, sempre in ritardo ovviamente, e via via sempre più inutile, volta a censurare, minacciare, a condannare ciò che il *suo* tempo non aveva fino allora contemplato e spesso neppure pensato. Viene data vita, in qualche occasione, a vere e proprie *macchiette* filosofiche, come quella in cui fu attore il fondatore dell'Università cattolica del Sacro Cuore e presidente della

Pontificia Accademia delle Scienze, padre Agostino Gemelli – per restare nell’orticello che la Chiesa universale ha mostrato di curare particolarmente negli ultimi secoli – il quale, alla soglia degli anni Trenta del secolo scorso, inaugurando a Firenze la prima Esposizione Nazionale di Storia della Scienza, con la cinica protervia che gli veniva dal contesto politico di quegli anni, dichiarò i rapporti tra scienza e filosofia tutti risolti «nella concezione medioevale», nella quale si compongono «le particolarità della scienza nell’università del sapere... subordinando la conoscenza delle cause prossime a quella delle cause ultime». Lapidariamente indicato il testo dove tutto questo si risolveva: il *De reductione artium ad theologiam* di San Bonaventura¹¹. Era il 1929! Si volgeva in caricatura quanto altrove, a partire da Étienne Gilson, con altri intenti, altra dottrina, altra autenticità, e soprattutto altri risultati, si andava cercando. In altri tempi e in altre istituzioni di ricerca si sarebbe potuto immaginare di spingere qualche bravo giovane a una tesi di storia della filosofia moderna in Occidente, distesa secondo i precetti di Santa Madre Chiesa, per vedere a quali abissi ci avrebbe condannati l’ubbidirle. Sì che la soppressione appena ieri dell’istituto a ciò preposto – l’Indice dei libri proibiti – non è apparsa un tardivo ravvedimento, quanto piuttosto la presa d’atto di un secolare fallimento.

Ma torniamo a Galileo. Perché il caso Galileo, perché scienza e fede o fede e scienza per celebrare le scoperte celesti del 1609-10, *nuovi mondi e verità celesti*? Perché anteporre un problema che maturerà, è vero, a causa di quelle, ma che cronologicamente e concettualmente è distante e poteva non prendere affatto quella forma – che infatti altrove e in altri contesti non prese – e che certo non fu volontà di Galileo? Certo, poi, conflitto e condanna vi furono e operarono a lungo in Italia e in Europa, come ogni buon convegno di studi galileiani ha dato conto trattandone, a partire dal 1983 con *Novità celesti e crisi del sapere*, fino al recente *Largo campo di filosofare. Galileo 2001*, organizzato dalla Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, dove un terzo degli atti pubblicati è dedicato a *Galileo y la Iglesia*.

Tutto diverso il nostro caso: il riferimento al biennio glorioso 1609-10 è preso a pretesto e rischia, o meglio vuole, schiacciare Galileo in un problema che non fu il suo, che non scelse, né volle, facendo scomparire o mettendo in secondo piano il suo vero progetto e il suo ruolo storico, suggerendo che se vale la pena, oggi, di parlare ancora di Galileo è solo in relazione allo *scandalo* cui diede luogo. Le sue ragioni, le sue considerazioni, le sue osservazioni, tra successi e insuccessi, il ruolo riconosciutogli di «nuovo Americo» e di «Colombo», il Galileo trionfante a cui Keplero chiede vele per navigare nell’immensità dei cieli, al quale principi, filosofi, curiosi, chiedono da tutta Europa lenti e lumi, il Galileo dello straordinario carteggio col quale prelati, gentiluomini, artigiani, amici e discepoli formano il coro del nuovo sapere, il Galileo che dialoga con Mersenne e Cartesio, con Hobbes e con Grozio, con Keplero e con Gassendi, al quale, mentre la Chiesa lo condanna al silenzio e al «continuato carcere» d’Arcetri, l’Europa colta offre cattedre e collane d’oro, stampa e traduce le sue opere, tutte – e non solo quelle copernicane – vietate in Italia (primo esempio della solidarietà internazionale

della *république des lettres*), tutto questo è sostituito, sottaciuto, subordinato, distorto dal conflitto con la Chiesa, anzi con la fede. Un proposito perverso e come tale non ingenuo, né innocente. Vero è che qualche settimana avanti un altro incontro – promosso dalla laica, dobbiamo credere, Fondazione Luigi Firpo – ha affrontato lo stesso tema, in qualche caso con i medesimi relatori, ma questo dimostra solo la differenza che passa tra chi ha un progetto, perverso che sia, e chi, non avendone alcuno, si accomoda con quello altrui, confidando che il rispetto dell'euristica valga bene una messa: il lassismo e l'indifferenza di oggi sono figli della repressione e della prepotenza di ieri¹².

Qual è dunque il fine? Metter termine alla plurisecolare questione, riconoscere torti e ragioni? O, come suggeriva il cardinale Poupard, dimostrare che tutti «agirono in buona fede, pur commettendo degli errori» [1, p. 268]? Voltare pagina, guardare con l'esperienza di un tragico episodio di ieri coraggiosamente ai problemi di oggi, come sembrano auspicare le buone, ma mal fondate, intenzioni del Gruppo di studio *Christi fideles laici*, cercando di 'anticipare' finalmente i tempi? Se di questo si fosse trattato, sarebbe stato sufficiente ristampare un aureo libretto di padre Giovanni Semeria, che in 75 facciate, più di un secolo fa, invitava la sua Chiesa a chiudere quelle pagine, a riconoscere con San Tommaso che «Dio governa ogni cosa secondo la sua natura» e che per l'avvenire, «sapendo di non poter contare», per la scienza, «su una indefettibile assistenza divina», ci si sarebbe dovuti giovare «più energicamente dei mezzi e degli spedienti scientifici di ricerca» [15, p. 74]. Belle parole, bei propositi, ma inetti a permettere alla Chiesa di esercitare quel «potere ricevuto da Cristo» di «governare le intelligenze» anche «al di fuori delle materie strettamente definite» [16, p. 36]. E difatti nel convegno fiorentino non si è parlato di Semeria — che ebbe al tempo i guai suoi — ma molto di San Bellarmino.

Certo, il tempo ormai trascorso da quel fatale 1633 ha fatto comprendere che insistere ancora su tutto un armamentario che, a lungo, ha rappresentato le barricate estreme — e che pure andava e poteva esser mantenuto — non era più sufficiente, a cominciare dall'«irresponsabilità» del pontefice, a garanzia che la verità poi provata non era mai stata 'legalmente' negata dal rappresentante di Dio in terra (del resto, come sarebbe stato possibile?). Per proseguire poi con l'inadeguatezza di Galileo ad affrontare temi teologici e filosofici, con le sue carenze scientifiche, per non esser riuscito a dare la prova del moto della terra e aver così indotto egli medesimo in errore i suoi persecutori, rifiutando persino, presuntuoso qual'era, di ricorrere all'aiuto di Keplero, peraltro condannato dalla Chiesa ancor prima di lui. Qualche zelante — ce ne sono sempre — ha pensato bene che valesse la pena di travestire Galileo da ingenuo positivista, portatore di una rozza deterministica concezione della scienza, al quale il cardinale Bellarmino — non a caso divenuto poi santo — formatosi al circolo di Vienna a braccetto di Mach e Musil, per incarnarsi infine in Popper, avrebbe inutilmente cercato di aprire gli occhi sull'uso ipotetico della scienza. Tesi che finalmente trionfa nell'articolo di Severino sul *Corriere della sera* (27 maggio 2009), per il quale la «Chiesa che oggi si pente» è «meno avanzata» di quella che condannò Galileo, perché il già citato santo «ebbe a possedere

della scienza, matematica compresa, lo stesso concetto che la scienza ha oggi di se stessa: di non essere un sapere necessario, ma soltanto ipotetico, probabile, falsificabile». Da qui dev'esser nato tutto l'equivoco e la tragedia della filosofia moderna, da Kant a Husserl la quale, ignara delle scoperte del professor Severino, ha seguito a confrontarsi con Galileo, invece che con San Roberto Bellarmino. Neppure Giovanni Paolo II, lo vedremo, ha osato spingersi così in alto. Naturalmente Severino chiosa e chiude: «questo guardando al puro contenuto concettuale della controversia, non al contenuto storico-sociale in cui essa si è svolta». Anche per il filosofo Severino sono, insomma, i contesti che imbroglia tutto. Noi, poco abituati a frequentare santi e cardinali, nonché i puri concetti, non riusciamo sinceramente a capire da dove ci giungerebbe quel «puro contenuto concettuale»: ma questo è un altro discorso.

Altri in alternativa, ma sempre zelanti, hanno sostenuto più prosaicamente che il santo cardinale aveva tutti i titoli per interloquire in questioni astronomiche, visto che «l'interesse per l'astronomia caratterizzava da generazioni la famiglia materna» [2, p. 286]. Papa Giovanni Paolo II è stato, come si addice all'uomo d'azione qual era, più *tranchant*: lasciando da parte puri concetti, disquisizioni epistemologiche e precedenti genetici, ha fatto di Bellarmino il verace Galileo - un vero e proprio miracolo -, perché obbligando Galileo a «presentare il sistema di Copernico come un'ipotesi, finché non fosse confermato da prove inconfutabili», non faceva altro che applicare «un'esigenza del metodo sperimentale del quale egli [Galileo] fu il geniale iniziatore» [1, p. 249]. Insomma, il poveretto non avrebbe riconosciuto in Bellarmino il suo migliore allievo! Ora, a parte lo Spirito Santo che anche in questa occasione non sembra aver assistito il Santo Padre - ma, come aveva avvertito padre Semeria, in questioni di scienza può capitare - è mai possibile che fra gli autorevoli membri della Commissione Pontificia creata *ad hoc* o fra i dotti della Pontificia Accademia delle Scienze non ve ne sia stato uno in grado di spiegare al papa che le «sensate esperienze» e le «necessarie dimostrazioni» galileiane sono cosa diversa dalle prove inconfutabili che Bellarmino esigeva, le quali, inoltre, hanno poco a che fare con il «metodo sperimentale», più newtoniano, comunque, che galileiano? Non sarebbe bastato mettergli sotto gli occhi l'*Introduzione alla Critica della ragion pura* di Kant? Oddio, dimenticavamo: anch'essa era stata condannata nel 1827.

Altri ancora, delusi dalle malinconiche prove di chi aveva cercato nell'aristotelismo contemporaneo, o ancor più addietro nelle discussioni scolastiche, le fonti, occulte, del pensiero galileiano, hanno persino immaginato un percorso alternativo: non nell'opera di Galileo, Cartesio, Keplero andava ricercata la nascita della scienza moderna, ma in quella di Clavio, di Scheiner, dei maestri del Collegio romano della Compagnia di Gesù, e persino - udite, udite - di Athanasius Kircher, dei suoi gatti catottrici, delle macchine vomitanti, delle anime dei dannati proiettate dalla lanterna magica. Ma neppure valeva più la pena di buttarla su un miserabile storicismo, che pretendeva di giustificare l'accaduto puntando sui tempi e sui caratteri ferrigni - puntigli, duelli, passioni, ambizioni, ripicche - che avrebbero fatto perdere la testa a tutti, scienziati, filosofi, teologi, Galileo e Urbano VIII inclusi¹³: *I tre moschettieri*, insomma.

Né miglior sorte ha avuto il ricorrere al comportamento morale - privato - di Galileo, convivente con una donna di dubbia onorabilità, comunque abbandonata appena intravisto l'inizio della scalata sociale, padre aguzzino che costringeva per interesse le figlie a monacarsi, rispetto, ad esempio, alla condotta di un gesuita come Scheiner, suo pervicace avversario che, andando alla Corte di Vienna (in verità come confessore dell'Arciduca Carlo e non come matematico e filosofo), non lasciò «son identité et son passé derrière lui»¹⁴. Seguitò, è vero, a negare il sistema copernicano, ma almeno fu buono, e soprattutto non convisse, né monacò figlie, che peraltro non aveva. Insomma, se la Chiesa si era comportata male con Galileo, non è che Galileo fosse poi uno stinco di santo [20, pp. 118-19].

Tempo perso, argomenti triti, si è detto, incapaci tutti di far dimenticare l'errore macroscopico di partenza, quello di non aver saputo riconoscere una verità di fatto. Rispetto ai quali la trovata del povero Vincenzo Viviani, l'ultimo discepolo di Galileo come amò definirsi, di «passarsela» con l'«accidente» del processo, chiamando in causa addirittura la Provvidenza a dimostrazione di come anche i grandissimi - Galileo, il suo maestro - possano cadere in errore, se fosse stata sincera (e non lo era), sarebbe apparsa almeno pia.

Ma tutto questo, si è detto, non andava oltre un apparato difensivo: barriere, trincee più o meno efficaci che non consentivano né sortite, né controffensive, col rischio di una resa completa, quella stessa chiesta di fatto dal Semeria. Meglio porsi fuori del tempo storico, meglio trasformare un evento da relativo in assoluto: il caso Galileo dimostra che esiste un problema, un conflitto di scienza e fede, che nasce sì con Galileo — con la scienza moderna, cioè — ma non si è risolto, né poteva risolversi con quello. Il problema, modificato e modificantesi, rimane, destinato di continuo a ripresentarsi, eterno, come le domande che accompagnano la vita dell'uomo. «Il caso Galilei non potrà mai dichiararsi completamente chiuso, archiviato», proclama Nicola Cabibbo sul *Sole 24 ore*: seguirà «ad eccitare l'interesse degli storici della scienza e di quanti vogliono affrontare le questioni inerenti ai rapporti tra scienza e fede». Monsignor Ravasi - presidente del Pontificio Consiglio della Cultura - prefando il volume *Galileo e il Vaticano*, «proprio in occasione dell'attuale quarto centenario delle rilevazioni galileiane col cannocchiale», parla della «vicenda che coinvolse lo scienziato toscano» come di un «paradigma esemplare a cui si rimanda instancabilmente», e pertanto quella vicenda «non può essere *accantonata* attraverso la pura e semplice analisi storiografica», con buona pace e buon lavoro per i volenterosi e ingenui 'accantonatori' riunitisi a Firenze in Santa Croce¹⁵.

Galileo e la Chiesa che lo condannò nel 1633 avrebbero insomma incarnato, inconsapevolmente il primo, con la consapevolezza del suo secolare magistero la seconda, un dramma eterno, avrebbero fatto emergere un problema assoluto, una volta spogliatolo dalle sue circostanze storiche — i noti contesti — un «puro contenuto concettuale», destinato a riproporsi a ogni passaggio o momento della ricerca scientifica. Si lasci dunque che gli storici se la vedano fra loro con quella libertà che, ahimé, nessuno oggi

oserebbe comprimere, si suggerisca loro magari e con discrezione il tema, si aprano gli ultimi cassetti degli archivi, si evidenzino pure insufficienze, errori, arbitrii persino, di chi in quel contesto storico si trovò ad affrontare - miserello - quell'eterno conflitto, tutto servirà e dovrà servire a proclamare, con la maggior enfasi possibile, che il caso Galileo non fu e non è il comportamento della Chiesa e delle sue istituzioni - e come tale è chiuso - ma una tensione inesauribile, quella tra scienza e fede, alla quale nessuno scienziato e nessun uomo, di fede o no, potranno sottrarsi.

Più abile, in questo contesto, di tanti storici del passato convocati per l'occasione, a cogliere i segni del presente — per nulla interessata alle sirene epistemologiche del professor Severino (e che farne, infatti?) — la Chiesa ha capito che quel che conta è, come si dice, il messaggio. I contenuti del convegno — di alto livello come garantisce l'eccellenza degli intervenuti — finiranno magari *accantonati* in qualche bel volume di atti, ma intanto la pubblica opinione ha introiettato che un folto gruppo di dotti, in tocco e in toga, ha sancito di fronte alle autorità, laiche e religiose, e per di più in chiesa, faccia a faccia con il sepolcro di Galileo che, proprio a partire dal fondatore della scienza, esiste quel problema, quel conflitto. In quella circostanza storica la Chiesa di allora non si dimostrò forse all'altezza, con molte attenuanti tuttavia, ma come ci assicura l'illuminato monsignor Ravasi, «sulle macerie degli errori del passato è necessario edificare un diverso approccio tra scienza e fede». Un «confronto» e un «dialogo» che da un lato «neutralizzi» la «tentazione del teologo di perimetrare i campi della ricerca scientifica e di finalizzarne i risultati apologeticamente a sostegno delle sue tesi», ma che dall'altro «faccia abbandonare allo scienziato l'orgogliosa autosufficienza che gli fa relegare la teologia nel deposito dei reperti di un paleolitico intellettuale» [1, p. 6].

Proviamo ad uscire dal *pathos* galileiano: che cosa vogliono dire queste parole? Un complesso di discipline di debole, ormai, ispirazione unitaria dovrebbero confrontarsi e dialogare con un sapere (la teologia), ottenendone in cambio che questo non limiti (ma in nome di chi e con quali mezzi?) il suo campo di ricerca e che non ne utilizzi i risultati per confermare le proprie verità. Per ottenere questo bel risultato la scienza dovrebbe solo metter da parte la sua «orgogliosa autosufficienza»: un giudizio di merito che non si sa qual tribunale dovrebbe emanare, dove peraltro non è dato sapere come si trapassi dalla semplice autosufficienza — che sembra già un errore (o un peccato?) — a quella, davvero deprecabilmente, orgogliosa. Qualche esempio avrebbe aiutato a chiarire. Che so: Galileo, Newton, Darwin, Einstein, quale autosufficienza avrebbero ostentato? Par di capire, comunque, che sarebbe proprio la teologia a rilasciare alla scienza una patente di buona condotta e a riempire di contenuti gli spazi lasciati vuoti dalla sua rinuncia all'orgogliosa autosufficienza¹⁶. Un salto nel passato, insomma, prima di Galileo, prima che questi ci insegnasse (costretto da una forzata autodifesa) che esistono campi e saperi distinti, che cosa diversa è conoscere come va il cielo e altro è sapere come si va in cielo, e che il dialogo, come fu per Galileo, avviene con la propria coscienza, con la *propria* fede, non con la teologia e la Chiesa. Chi garantirebbe, inoltre, che i teologi di oggi (o di domani) non incorrerebbero in errore come al tempo di Galileo? Forse che

il contesto di oggi, a differenza di quello di ieri invocato per giustificarli, ha cessato la sua azione?

Sarebbe far torto all'intelligenza di monsignor Ravasi e dei suoi sodali credere che possano mai aver pensato, sia pure per un attimo, che vi sia un solo scienziato giapponese o indiano, cinese o svedese, un qualsiasi ricercatore impegnato nei grandi centri di ricerca degli Stati Uniti, del Canada, dell'Europa, preoccupato di tener aperto quel tipo di dialogo e di confronto. Se la Chiesa avesse pensato, ma non l'ha fatto, di chiedere agli scienziati una riflessione sul significato del proprio lavoro, sugli obiettivi della ricerca, sull'uso della tecnologia, avrebbe promosso un incontro nel nome di Pascal più che di Galileo, avrebbe chiamato a discutere su scienza e etica, e non su scienza e fede. Ma sui grandi e terribili temi etici che la scienza del Novecento ha posto di fronte all'uomo, la Chiesa è stata singolarmente parca di parole. Lo è stata sul tema della razza, come su quello dell'atomica, lo è sul tema dell'ecologia. In realtà, chi ha naso annusa un'aria terribilmente domestica in tutto questo affaccendarsi intorno a Galileo, al caso Galileo, a scienza e fede, come i mesi che hanno preceduto e seguito l'evento fiorentino stanno a dimostrare.

D'altra parte, che tipo di dialogo, di confronto, sarebbe mai questo, tra un sapere frammentario, caratterizzato da metodi e da procedure più che diverse, spesso distanti, tenuto insieme solo da quella libertà della ricerca che proprio con Galileo è nata e di cui egli è il simbolo, e una fede - quella cattolica, perché è solo di questa che si tratta - strutturata in verità date e certezze infrangibili, incarnata in una Chiesa, a capo della quale sta un sovrano reso infallibile per dogma? Dove sarebbe un'istituzione di pari grado, capace e soprattutto vogliosa di rappresentare la scienza, tutta la scienza, in un confronto imposto, del quale da 400 anni non sente la necessità? In realtà, al di là delle affermazioni roboanti, dei proclami dal sapore universale, la Chiesa mira più prosaicamente a ottenere un lasciapassare per sedersi al tavolo, e spesso sopra il tavolo, dove si discute non già di scienza, ma delle sue conseguenze sulla nascita e la morte degli individui, poco curandosi, è stato osservato, della loro vita. I suoi veri interlocutori non sono gli scienziati, ma coloro che decidono le leggi e le norme con cui quegli eventi vanno regolati, accusando chi si oppone a questa invadenza e ne contesta la legittimità di essere, a scelta, un tardivo anticlericale o un «bieco illuminista», ma soprattutto non aggiornato - come ha voluto dimostrare il convegno fiorentino organizzato dai Padri Gesuiti - sull'evidenza e sull'urgenza del problema scienza-fede.

Condannato e incarcerato in vita, perseguitato in morte, vilipesane la memoria, oggetto di paragoni e confronti a dir poco indecorosi, celebrato oggi per fini estranei e opposti al suo pensiero, quale che sia stata la sua fede, Galileo ha avuto con la Chiesa, dal suo tempo al nostro, un rapporto tragico. E non solo per lui: «il dramma di Galileo fu una vera tragedia. La necessità che di certe cose si debba parlar sottovoce, sussurrando, entra da allora nel profondo delle coscienze. E ci rimane, fino a diventare una malattia endemica. Una tara dalla quale non è facile liberarsi» [8, p. 15].

NOTE

¹ [5, pp. 125-26]. Su Curci e i problemi qui evocati vedi [19, pp. 145-52].

² Che invitava Galileo al «silenzioso rispetto», anche quando avesse avuto «l'evidenza della verità del suo sistema» [16, p. 34]; mentre l'altro gesuita Adolph Müller rilevava che «all'ardente astronomo fiorentino» mancava la «pazienza scientifica» [12, p. 157].

³ «Tempo, tempo per maturare, per riflettere», avrebbe chiesto la Chiesa a Galileo [16, p. 14].

⁴ Vedi ora Garcia, S., *Peiresc et l'affaire Galilée, ou la malaise d'un citoyen catholique de la République des lettres*, in [7, pp. 91-104].

⁵ Spreafico, S., *Preistoria, storia, significato di un processo*, in [11, p. 54].

⁶ Vedi Galluzzi, P., *I sepolcri di Galileo. Le spoglie "vive" di un eroe della scienza*, in [4, pp. 145-82].

⁷ Come è stato subito, a ragione, ribattezzato sui giornali. Di "Scienza e fede in dialogo" parla *Famiglia Cristiana* (31 maggio 2009), con una finestra su *Galileo, un nuovo processo*, mentre il supplemento del giornale della Confindustria, *Il Sole 24 ore* (10 maggio 2009) intitola "Galileo, il caso è riaperto", preceduto da un corsivo di Nicola Cabibbo – presidente della Pontificia Accademia delle Scienze – dal titolo *Dialogo nel nome di Stensen*, per far capire in quale direzione il caso andasse a riaprirsi. "Il processo a Galileo torna in Santa Croce, Scienza e fede faccia a faccia proprio come allora", annunciava *la Repubblica* (24 maggio 2009), mentre sul *Corriere della Sera* il ricordato Cabibbo incrociava la spada, si fa per dire, con Emanuele Severino.

⁸ *Introduzione* a [11, p. 7].

⁹ Significativamente, Cabibbo nella presentazione del convegno fiorentino riesuma la suggestiva, ma infondata tesi di Pietro Redondi [13], secondo cui non il copernicanesimo, ma l'atomismo sottostante al *Saggiatore* avrebbe determinato la condanna del 1633. Una tesi assai gradita alla Chiesa, che sarebbe così colpevole di aver condannato un reato d'opinione – uno più o meno che differenza avrebbe fatto – e non una verità di fatto.

¹⁰ Ma era lo stesso Galileo a avvertire i teologi che:

Volendo fare materia di fede le posizioni attenenti al moto ed alla quiete del Sole e della Terra, vi esponete a pericolo di dover forse col tempo condannar d'eresia quelli che asserissero la Terra star ferma e muoversi di luogo il Sole: col tempo, dico, quando sensatamente o necessariamente si fosse dimostrato la Terra muoversi e 'l Sole star fisso.

Si tratta di una postilla di Galileo alla propria copia del *Dialogo*, conservata nella Biblioteca del Seminario di Padova, riprodotta anche in facsimile: Olschki, Firenze 1999.

¹¹ Gemelli, A., *Rapporti di scienza e filosofia nella storia del pensiero italiano*, in [3, pp. 357-97]; vedi [18, pp. 41-44].

¹² Nella cronaca di Salvetti e Sciara del convegno torinese (che leggiamo su *Bruniana & Campanelliana*, 15, n. 1, 2009, pp. 241-43), pare di capire che molti degli interventi hanno denunciato il rischio di una «nuova Controriforma» e il tentativo delle gerarchie ecclesiastiche di «portare Galileo nel proprio seno». Ne prendiamo atto, ma ciò non toglie nulla a quanto detto sulla scelta del tema e i suoi effetti mediatici.

¹³ Dato che «l'astronomia era la passione del tempo», si determinò «una forte tensione *esistenziale*» (corsivo nostro), caratterizzata dal «particolare *animus* di una società colta» che spesso suscitò «gelosie, il puntiglio, il partito preso, il gusto di mettere alla berlina il proprio contraddittore» [6, pp. 1-2].

¹⁴ Harris, S.J., *Les chaires de mathématiques*, in [10, p. 258].

¹⁵ [1, pp. 5-6]. Ma all'attento lettore non sfuggirà la maliziosa sottovalutazione delle scoperte del 1609-10, compiute col primo strumento scientifico che cambierà per sempre il rapporto dell'uomo con la natura. I *magna longeque admirabilia sive spectacula* di Keplero – *magna*, per Galileo, *ob inauditam per aevum novitatem* – sono per Ravasi «rilevazioni», come dire che Colombo fu un 'rilevatore' di portolani imbarcato su una caravella spagnola.

¹⁶ La missione, questa davvero eterna, della Chiesa a «governare le intelligenze», anche fuori «dalle materie strettamente definite» – come aveva scritto il gesuita Sortais nel 1907 – è confermata proprio in questi mesi dall'eccellente restauro degli affreschi michelangioleschi della Cappella Paolina, dove nella crocifissione di San Pietro si sono mantenuti i chiodi e soprattutto le brache che qualche inevitabile zelante pensò bene 500 anni fa di sovrapporre. Così il povero santo appare martirizzato due volte: dai suoi persecutori storici, e da chi ne sfregiò l'artistica raffigurazione. Ma evidentemente anche Michelangelo aveva ceduto all'«orgogliosa autosufficienza».

BIBLIOGRAFIA

- [1] Artigas, M., Sánchez de Toca, M., *Galileo e il Vaticano. Storia della Pontificia Commissione di Studio sul Caso Galileo (1981-1992)*, traduzione di M. Pertile, Marcianum Press, Venezia 2009.
- [2] Baldini, M., *Legem impone subactis. Studi su filosofia e scienza dei gesuiti in Italia, 1540-1632*, Bulzoni, Roma 1992.
- [3] Bargagli Petrucci, G., (a cura di), *L'Italia e la scienza*, Le Monnier, Firenze 1932.
- [4] Berti, L., (a cura di), *Il Pantheon di Santa Croce a Firenze*, Cassa di Risparmio di Firenze, Firenze 1993.
- [5] Curci, C., *Il moderno dissidio tra la Chiesa e l'Italia*, Flli Bencini, Firenze 1878.
- [6] D'Addio, M., *Considerazioni sui processi a Galileo*, Herder, Roma 1985.
- [7] Fumaroli, M., (a cura di), *Peiresc et l'Italie*, éd. établie par Solinas, F., Alain Baudry et C., Paris 2009.
- [8] Garin, E., *Intervista sull'intellettuale*, a cura di M. Ajello, Laterza, Roma-Bari 1997.
- [9] A. Gemelli, *Scienza e fede nell'uomo Galilei. Nel terzo centenario della morte di Galileo Galilei. Saggi e conferenze*, Vita e Pensiero, Milano 1942.
- [10] Giard, L., *Les Jésuites à la renaissance. Système éducatif et production du savoir*, Puf, Paris 1995.
- [11] Gruppo di studio *Christi Fideles* laici, *Scienza, coscienza e storia nel "caso Galilei"*, FrancoAngeli, Milano 2003.
- [12] Müller, A., *Niccolò Copernico. Fondatore dell'astronomia moderna. Studio storico scientifico*, trad. it. di P. Mezzetti, Desclée et C., Roma 1908.
- [13] Redondi, P., *Galileo eretico*, Einaudi, Torino 1983.
- [14] Robinet, A., *G.W. Leibniz. Iter italicum (mars 1689-mars 1690). La dynamique de la république des lettres*, Olschki, Firenze 1987.
- [15] Semeria, G., *Storia di un conflitto tra la scienza e la fede. La quistione galileiana*, Federico Pustet, Roma 1905.
- [16] Sortais, G., *Il processo di Galileo. Studio storico e dottrinale*, Desclée et C., Roma 1907.
- [17] Torrini, M., A Salò!, *Passato e presente*, 24, n. 68, 2006.
- [18] Torrini, M., *Scienza e filosofia negli anni '30*, *Ricerche di matematica*, 40, 1991.
- [19] Torrini, M., *Minima Galilaeana. Galileo intempestivo*, *Giornale critico della filosofia italiana*, 87, n. 1, 2008.
- [20] Vanni Rovighi, S., *Galileo*, La Scuola, Brescia 1948.

LA FORTUNA DI GALILEO NELLA CRITICA E NELLA LETTERATURA NOVECENTESCA

ANDREA BATTISTINI

Dipartimento di Italianistica, Università di Bologna

Quando si parla di una personalità quale quella di Galileo, per un verso capace di suggestionare l'immaginario collettivo con le sue scoperte e per un altro verso protagonista di una controversia con la Chiesa che ha segnato una svolta epocale nell'ambito della cultura occidentale, occorrerebbe tenere distinta la sua figura storica da quella mitica. Il Galileo storico è quello studiato per l'appunto dagli storici della scienza e dagli epistemologi, che sottolineano l'importanza dei suoi lavori nell'ambito della fisica e dell'astronomia. Il Galileo mitico si presenta volta a volta come lo scopritore audace e come il prototipo dello scienziato creativo, il rappresentante del genio italico, superiore tanto a Cartesio, che secondo una prospettiva nazionalistica fiorita fin dal Settecento fu suo plagiatario, quanto a Bacone, perché capace, a differenza dell'empirista inglese, di sintetizzare lo sperimentalismo in una legge scientifica e per avere sostenuto la teoria copernicana, tanto da porsi quale unico e degno precursore di Newton.

Ma il Galileo mitizzato diventa anche, soprattutto per il filone anticlericale ottocentesco, la vittima dell'oscurantismo, in buona compagnia con Giordano Bruno, e quindi l'eroe del libero pensiero costretto all'abiura. E ancora nel clima risorgimentale appare una figura dal nobile rilievo etico, civile e politico, il grande scienziato che mette il suo genio al servizio dell'umanità. In questo modo assurge al ruolo di chi con la sua opera consacrata al progresso del sapere riscatta, in un XVII secolo dominato dalla frivolezza e dal cattivo gusto, l'oziosa e vacua letteratura del Barocco poetico, sembrando a Francesco De Sanctis uno dei pochi italiani che riuscirono a «spoltrire gli animi oziosamente cullati ne' romanzi e nelle oscenità morali».

Accanto al rilievo indiscusso dello scienziato e all'assunzione ideologica e strumentale delle sue drammatiche vicende personali, si è sviluppato anche un terzo indirizzo, che ha reso Galileo degno di entrare di diritto nelle storie della letteratura, ossia quello che ha privilegiato le sue doti di scrittore. Così, mentre gli uomini del Risorgimento esaltavano la battaglia galileiana contro l'autoritarismo e il dogmatismo della Chiesa, Giacomo Leopardi, vagliandone il valore linguistico e stilistico al filtro della sua poetica di fatto romantica, da una parte si soffermava sulla «precisa efficacia» e sulla «scolpitezza evidente» della sua prosa, dall'altra, rifacendosi alle pronunzie vichiane di inconciliabilità tra poesia e scienza, avvertiva che siffatta «precisione *moderna*» era «assolutamente di sua natura incompatibile colla eleganza». Ma, di là da queste sentenze, in sé

contraddittorie, ciò che più mette conto di notare è che, nonostante i limiti immanenti più che allo scrittore alla natura linguistica della disciplina da lui professata, Galileo appariva il vero mattatore della *Crestomazia italiana*, l'antologia curata da Leopardi in cui lo scienziato prevaleva per numero di passi ospitati, dai quali risaltava la sua figura eticamente nobile e paradigmatica di filosofo e di gentiluomo ricco di «magnanimità», «non acquisita col tempo e la riflessione, ma quasi ingenita».

Forte anche di questo autorevole precedente, la critica letteraria del Novecento ha riconosciuto unanime a Galileo il merito di essere stato anche, oltre a tutto il resto, un maestro di prosa, anche se non sempre si è tenuto conto delle ragioni del suo stile e delle esigenze richieste dal discorso scientifico. Alcuni per esempio, tra i quali Umberto Bosco, Natalino Sapegno, Bruno Migliorini, Raffaele Spongano, hanno individuato in lui il continuatore della nitida prosa cinquecentesca, mirabilmente perspicua, nitida, chiara, pura e precisa, tutte caratteristiche che, come si è detto, si riassumevano per Leopardi nella «scolpitezza evidente», e a De Sanctis ricordavano, impressionisticamente, la calma di un «bel lago». Queste risorse, secondo queste interpretazioni, derivavano sia da qualità innate di Galileo, sia da una lontana tradizione toscana del decoro e dell'armonia classicista, abbinata a una predisposizione altrettanto toscana del motteggio. Galileo insomma sarebbe stato debitore, per il suo stile così luminoso, di un magistero rinascimentale mirabilmente persistente anche nel clima aberrante e degenero del Barocco. Senza volere negare queste ascendenze, non si può tacere che i critici letterari, permanendo il divorzio tra le cosiddette 'due culture', tendevano a ignorare, o quanto meno a trascurare, quelle che sono le esigenze specifiche dello statuto comunicativo della scienza, che si fonda sulla dimensione denotativa del linguaggio, e come tale persegue un lessico di tipo biunivoco e referenziale, in modo che a ogni cosa e a ogni concetto corrisponda uno e un solo termine.

Lo stesso difetto, sia pure per una tesi opposta a quella di un Galileo scrittore rinascimentale, presenta l'analisi di altri critici quali Raffaele Colapietra o Giulio Marzot, i quali, contestando l'antistoricismo di chi aveva fissato un'opposizione irriducibile tra Galileo e il Barocco, sottraendo lo scienziato alla temperie culturale e stilistica in cui lo collocava la sua anagrafe, andarono di proposito in cerca nelle sue pagine dei tratti più vistosamente seicenteschi, come l'enfasi iperbolica di certe sue metafore, la tensione delle antitesi, l'amore per il paradosso grottesco, il *pathos* e la meraviglia dinanzi alla natura. Anche a questo riguardo non si vogliono negare a Galileo siffatte tecniche espressive, ma segnalare che i caratteri del gusto barocco appaiono nelle parti meno scientifiche, in zone limitate delle sue opere, per esempio nelle dediche, smaccatamente adulatorie e piene di frasi cerimoniose, come voleva l'etichetta di un Seicento spagnolesco e magniloquente, o nei segmenti polemici, dove della cifra seicentesca si imponeva la dimensione aggressivamente provocatoria, impiegata, più che per adesione a quel gusto, per le ragioni ancora una volta intrinseche a un messaggio scientifico eversivo e rivoluzionario, incline pertanto alla rissa verbale e allo scherzo derisorio nei confronti degli avversari.

In definitiva, nel Novecento gli interpreti forse più originali di Galileo sono stati, più ancora dei critici letterari, gli scrittori, perché hanno saputo cogliere meglio il significato del suo ruolo culturale e la rivoluzione prodotta dalle sue scoperte. Significativo in questo senso è stato Pirandello, che nel saggio sull'*Umorismo*, del 1908, ha promosso il cannocchiale, l'invenzione che ha reso celebre Galileo, a strumento umoristico, dal momento che, ingrandendo i corpi celesti e il firmamento come mai era stato possibile in precedenza, ha al tempo stesso detronizzato l'uomo da quella centralità nell'universo nella quale per millenni si era illuso di risiedere. Con la «macchinetta infernale» di Galileo, viene esaltata la natura polimorfa e contraddittoria dell'uomo, tanto grande da concepire con esso «l'infinita grandezza dell'universo», ma con cui al tempo stesso si rende conto della sua insignificanza nel cosmo, visto che questo «terribile strumento [...] subissa la terra e l'uomo e tutte le nostre glorie e grandezze». Galileo è dunque colui che sancisce la fine dell'antropocentrismo e delle illusioni umane circa la sua centralità nell'universo. Quattro anni prima, nel *Fu Mattia Pascal*, Pirandello aveva dato la colpa a Copernico, per la sua tesi eliocentrica, ma è evidente che quando affermava che da allora abbiamo la consapevolezza di vivere «su un'invisibile trottolina, cui fa da ferza un fil di sole, su un granellino di sabbia impazzito che gira e gira e gira, senza saper perché», pensava soprattutto alle scoperte celesti del *Sidereus Nuncius*, annunziante, con la scoperta della vera natura della Via Lattea, l'infinità dell'universo.

Del resto il senso di spaesamento e di umiliazione espresso da Pirandello non è la prima volta che viene avvertito: già nel 1611, all'indomani della pubblicazione del *Sidereus Nuncius*, un poeta metafisico inglese, John Donne, aveva scritto una poesia in cui il crollo del cosmo aristotelico dovuto alle scoperte celesti di Galileo era congiunto al crollo dell'ordine sociale:

il mondo
 è sbriciolato ancora nei suoi atomi.
 Tutto va in pezzi, ogni coerenza è scomparsa,
 ogni giusta provvidenza, ogni relazione.

Ma dietro Pirandello c'è soprattutto il pensiero di Leopardi, di cui è spia la definizione della terra quale «granellino di sabbia», sicura reminiscenza dell'«oscuro / granel di sabbia, il qual di terra ha nome» tratto dalla *Ginestra* (vv. 190-91). E la sensazione di vivere su un «globo ove l'uomo è nulla», tacitamente fatta cominciare con Galileo, ritorna con particolare frequenza nel Novecento, un secolo che con le tante tragedie che lo ha attraversato ha più di ogni altro fatto sentire all'uomo la precarietà del suo esistere. Non per caso l'inquietudine pirandelliana di primo Novecento, un'età connotata dall'esplosione incendiaria delle avanguardie, torna a manifestarsi nel secondo dopoguerra, in un reduce dei campi di sterminio, Primo Levi, il quale nel 1974 scrive una poesia intitolata *Le stelle nere* in cui viene a constatare che

L'ordine donde il cosmo traeva nome è sciolto;
 le legioni celesti sono un groviglio di mostri,

l'universo ci assedia cieco, violento e strano.
 Il sereno è cosparso d'orribili soli morti,
 sedimenti densissimi d'atomi stritolati.
 Da loro non emana che disperata gravezza,
 non energia, non messaggi, non particelle, non luce;
 la luce stessa ricade, rotta dal proprio peso,
 e tutti noi seme umano viviamo e moriamo per nulla,
 e i cieli si convolgono perpetuamente invano.

Naturalmente non tutto il secolo ha ricavato dai risultati della scienza galileiana le stesse drammatiche conseguenze. Dopo la catastrofe della prima guerra mondiale, paragonabile a un grande braciere in cui si sono profuse e dissipate tutte le energie e le pulsioni rivoluzionarie delle avanguardie, subentra un clima più sedato, più adatto a cogliere di Galileo la bellezza della prosa. Se ne fa interprete il movimento dei letterati classicisti aggregatisi intorno alla rivista «La Ronda», portavoce di un *rappel à l'ordre* di segno antifuturista, in nome di una restaurazione delle forme eleganti. Nella ricerca della bella pagina, all'insegna della prosa d'arte, i rondisti arrivano a Galileo attraverso il loro modello, il Leopardi prosatore, quello delle *Operette morali*, e quello che ha fissato il canone della prosa con la *Crestomazia della prosa italiana*, dove come si è detto Galileo ha un ruolo preminente. Attraverso Leopardi si eredita e si stabilisce una prassi, un modello di lettura di Galileo, consistente nell'estrappolarne e nell'antologizzarne i passi più letterari, ignorando il resto.

Il metodo è descritto dallo stesso Leopardi, che in una lettera del 27 dicembre 1826 all'editore Antonio Fortunato Stella, suo committente della *Crestomazia*, gli preannunzia:

Tra le altre cose vi saranno i luoghi del Galileo, che senza essere né fisici né matematici, contengono dei pensieri filosofici e belli, estratti da me con diligenza da tutte le sue opere. Essi soli farebbero un librettino molto importante. Sarebbero letti con piacere da tutti; laddove nella farragine fisica e matematica delle opere di Galileo, nessuno li legge né li conosce.

Se Leopardi ha avuto il merito di porre l'accento sulle doti letterarie di Galileo, ciò è avvenuto con una grave deformazione che si è riverberata nelle procedure del Novecento, rilanciate dai rondisti. Basta vedere, nata sul loro abbrivo, l'*Antologia della prosa scientifica in Italia* di Enrico Falqui, dove i passi delle opere di Galileo e degli altri scienziati di Sei e Settecento sono scelti esclusivamente per la loro eleganza, naturalezza, realismo, ossia secondo parametri esclusivamente letterari, impiegati però per valutare testi scientifici. Ne è discesa la consuetudine, perpetuata nelle antologie scolastiche, di isolare le pagine che meno hanno attinenza con la ricerca scientifica, dimenticando che anche lo scienziato può sì ricercare l'eleganza e curare l'aspetto estetico della sua esposizione, ma per lui questa componente rimane pur sempre un mezzo e mai un fine. La consuetudine di leggere Galileo per passi scelti ha fatto perdere l'unità delle sue opere, come se anche su queste si fosse imposta la dicotomia crociana di poesia e non poesia.

Ciò non toglie che i giudizi degli autori della *Ronda* siano spesso calzanti e acuti. Uno di loro, Giuseppe Raimondi, apprezza di Galileo «la calma forza del suo stile, la naturalezza del ridurre concreto e quasi visibile ogni aspetto della fantasia, e la sovrumana capacità di vincere l'irreale». Trova mirabile soprattutto la forza espressiva del suo procedere per analogie e la concretezza dei suoi serrati ragionamenti. Commenta ancora Raimondi:

A suo modo fu un inventore di nuovi miti. Usò metafore, ma così universali e dirette, così vaste che l'umanità da quel momento non ebbe linguaggio più umile, chiaro e, bisogna dire, più terrestre del suo.

La distesa sintassi galileiana sorregge delle digressioni paragonabili a una «fuga di archi e di portici» che partono «come da chiusa piazza». Come già si può intuire da questi modi espressivi, Raimondi non fa di professione il critico letterario e difatti affida le sue considerazioni a un libro, *Galileo, ovvero dell'aria*, del 1926, che oscilla tra la biografia impressionistica e il saggio. Nell'immaginare una conversazione tra lo scienziato e l'amico bolognese Cesare Marsili, uno dei corrispondenti di Galileo citato anche nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, Galileo diventa il pretesto per meditazioni, divagazioni, squarci lirici. Ne consegue la descrizione di un personaggio e di un ambiente condotta con raffinato calligrafismo, sulla falsariga delle *Operette morali*.

A differenza però degli altri rondisti Raimondi non è un "aventiniiano" come si professano i vari Baldini, Cecchi o Cardarelli, indifferenti alla politica e ai contenuti, dediti soltanto al culto formale della prosa d'arte. Di idee socialiste, fu emarginato dal fascismo e isolato dagli altri rondisti perché non si volevano compromettere con un antifascista. Con l'avvento del fascismo che avvelena «il costume, il gusto», Raimondi trova proprio in Galileo «un terreno civile dove eludere». Nella sua autobiografia, intitolata *Giuseppe in Italia* (1949), ricorda di essersi rifugiato, «con timorosa fiducia filiale, nelle pieghe del *Dialogo dei Massimi Sistemi*», che per lui diventa «il concerto grosso della dignità umana», forse anche in virtù delle vicende processuali che ne seguirono. Galileo gli impartisce una lezione morale e gli trasmette la forza di resistere e di sperare tempi migliori.

Negli anni bui della seconda guerra mondiale anche su Massimo Bontempelli Galileo esercita il suo magistero morale. Il saggio in cui ne parla viene intitolato *Galileo poeta*, con un attributo che gli spetta per quella sua straordinaria «ansia di comunicare» che è tipica della poesia. Per il teorico del realismo magico, attraverso cui ricerca prospettive mitiche nella realtà del mondo moderno, la forza del proselitismo di Galileo, che colpì anche Brecht, nasce come reazione allo sgomento derivatogli dall'infinità e dal senso di solitudine dell'universo. «Un senso forse di sconfinata solitudine e uno sgomento, quasi quel remotissimo laggiù ancora noto a lui solo nel mondo non stia per attrarlo», scrive Bontempelli, gli fa sentire per reazione l'«urgenza di correre tra gli uomini a far loro parte della sua felicità». E di ritorno dai viaggi cosmici compiuti con il cannocchiale lo scienziato si presenta anche in veste di poeta, perché «le stelle, per quanto la scienza ne abbia stabilito il luogo e misurata la struttura, sono rimaste la cosa

più fiabesca che l'uomo abbia a propria disposizione». In questo modo spiega indirettamente la reazione dei letterati del Seicento dinanzi alle scoperte del *Sidereus Nuncius*, che stupì il mondo con la notizia dell'esistenza dei satelliti di Giove e con la miriade di stelle che formano la Via Lattea.

Mettendo in luce «la mania di vedere la scoperta e l'invenzione come entrano nel circolo della vita e vi trovano la loro efficacia», Bontempelli lascia intravedere la durezza della battaglia delle idee combattuta da Galileo in un ambiente difficile e ostile, con avversari irriducibili, nei cui confronti lo scienziato ricorre a tutte le armi della retorica e della dialettica per imporre le sue idee. Senza saperlo, viene delineato quel conflitto tra il «paradigma rivoluzionario» copernicano e il «paradigma normale» aristotelico di cui tanti anni dopo avrebbe parlato Thomas Kuhn. È una contesa di cui si rese conto anche Carlo Emilio Gadda, il quale negli anni Venti stava stendendo la sua tesi di laurea in filosofia che, mai discussa, sarebbe stata poi pubblicata sotto il nome di *Meditazione milanese*. Con il suo tipico stile espressionista l'ingegnere delle nostre lettere descrive in modo colorito il passaggio dal paradigma normale a quello rivoluzionario nel momento in cui sale alla ribalta il «maligno pisano», attorno a cui si accapiglia, pro e contro, la consorzeria degli scienziati:

Ciascuna scienza pone da sé i suoi termini, belli, lindi, certi, finiti, ben pettinati, indiscutibili, senza perplessità, senza angosce, senza nuvolaglie filosofiche e circondata da così indiscutibili e ben pettinati perché, siede Regina del mondo. Guai però se qualche maligno pisano, o non pisano, sorge a imbrogliare le cose. Allora gli scienziati diventano peggio dei filosofi, e i calamai che volarono al Concilio di Trento fra i dottori o patrocinatori di diverse tendenze, sono pallottole di carta e di mollica in confronto ai proietti che si scagliano i cultori delle 'scienze positive' quando un osso li divide in partiti – con occhi bieci e più che braccia rossi.

Per Gadda Galileo appartiene alla schiera di coloro che demistificano la frode, che, nel fingere di assecondare le argomentazioni dell'avversario, le portano alle conseguenze estreme, facendole crollare miseramente. Nel saggio *Meditazione breve circa il dire e il fare*, incluso nella raccolta *I viaggi la morte*, Galileo, non diverso in questo da Boccaccio, Dante, Manzoni, è di quei polemisti che

levano talora l'edificio del giudizio sopra una sola frase o parola accattata sagacemente e poi diabolicamente inserita nel testo, a dilleggio ed a confusione de' frodatori. Il 'velen dell'argomento' è loro familiare. Il loro scherno e la loro polemica, in questi casi, hanno una radice che si potrebbe dir filologica: ed è radice diritta. La frode si rivela dal suo nome, come il ladro dal marchio che gli è stato impresso a fuoco sulla fronte: ed essi, per denunciare la frode, ne danno a conoscere il nome.

Galileo per Gadda è un autore radicale ed eversivo, al punto che nell'*Apologia manzoniana* gli viene fatto di osservare che nella biblioteca di Don Ferrante c'è un posto per il *Principe* di Machiavelli, ma non c'è uno per *Il Saggiatore*.

Nel Novecento Galileo diventa il personaggio simbolo della modernità, con tutte le contraddizioni e le debolezze di un'epoca che ha visto convivere l'audacia speculativa con la viltà, il progresso con il passatismo, le conquiste della scienza con le sue applicazioni più mostruose. In questo clima si iscrive, tra la fine degli anni Trenta e la metà degli anni Cinquanta, la *Vita di Galileo* di Bertolt Brecht, un dramma teatrale che ebbe varie redazioni, cambiate secondo i diversi momenti di un periodo tra i più convulsi. Cominciata negli anni in cui in Germania il nazismo era all'apice del suo successo, rivista nel 1945 sotto l'impressione delle bombe atomiche lanciate sul Giappone, con un'ultima revisione al tempo della ricostruzione dalle macerie della guerra, l'opera di Brecht risente della situazione politica e culturale di quegli anni, assorbendo tutte le oscillazioni della storia, tanto più che la prospettiva con cui è scritta è quella del marxismo.

Galileo è senz'altro il protagonista assoluto, ma si muove in un contesto sociale molto approfondito, entro una cornice in cui compaiono insieme un ricco feudatario e un povero frate di campagna, le componenti umanitarie della Chiesa e quelle che assoggettano e sfruttano il popolo. Gli uomini sono delineati con le loro passioni e i loro interessi concreti, con le virtù, le debolezze, le colpe. E anche di Galileo si mettono a fuoco gli aspetti umani, che fanno di lui la figura più ricca e contraddittoria. La sua è la storia di uno scienziato che combatte per la verità ma poi cede. Viene oggi istintivo immaginarcelo con la fisionomia di Tino Buazzelli e secondo la rappresentazione dovuta alla regia di Strehler, che ce lo mostra corpulento, sanguigno, sano, robusto, energico, epicureo, godereccio. Il Galileo di Brecht ama la buona tavola ma si dedica con passione alla ricerca per migliorare le condizioni della società che soffre sotto il tallone delle classi dominanti. Quanto mai lontano dal paradigma dello scienziato che in solitudine vive di astratte elucubrazioni, è sorretto costantemente da un senso pratico della ricerca che lo fa esclamare: «io disprezzo coloro il cui cervello non è capace di riempire lo stomaco».

L'identico piacere che prova davanti alle prelibatezze della cucina lo prova nel fare ricerca e nel diffonderla, agitato e sospinto da sete di conoscenza che ricorda l'Ulisse dantesco. Pur essendo cosciente dei pericoli cui va incontro, si dedica interamente a investigare la natura e a fare conoscere le sue scoperte. «Il peggio è», proclama con disperato orgoglio, «che, tutto quello che scopro, devo gridarlo intorno: come un amante, come un ubriaco, come un traditore. È un vizio maledetto, mi trascinerà alla rovina. Quando potrò resistere a parlare solo coi muri?». Ma il Galileo di Brecht è anche un sofista che non si fa scrupolo, per avere la meglio sugli avversari, di ricorrere con spregiudicatezza a ogni mezzo della retorica. Il suo motto è che «la verità riesce ad imporsi solo nella misura in cui noi la imponiamo», un principio confermato da un suo discepolo il quale gli obietta: «così riuscite sempre ad aver ragione», giacché «con gli esempi si riesce sempre a farcela, se si è furbi». Non è un caso che Paul Feyerabend, il teorico di una «epistemologia anarchica», sia stato per qualche tempo assistente alla regia di Brecht. Evidentemente proviene di lì il suo pluralismo teorico, la flessibilità

dell'indagine, la proliferazione dei linguaggi alternativi che, in assenza di un metodo logico universalmente accettato, possano imporsi sulle ipotesi concorrenti soltanto con la «mistificazione», con i «trucchi psicologici», gli «espedienti», i «giochetti», i «colpi di mano», la «ciarlataneria» di uno scienziato che a suo dire avrebbe combattuto di proposito il principio di coerenza e l'invarianza di significato.

Nonostante questa risoluta determinazione a fare trionfare il proprio punto di vista, nella versione finale della *Vita di Galileo* lo scienziato cede perché ama troppo la vita comoda per fare la fine di Giordano Bruno. Per quieto vivere si mette sotto la protezione del granduca di Toscana che è amico dei nemici romani. Le motivazioni di questo cedimento sono oscillanti in Brecht: ora sembra che astutamente Galileo abiuri per avere ancora la possibilità di continuare a fare ricerca e recare nuovi frutti all'umanità, idealmente in linea con un altro dramma che Brecht non poteva conoscere, *Gli ultimi anni di Galileo Galilei* di Ippolito Nievo (1854); ora invece ammette i suoi errori pur essendo intimamente convinto del contrario per paura della tortura, e quindi per viltà. Il giudizio ambivalente rispecchia il ruolo contraddittorio che può svolgere la scienza, capace sia di recare incalcolabili benefici agli uomini, trasformando profondamente il mondo in senso positivo, sia di distruggerlo se si pone al servizio degli armamenti degli eserciti. Dopo l'euforia del progresso prodotto dalle estensioni tecnologiche nella vita quotidiana, l'attualità delle possibili conseguenze nefaste desunte dalle applicazioni dell'energia nucleare a scopi militari indusse Brecht ad accusare gli scienziati di avere ceduto il potere anziché lavorare per il bene dell'umanità.

Galileo diventa allora la metafora o il simbolo della scienza che capitola davanti al potere e in questo modo gli resta asservita. Per Brecht, egli ebbe un'occasione unica per ristabilire un giusto equilibrio tra il potere della scienza e il potere della politica, ma perse quell'opportunità. Per parafrasare quanto lo stesso Galileo confidò con ottimismo al principe Cesi, fondatore dell'Accademia dei Lincei, la «mirabil congiuntura» che si era creata non produsse gli effetti sperati. In una delle note apposte a commento della sua *pièce* teatrale Brecht rilevò che

il misfatto di Galileo può esser considerato il “peccato originale” delle scienze naturali moderne. Della moderna astronomia, che interessava profondamente una classe nuova, la borghesia, perché appoggiava le correnti sociali rivoluzionarie dell'epoca, egli fece una scienza specialistica strettamente limitata, la quale naturalmente proprio grazie alla sua “purezza”, ossia alla sua indifferenza per il sistema di produzione, poté svilupparsi relativamente indisturbata. La bomba atomica, come fenomeno tecnico non meno che sociale, è il classico prodotto terminale delle sue conquiste scientifiche e del suo fallimento sociale.

L'alternativa del comportamento da tenere dinanzi alle persecuzioni è racchiusa in due battute, forse le più memorabili della *Vita di Galileo*. Andrea Sarti, un giovane ardente nella ricerca della verità scientifica e del bene sociale, alieno da ogni compromesso, quando Galileo abiura, diventa il suo massimo accusatore. «Sventurata la terra che non ha eroi!», esclama, intendendo che per vincere i soprusi del potere occorrono

uomini coraggiosi e fuori del comune. Al che Galileo replica, rettificando l'enunciato: «sventurata la terra che ha bisogno di eroi», dal momento che, finché è necessario l'eroismo, non esistono ancora le condizioni di condurre una vita normale, che si potrà avere solo quando non ci sarà più bisogno di gesti eroici. Nel dramma brechtiano il ruolo reazionario e persecutorio risulta svolto dalla Chiesa, ma in realtà, come chiarisce lo stesso autore nelle note alla sua *Vita di Galileo*, «la Chiesa, anche là dove si oppone alla libera indagine scientifica, funge semplicemente da autorità costituita». Il suo testo teatrale assume di conseguenza un significato più vasto, e come Galileo rappresenta lo scienziato che alla fine si arrende al potere, così la Chiesa rappresenta insieme tutti i nemici della scienza, tutti gli oppositori al progresso e alla ricerca, che possono anche assumere il volto anonimo della gente comune.

A questa conclusione arriva anche Primo Levi, in una poesia che, intitolata *Sidereus Nuncius*, descrive in prima persona, dando la parola allo stesso Galileo, tutte le scoperte da lui compiute, che ha poi dovuto negare pur avendole viste con i suoi occhi ancora acuti, non costretto da una forza divina, come Prometeo lo fu per volontà di Giove, ma da uomini dall'aspetto scialbo e anonimo, in cui ciascuno di noi potrebbe riconoscersi:

Prima che il Sole mi bruciasse gli occhi
 ho dovuto piegarmi a dire
 che non vedevo quello che vedevo.
 Colui che m'ha avvinto alla terra
 non scatenava terremoti né folgori,
 era di voce dimessa e piana,
 aveva la faccia di ognuno.
 L'avvoltoio che mi rode ogni sera
 ha la faccia di ognuno.

Ecco dunque che quella di Galileo diventa nel Novecento una vicenda emblematica che trascende la sua reale dimensione storica, per assurgere a simbolo della perenne lotta tra il progresso e l'oscurantismo, la sete di conoscenza e la sua negazione violenta, l'intelligenza e l'ottusità. C'è però anche un indirizzo che finalmente non mette in primo piano il processo del 1633 e il conflitto creatosi con la Chiesa, ma gli aspetti più strettamente epistemologici, con cui lo stile di Galileo non è più considerato dal semplice punto di vista letterario, ma in relazione con le ragioni intrinseche al fare scienza. È questa la prospettiva di Italo Calvino, i cui interessi galileiani, per essere già stati adeguatamente approfonditi da Eraldo Bellini [1] e da Massimo Bucciantini [2], non richiedono in questa sede un'analisi troppo diffusa per non dovere ripetere quanto già esposto da questi due studiosi, che comunque ispirano, almeno in parte, quanto qui di séguito si viene dicendo.

Il periodo di maggiore attrazione di Calvino verso le opere di Galileo coincide con gli anni Sessanta, allorché lavorava alle *Cosmicomiche* e a *Ti con zero*. La forte predisposizione all'indagine e al metodo della scienza gli ha consentito di individuare in Galileo

uno scienziato la cui opera può anche arricchire e ispirare la letteratura, proprio negli anni in cui era molto acceso il dibattito sulle due culture. Poiché le scoperte scientifiche fungono da stimolo conoscitivo utile per la letteratura, per Calvino sembra piuttosto esistere una sola cultura che per altro si esprime in due modi diversi. Dalle sue numerose pronunzie è possibile ricavare che tra la sua attività di scrittore e quella di scienziato di Galileo esistono affinità etiche, gnoseologiche ed epistemologiche accanto ad affinità euristiche e stilistiche. Non diversamente da Galileo, Calvino, in *Due interviste su scienza e letteratura* rilasciate nel 1968, intendeva

l'opera letteraria come mappa del mondo e dello scibile, lo scrivere mosso da una spinta conoscitiva che è ora teologica ora speculativa ora stregonica ora enciclopedica ora di filosofia naturale ora di osservazione trasfigurante e visionaria.

Come la scienza galileiana è stimolata dal desiderio incontenibile di investigare la natura, con un'ansia conoscitiva esemplarmente espressa con l'apologo dell'indagatore dei suoni inserito nel *Saggiatore*, così la narrativa calviniana sperimenta ogni possibile forma letteraria, attraversando tutte le poetiche e le teorie della critica dominanti nella seconda metà del secolo, dal neorealismo allo strutturalismo, dalla semiologia all'estetica della ricezione.

Questa irrequietezza euristica proviene da una visione epistemologica comune a Galileo, con cui Calvino condivide la coscienza della fine dell'illusione di potere conferire una sistemazione definitiva dell'universo, come ancora poteva sperare Aristotele nel costituire il suo *Organon*, cui subentra un'epistemologia aperta al possibile e all'ignoto, tanto fiduciosa nelle capacità dell'uomo quanto consapevole dei limiti del suo sapere. Questo pur prudente istinto esplorativo si esplica con un procedimento analogico, di cui si vale tanto il letterato nel creare le sue metafore, quanto lo scienziato nello sforzo di raccordare i comportamenti dei singoli fenomeni alla comune legge scientifica dal valore universale. E in ciò Galileo è stato tanto geniale da far dire a Calvino che questo scienziato «meriterebbe d'esser famoso come felice inventore di metafore fantasiose quanto lo è come rigoroso ragionatore scientifico». Legge scientifica e metafora letteraria sono dunque il risultato di uno stesso processo conoscitivo, lungo un tracciato che ubbidisce a una logica combinatoria.

Non per nulla è famosa di Galileo la metafora, contenuta nel *Saggiatore*, del mondo come un libro di cui le figure geometriche sono l'alfabeto, e l'elogio dell'alfabeto stesso nei *Massimi sistemi*, dove si asserisce che «con i vari accozzamenti di venti caratteruzzi», ossia con la combinazione delle lettere, si possono «comunicare i suoi più reconditi pensieri a qualsivoglia altra persona, benché distante per lunghissimo intervallo di luogo e di tempo». Quanto poi a Calvino, le sue metafore euristiche, ora dei cristalli, tutti diversi in natura ma tutti formati dalla combinazione delle molecole lungo i tre assi della lunghezza, della larghezza e dell'altezza, ora del gioco degli scacchi, le cui partite si effettuano con l'indefinita possibilità dei suoi pezzi di interagire tra loro, sono altret-

tante analogie che vogliono significare processi tassonomici molto simili. Ma, per dirla con la terminologia della retorica, i punti di contatto non riguardano soltanto queste componenti dell'*inventio* e della *dispositio*, ma si estendono anche all'*elocutio*.

In altri termini, per Galileo è anche un modello di prosa. Nell'intervista già evocata ribadisce di trovare particolare «nutrimento in Galileo, come precisione di linguaggio, come immaginazione scientifico-poetica, come costruzione di congetture». Il connubio di precisione e immaginazione scientifico-poetica era già stato individuato in Galileo da Leopardi, che lo considerava del tutto eccezionale, consentendo a uno scienziato di professione di possedere, oltre alla capacità di formulare congetture e ipotesi, anche straordinarie qualità letterarie. Su quel precedente Galileo costruisce un'ideale linea di forza nella quale si pone al termine di un asse formato da Ariosto Galileo e Leopardi. Lungi dall'essere uno scienziato puro, asettico e impassibile, Galileo «usa il linguaggio non come uno strumento neutro, ma con una coscienza letteraria, con una continua partecipazione espressiva, immaginativa, addirittura lirica». E in un altro scritto di quegli stessi mesi, apparso sul *Corriere della Sera* il 24 dicembre 1967 e dedicato al *Rapporto con la luna*, Galileo concludeva, con accenti non diversi da quelli già sentiti da Bontempelli, che Galileo

appena si mette a parlare della luna innalza la sua prosa a un grado di precisione ed evidenza ed insieme di rarefazione lirica prodigiose. E la lingua di Galileo fu uno dei modelli della lingua di Leopardi, gran poeta lunare.

Galileo non si accontenta nemmeno di questo asserto, e va ancora oltre. Il suo innato sguardo ironico gli fa scoprire in Galileo anche un grande scrittore satirico, per l'incursione nelle sue pagine più polemiche di una cifra parodica e caricaturale, la stessa adottata nei suoi racconti delle *Cosmicomiche* e di *Ti con zero*, dove il capitolo sull'*Origine degli uccelli* si converte in una parodia del tipico scienziato dogmatico che nega l'evidenza e, ritenendo che la catena evolutiva si sia conclusa con gli anfibi, si rifiuta di ammettere la nuova esistenza di un uccello, la cui comparsa prova invece per il narratore di ascendenza galileiana l'inesauribilità del reale. D'altro canto non è solo questa la traccia di un'applicazione narrativa delle idee dello scienziato seicentesco. Perfino l'idea che le cose si possono vedere meglio se viste di lontano, posta a fondamento genetico del *Barone rampante*, non è altro che l'applicazione di quella 'poetica della distanza' su cui hanno insistito molti critici di Galileo, già però enunciata da Galileo, quando nei *Massimi sistemi* ammonisce che tenendosi a distanza dagli altri corpi celesti se ne possono comprendere facilmente quella sfericità e quel moto che non si possono percepire relativamente alla terra, appunto perché aderiamo ad essa, standoci sopra. Con ciò si spiega l'alta frequenza con cui nella narrativa di Galileo si fa ricorso al cannocchiale, lo strumento che diventò subito il simbolo e la metonimia dell'ingegno di Galileo: si pensi alla madre del barone rampante che guardando il figlio di lontano lo conosce meglio di quando lo aveva vicino a sé, per non dire del cannocchiale con cui viene spiata la Lettrice di *Se una notte d'inverno un viaggiatore*, fino a culminare con le avventure

visive del signor Palomar, che trae il suo nome da un famoso osservatorio astronomico americano.

Da tutte queste premesse si capisce perché Calvino è giunto a sostenere che Galileo è «il più grande scrittore della letteratura italiana d'ogni secolo». A chi ne conosce la sobrietà e la misura, una siffatta affermazione, per questo tono da Guinness dei primati, può fare l'impressione di voler essere provocatoria e scandalistica. In ogni caso, è utile per intendere quanto Galileo sia stato grande anche come scrittore, e perché lungo tutto il Novecento sia stato ammirato e studiato come letterato oltre che, naturalmente, come scienziato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bellini, E., Chi cattura chi? Letteratura e scienza tra Calvino e Galileo, *Galilaeana*, III, 2006, pp. 149-197.
- [2] Bucciantini, M., *Italo Calvino e la scienza*, Donzelli, Roma 2007.

L'IMMAGINE DI GALILEO TRA ESPERTI E CITTADINI ALLA VIGILIA DELL'ANNO DELL'ASTRONOMIA

GIANFILIPPO PARENTI

Scuola Internazionale di Studi Superiori e Avanzati, Trieste

1. Introduzione

Galileo è un personaggio fondamentale della storia italiana che ancora riveste ruoli prominenti nel panorama della nostra cultura. Pertanto la SISSA (Scuola Internazionale di Studi Superiori e Avanzati) di Trieste, che da almeno venti anni sta tentando di portare la scienza nella società, nonostante qualche recente tentennamento, si è chiesta quale immagine, fra le tante che Galileo contiene in sé, sia ancora presente e quale sia la più popolare. L'occasione è stata fornita dall'Anno dell'Astronomia 2009, che in Italia, e specialmente in Toscana, è stato declinato come anno Galileiano, non senza polemiche. La ricerca è stata condotta in modo trasversale fra gli esperti e i cosiddetti profani che s'identificano con i potenziali visitatori delle mostre predisposte per l'occasione. Un esercizio che, in definitiva, è stato un abbozzo minimale di *pre-evaluation*, pratica assai diffusa all'estero ma di scarsa attuazione nel nostro paese.

Come probabilmente molti sapranno, il 2009 non è stato soltanto l'anno di Galileo, ma anche l'anno in cui ricorre il 200esimo anniversario della nascita di Charles Darwin e il 150esimo della pubblicazione di *L'origine delle specie*. Sulla scia di quest'ultimo anniversario è uscito un libro edito da Sironi intitolato *Compagno Darwin*. L'opera s'interroga sulle strumentalizzazioni che sono state perpetrate all'immagine del naturalista inglese dalle varie correnti politiche tardo-ottocentesche e novecentesche. Non è mia intenzione fare strumentalizzazioni su Galileo, ma, proprio in una delle precedenti edizioni di Pianeta Galileo, è stato ribadito e sottolineato come anche l'analisi sullo scienziato pisano sia stata quasi esclusiva dei circoli culturali di sinistra – anche se all'inizio, almeno fino al 1957, anno del *Galileo Galilei* di Ludovico Geymonat, il Partito Comunista si oppose a tematiche scientifiche 'rivoluzionarie' (che paradosso!), come la meccanica quantistica e il principio di indeterminazione di Heisenberg. Al di là di questo, però, la figura di Galileo, se traslata nei secoli, può essere metaforizzata con una coperta. Tirato in ballo un po' di qua e un po' di là, etichettato come platonico, come aristotelico, come grandissimo, come impostore. Si rischia di rimanere spiazzati, ma questo ci dà anche l'impressione della grandezza della sua impronta culturale. Quindi, chi è Galileo, o meglio, chi è Galileo per noi oggi?

2. La ricerca

Proprio per rispondere a questa domanda, abbiamo incontrato nove, fra esperti e organizzatori delle mostre, chiedendo loro non solo chi fosse il loro Galileo, ma anche quale Galileo i toscani e non avessero più a cuore adesso. Inoltre, personalmente ho partecipato a molti convegni in cui eminenti esponenti della cultura storica e scientifica italiana tenevano conferenze sull'eredità galileiana. Le interviste, se così possiamo chiamarle, erano semplici incontri in cui si facevano due o tre domande soltanto, e si permetteva all'intervistato di spaziare fra un ricordo e l'altro, una convinzione e l'altra. Questo tipo d'interviste ha molti nomi, ma a me piace chiamarle interviste narrative.

Al termine di tutti gli incontri, la stragrande maggioranza degli esperti, ha espresso la propria predilezione per il *metodo scientifico*, come lasciato massimo di Galileo ai posteri, cioè a noi. Cosa, che, visto lo sviluppo delle scienze da Galileo in poi, non può certamente essere messo in dubbio. Ma quando si chiedeva loro di provare a interpretare il sentimento dei profani, si assisteva a uno iato.

Secondo gli esperti, infatti, per i profani Galileo era conosciuto come nome, come icona indefinita di concetti sfuggenti. Una pietra miliare sostituita da altri cartelli più moderni. Qualcosa di così importante e leggendario che è quasi impossibile capirne le ragioni. Non a caso per gli esperti la dimensione galileiana più vicina ai profani è quella etico-politica.

Per dimensione etico-politica intendiamo quella legata alla diatriba che Galileo ebbe per lunghi anni con la Chiesa di Roma e che culminò nel processo e nell'abiura. Debbo ammettere che anche noi alla Sissa la pensavamo all'incirca in questo modo e quindi eravamo pronti a registrare questo iato fra l'ammirazione ieratica degli addetti ai lavori e quella demotica della gente. E come darci torto? Prima di quest'anno infatti, eccezion fatta per qualche sporadico approfondimento di programmi come SuperQuark, di Galileo nei media in generale si è parlato solo riguardo fatti afferenti a questa dimensione.

3. La griglia galileiana

Pertanto avevamo un dato di fatto, qualcosa da cui far partire le nostre ricerche. Grazie a tutti i convegni, le interviste e le nostre minime conoscenze in materia, abbiamo costruito un questionario atipico, la cosiddetta *griglia galileiana*, e l'abbiamo distribuita in giro per l'Italia allo stesso numero di toscani e non toscani, maschi e femmine di cinque fasce d'età differenti, in modo da ottenere uno spettro quanto più affidabile di risultati. Ovviamente è stato un sforzo difficile che è durato ben due mesi, invece delle due settimane stimate all'inizio. Dico ovviamente perché di questi tempi fermare le persone per strada significa intraprendere un cammino umiliante nella selva oscura della paura e della diffidenza.

Toscana	Non Toscano	M	F	10-18	19-25	26-35	36-50	+ 50
---------	-------------	---	---	-------	-------	-------	-------	------

Legga attentamente e faccia un cerchio sulle parole (max 3) che lei più associa al personaggio Galileo Galilei

RELATIVITA' ARTISTA GRAVITA' LAICO
 RIVOLUZIONE CULTURALE ABIURA FISICA BRECHT
 CANNOCCHIALE RINASCIMENTO METODO SCIENTIFICO
 SISTEMA SOLARE TELESCOPIO EPPUR SI MUOVE
 PROCESSO VECCHIO FILOSOFIA MECCANICA
 TERRA STELLE TORRE DI PISA SOLE
 ERETICO SATELLITI RAZIONALE NUOVI MONDI
 GRANDE SCRITTORE SCOMUNICA MISURA DEL TEMPO
 DIALOGO ESPERIMENTO RIVOLUZIONE SCIENTIFICA
 STELLA NOVA PENDOLO CHIESA SCIENZIATO

Figura 0.

Chiedevamo agli interpellati di cerchiare le tre parole che più accostavano alle figura di Galileo. Molti l'hanno preso come un quiz atto a schedare le loro conoscenze, ma ben presto ogni singolo campione capiva che tutte le parole si prestavano bene a Galileo e che, avendo tutto il tempo del mondo per rispondere, poteva scegliere in totale libertà e anche aggiungerne di nuove. Cosa che è stata fatto in due casi.

È chiaro che un'operazione di questo tipo si presta a numerose critiche di metodo, ma la preferivamo di gran lunga al quiz, sebbene vada molto di moda attualmente, perché quest'ultimo implica maggiori probabilità di risposta casuale. La risposta aperta è stata invece scartata per motivi logistici legati al tempo previsto per lo svolgersi della ricerca.

4. I risultati del sondaggio

I risultati ci hanno ampiamente sorpreso.

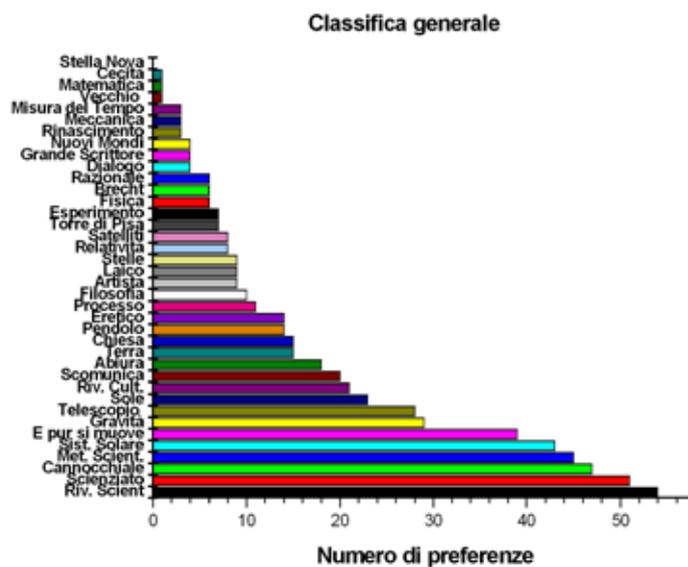


Figura 1.

Come si può intuire dalla figura 1, la parola che più di tutti ha riscosso successo è “rivoluzione scientifica”, seguita a ruota, se mi si permette la metafora ciclistica, dalla parola “scenziato”. Sul terzo gradino del podio si assesta la parola “cannocchiale” che, se messa insieme ai suffragi ottenuti da “telescopio” avrebbe di gran lunga conquistato la prima posizione. Non pochi i voti andati al “metodo scientifico” tanto caro agli esperti (che si è assestato al quarto posto), come anche quelli andati a “sistema solare” ed “Eppur si muove”. Dopo “telescopio”, poi, c’è “sole” e solo in undicesima e dodicesima posizione le parole che potrebbero rientrare nella dimensione etico-politica come “abiura” e “scomunica”, addirittura dietro “rivoluzione culturale”.

Alla luce di questi risultati, si può dire che per i profani Galileo è uno scenziato che, grazie al metodo scientifico e alle sue protesi meccaniche (cannocchiale e/o telescopio), innesca una rivoluzione scientifica che dà vita al concetto convenzionale di Sistema Solare.

Come possiamo facilmente evincere da questa frase, quindi, la dimensione scientifica, più o meno dettagliata e più o meno particolareggiata, è preponderante rispetto a quella etico-politica. Ovvero, almeno nella stragrande maggioranza dei casi, la politica non fa nemmeno capolino fra le risposte date.

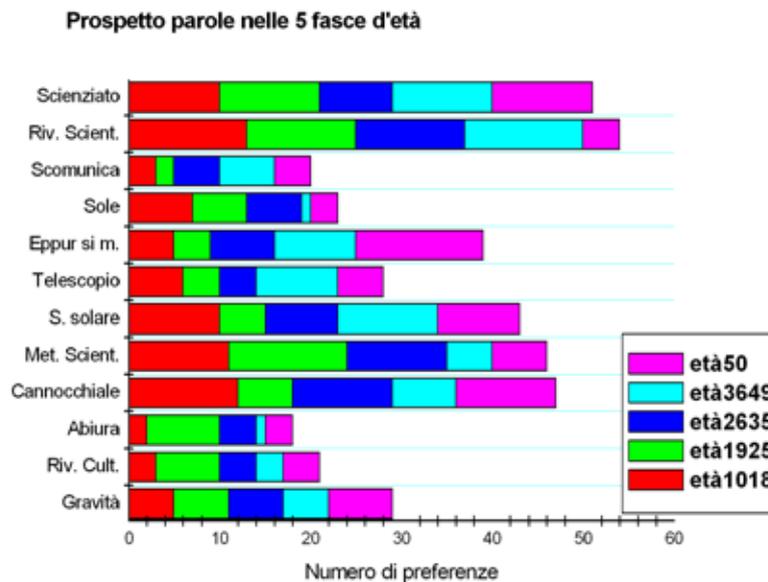


Figura 2.

A conferma di questo nella figura 2 sono riassunti i risultati delle uniche dodici parole che hanno superato il 3% di sbarramento, nelle cinque fasce d’et  predisposte. Nella prima di queste cinque fasce d’et , ovvero quella che va dai 10 ai 18 anni e che dovrebbe racchiudere gli studenti delle scuole dell’obbligo, in rosso, vediamo l’affermazione di “cannocchiale” e “rivoluzione scientifica”, con buoni risultati per “metodo scientifico”, “scenziato” e “sistema solare”. Tra i 19 e i 25, potenzialmente la fascia degli studenti universitari, ma anche gi  giovani lavoratori, in verde, vincono di gran lunga “metodo

scientifico”, “scienziato” e “rivoluzione scientifica”. Cosa che si ripete in blu nella fascia fra i 26 e i 35, anche se questa vede il ritorno del “cannocchiale”. Invece tra i 36 e i 49 assistiamo al crollo del “metodo scientifico” e di “cannocchiale”, in favore di “Eppur si muove”, “sistema solare” e in misura minore di “telescopio”. Nell’ultima fascia, oltre i 50 anni, scompare qualsiasi accenno alla rivoluzione, sia essa scientifica che culturale, e si entra nel mondo dello scienziato generalista, ma soprattutto di “Eppur si muove...”. Da registrare, poi, i pessimi risultati di “abiura” e “scomunica” in tutte le fasce d’età prese in esame.

Dopo aver raccolto i risultati generali siamo andati ad analizzare le differenze di genere e provenienza.

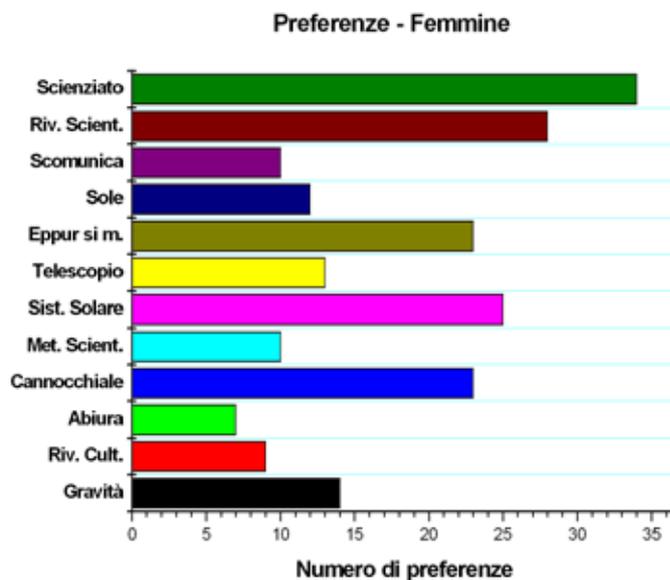


Figura 3.

Come si evince dalla figura 3 il campione di genere femminile magari preferisce non allargarsi troppo, ma ci tiene a sottolineare il fatto che Galileo, più di tutto, fosse uno scienziato protagonista della rivoluzione scientifica, grazie al cannocchiale con cui ha introdotto il concetto di sistema solare. Forte anche la presenza del concetto “Eppur si muove”.

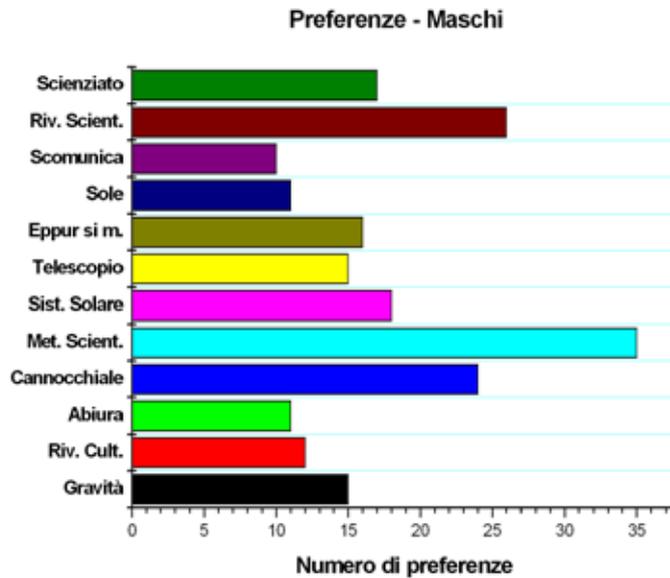


Figura 4.

Per il parere maschile, invece (figura 4), è il metodo scientifico che ha portato al perfezionamento del cannocchiale e innestato la rivoluzione scientifica. In entrambi i generi, quindi, la componente scientifica è molto forte e quasi unanime.

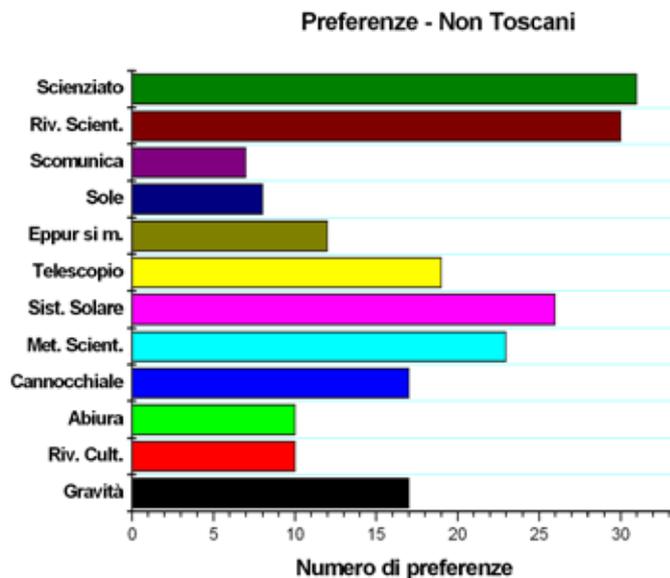


Figura 5.

Per i non toscani (figura 5), Galileo è uno scenziato che ha dato vita alla rivoluzione scientifica, al concetto di sistema solare grazie al metodo scientifico, fortemente spinto dalla popolazione maschile, come vedremmo meglio in un diagramma incrociato. Nella figura 5 vi è inoltre una particolarità che appare per la prima e unica volta:

parola “telescopio” supera la parola “cannocchiale”. Una differenza culturale legata alla provenienza: tra i toscani (figura 6), infatti, “cannocchiale” supera addirittura tutte le altre parole. Nei riscontri resi dai cittadini toscani si può anche intravedere la crescita del modo di dire “Eppur si muove”.

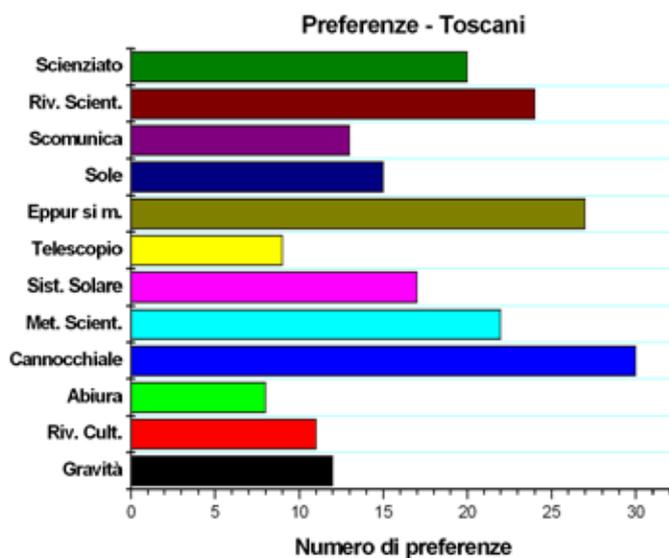


Figura 6.

5. Le coalizioni semantiche

A questo punto però, in sede di analisi, ci siamo resi conto che, oltre a dare i numeri, anche le parole e il metodo di ricerca ci stavano allontanando dal compito iniziale: dimostrare o, falsificare in senso popperiano, l'ipotesi di partenza, ovvero che la dimensione etico-politica di Galileo fosse la più importante per i profani. Pertanto abbiamo lasciato perdere le prime dodici parole e le abbiamo riprese tutte e trentotto. Successivamente, abbiamo costruito le cosiddette *coalizioni semantiche*, ovvero gruppi di parole che fanno parte di uno stesso settore semantico.

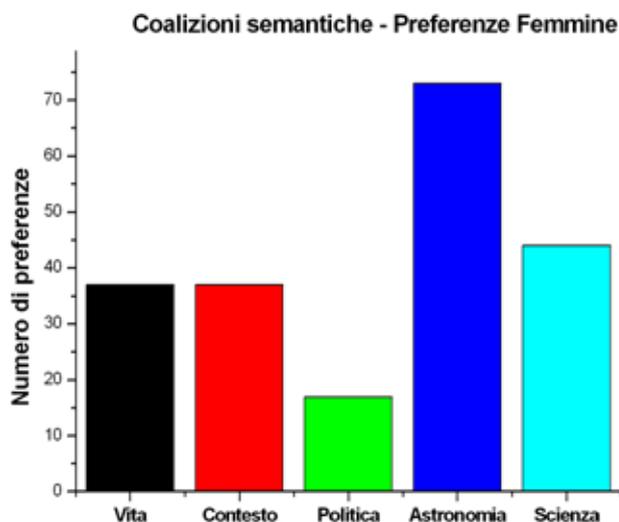


Figura 7.

Ecco i risultati generali: il settore galileiano dedicato all'astronomia domina su quello delle scienze *tout-court*, giacché Galileo non si è dedicato solo ai corpi celesti. Al terzo posto, in verde, le parole che in seguito sono state legate a Galileo: come si può vedere, principalmente rivoluzione culturale e scientifica hanno spinto questa coalizione così in alto. La dimensione etico-politica raggiunge solo la quarta posizione, nonostante potesse contare su molte parole, che evidentemente le persone non hanno ritenuto fondamentali. Poco sotto, in blu, gli episodi della vita galileiana, veri o leggendari come "Eppur si muove" e i lanci dei gravi dalla torre di Pisa. Marginale, in viola, i filtri culturali come Brecht, Strehler e le opere di Galileo.

Anche nel caso delle coalizioni semantiche, abbiamo voluto vedere le differenze di genere e provenienza. Per non tediarci troppo il lettore abbiamo pertanto preferito abbinare le risposte di genere e provenienza a due a due. Nella figura 8 possiamo trovare i risultati delle donne a sinistra e quelli dei maschi sulla destra. Più o meno si equivalgono, anche se gli uomini prediligono leggermente un approccio scientifico e politico, mentre le donne rammentano leggermente più gli episodi, gli aneddoti della vita di Galileo.

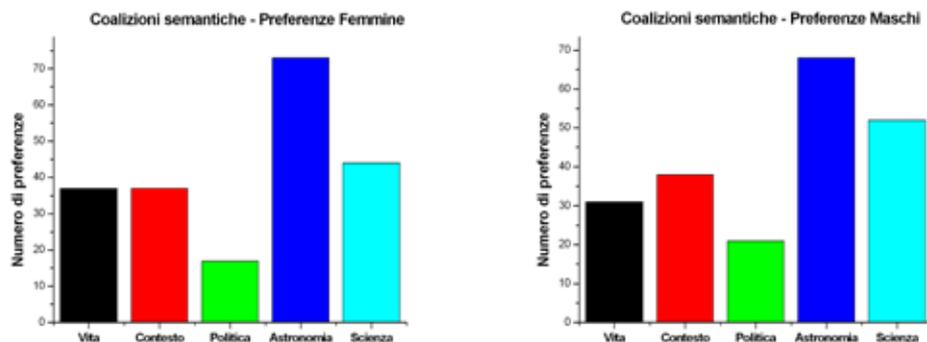


Figura 8.

Tra toscani, a sinistra (figura 9), e non toscani, a destra, la situazione è simile. Un po' più marcata la predilezione per gli aneddoti dimostrata dai toscani, che va a scemare tra i non toscani, a tutto vantaggio della scienza e non di altro. Da rimarcare che in tutti questi diagrammi, la dimensione politica resta sempre fortemente in minoranza.

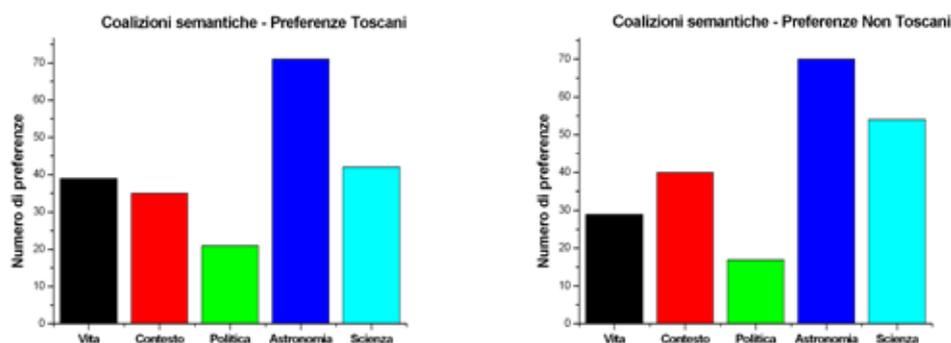


Figura 9.

6. Conclusioni

Quando si è chiamati a dare una risposta a una domanda che non ci siamo mai fatti e che, al momento, ci coglie di sorpresa, spesso si ricorre all'istinto e si tende a dare la risposta che reputiamo più credibile a livello globale, sfidando anche la propria personale propensione a non scadere nella banalità. Fenomeni di questo tipo accadono ancora più spesso quando la domanda inopportuna investe l'ampio campo della comunicazione. Un campo che si estende dal silenzio assoluto alla logorrea più insignificante è da considerarsi pressoché infinito. Davanti a tale vastità, quindi, non c'è da sorprendersi se, anche chi vanta maggiori titoli per trattare l'argomento, si trovi in difficoltà nella risposta oppure si pietrifica innanzi agli immensi buchi neri della propria ignoranza. E questo, sia detto a scanso di equivoci, vale per chiunque, a maggior ragione per chi sta scrivendo. Per quanto vasta e stratificata possa sembrare la nostra cultura, riconosciuta o meno a livello oggettivo, di fronte all'immenso universo della comunicazione, ci ri-

troviamo specialisti di un mondo limitato e autoreferenziale che spesso fatica a gettare uno sguardo al di fuori della propria linea di rivoluzione attorno al fuoco dell'argomento in questione, verso quegli sterminati campi che potrebbero essere il potenziale terreno di conquista delle nostre velleità ermeneutiche.

La grandezza del personaggio di Galileo sta anche nell'aver sondato l'ignoto oltre le colonne d'Ercole del dogma. Ma, sia detto subito, tutto ciò è stato fatto dopo aver capito bene quelle che erano le leggi matematiche e fisiche che regolavano il suo mondo. Attraverso il vettore del cannocchiale, l'avventura galileiana ci ha spinto tra le stelle aprendoci la visuale di un Universo che, all'improvviso, aveva posto in un punto lontanissimo e indefinito i propri confini. Con la forza e la curiosità proprie dei grandi uomini, Galileo ha sfidato la paura dell'ignoto – ma anche quella ben consapevole di ciò che le sue scoperte avrebbero comportato – per aumentare la propria conoscenza e poi, comunicandola in volgare e non solo in latino, contribuire a renderla condivisa non soltanto nei confronti dei propri pari filosofico-scientifici, ma anche nei riguardi di chi, fra il popolo, sapesse leggere. Messaggi che, chiari e ben congegnati, sono giunti fino a noi come retaggio delle potenzialità degli antenati ma anche come esempio metodologico per noi e i nostri posteri. Non suoni come ardua sentenza, ma la vita di Galileo trasuda ancora oggi dello sforzo trasformatore dell'uomo che da specialista diventa esploratore dell'Universo comunicativo a tutto tondo. Un uomo che rivolge il suo sguardo al sole e che allo stesso tempo impiega schiere di neuroni nell'improbabile tentativo di coglier l'essenza delle altre stelle.

Oggi, forse, di uomini come quelli seicenteschi, pronti a scandagliare le profondità degli abissi così come le vette siderali delle galassie non ce ne sono in giro molti. Probabilmente tale deficienza non è dovuta a un'involuzione antropologica della nostra specie, bensì a un ben più complicato complesso di compenetrazioni culturali e sociali che impediscono a un unico uomo anche solo di osare tentare un simile passo. Forse, in ogni aspetto locale del nostro tempo.

Galileo, pertanto, da grande uomo è diventato dapprima esempio e poi è trascorso in materia di studio a se stante. In questa ottica, chi lo studia sta a Galileo come lo stesso pisano stava alle materie che metteva sotto la propria lente d'ingrandimento. Eppure, limitatamente a quanto ho potuto esperire, tra coloro che ho interpellato nessuno, nonostante una vasta conoscenza dell'argomento ricolma di dettagli e orpelli tecnico-culturali, ha mostrato la completezza dell'azione di studio che Galileo, forse inconsciamente e forse no, tentava di raggiungere in ogni sua ricerca.

Lungo tutto il percorso della mia ricerca, ho potuto conoscere personaggi stimabili che, però, o accrescevano la propria conoscenza soltanto all'interno dei capienti centimetri cubici del proprio cervello in uno spasmo reiterato di autoreferenzialità, oppure, al momento di comunicare i risultati raggiunti, non coglievano l'esigenza di conoscere l'opinione di coloro a cui la comunicazione era rivolta. Prassi che sono probabilmente dovute alla struttura culturale del tempo in cui ci troviamo, volenti o nolenti, ad agire, ma che contribuiscono ad allargare la forbice fra chi conserva e ravviva la conoscenza

e chi non ne ha accesso quotidianamente. I primi, infatti, rischiano di diventare sterili eruditi che, visti frustrati tutti i tentativi di condivisione, incolpano gli altri per l'ignoranza incomprensibilmente sfoggiata e prendono questi eventi a pretesto per un'ulteriore chiusura nella torre d'avorio, così elevata sopra gli abissi dell'umana inadeguatezza. Nonostante questo gesto sia il più istintivo che esista in un'era già profondamente caratterizzata da una distanza enorme fra specialisti e non, allo stesso tempo è il gesto più sbagliato perché aumenta la distanza e diminuisce, quando meno ve n'è bisogno, la densità di cultura presente nel tessuto sociale, innescando un circolo vizioso che rischia di implodere in un gorgo autolesionista.

Lungi dall'aver mai sondato le tendenze del pubblico a cui stavano per rivolgersi, gli organizzatori delle mostre celebrative dell'anno galileiano 2009 non si sono nemmeno mai chiesti chi fosse Galileo per i toscani. Le risposte a questo quesito variavano dal netto «Non saprei» al più generico «Simbolo di toscanità dalla genesi confusa e ignota». Parimenti agli organizzatori, gli storici della scienza, che quotidianamente sondano le oscillazioni del titolo Galileo nei secoli, si limitano a volgere lo sguardo al passato, esimendosi dal misurare il presente, quasi non fosse una mansione, ancorché marginale, insita nel loro compito. Alla stessa stregua di chi, non avendo ancora letto l'ultimo capitolo di un libro, nota una certa tendenza all'interno dei capitoli precedenti, gli storici si espongono immaginando che, di primo acchito, le cose non siano cambiate e quindi il Galileo dei sessanta milioni di italiani oggi sia lo stesso dei secoli scorsi. Per la precisione, un'icona italiana al pari di Dante, Michelangelo e Leonardo da Vinci, che resta a pieno titolo in questo pantheon perlopiù per l'importanza etico-politica che la sua figura riveste. In altre parole, l'impeto e la forza con cui Galileo ha difeso le proprie convinzioni innanzi ai dogmi e al potere della Chiesa di Roma nel Seicento, ne fanno un grande paladino del laicismo, osannato da atei e laici e bersagliato, implicitamente, dai cattolici e dai credenti. Accettando questa lettura, non si capisce perché, allora, anche Giordano Bruno non faccia parte dei numi tutelari della nostra società come e quanto Galileo. A maggior ragione in virtù del fatto che Bruno mai abiurò come Galileo e, per questo, fu condannato al rogo. A mio avviso, la chiave di lettura sta nella sottintesa, ma temo inconsapevole, traccia indelebile che hanno lasciato in noi le prove lasciate dalla speculazione filosofica galileiana. Bruno si limitò a postulare, senza dimostrare, l'esistenza di altri mondi, Galileo ne fotografò l'esistenza. Come? Attraverso un metodo sperimentale, più volte chiamato scientifico o addirittura galileiano, che lo avvicinò al lavoro manuale così spesso sottovalutato, permettendogli di perfezionare i telescopi e altri strumenti frutto della tecnica del tempo, in modo da poter vedere, toccare e provare gli oggetti della propria ricerca. Non più solo filosofia, ma dati e dimostrazioni esperibili da tutti. Di qui la scienza, dicotomia di pensiero e osservazioni che si abbracciano in un perpetuo nastro di Möbius.

La nascita di una nuova disciplina come la scienza, dapprima inglobata nella filosofia e poi progressivamente sempre più autonoma, causa sempre un'esplosione che, come nell'Universo stellato, dà vita a una rivoluzione. Da sempre più lenta di quanto si

creda e si desidera, ogni rivoluzione cambia la prospettiva con cui la maggioranza degli uomini guarda alle cose e alle relazioni della cui somma, secondo Ludwig Wittgenstein, è fatto il mondo. La rivoluzione scientifica del Seicento, pertanto, vide Galileo fra i protagonisti al fianco di altri grandi scienziati come Copernico, Keplero, Brahe, Newton, Bacon, Boyle, Huygens, Cartesio e insieme alla schiera di moltissimi personaggi minori che contribuirono al perfezionamento e alla divulgazione delle nuove scoperte. Per questo, secondo me, l'ambito di questa rivoluzione non si limita all'ambiente scientifico, ma investe anche la più ampia dimensione culturale.

Per gli organizzatori delle mostre e gli storici della scienza incontrati queste conclusioni sono banali e ben sedimentate. Non a caso, il loro Galileo personale snoda le spire della sua importanza fondamentale principalmente sui canali del metodo scientifico. Al di là di alcune passioni personali – come per esempio la misurazione del tempo – la maggior parte degli esperti riconosce l'importanza dello scienziato pisano a partire dal fondamentale cambio di metodo rispetto alla filosofia precedente. L'idea, cara anche a Cartesio e Bacon, di partire dalle certezze dateci dai sensi, sconvolge lo *status quo* e dà vita al metodo scientifico che, col passare del tempo, tende a relegare il resto della fisica allo stadio di metafisica o religione. Per ottenere certi risultati, però, non si può prescindere dalla funzionalità e dal perfezionamento di strumenti meccanici che ci possono aiutare sia nel percorso deduttivo che in quello induttivo. Il risultato di questa eredità è pregno di scienza e riflette un Galileo il cui profilo scientifico va ben al di là di quello etico-politico che, secondo gli stessi esperti, è sempre andato e tuttora va per la maggiore. In assenza di un'indagine che provi tali sensazioni, in queste evidenze si nota un certo segno di distinzione elitaria fra gli iniziati e la massa del popolo ritenuto ignorante e fuorviato.

Eppure, l'*humus* culturale delle persone nel loro insieme mostra tendenze inaspettate. Con questo non voglio dire che, prima di iniziare l'indagine sociale, non concordassi con le intuizioni degli esperti. Tuttavia, sin dal principio ho notato che, messi di fronte a molti concetti relativi a Galileo, i soggetti del campione associassero alla sua figura quelli legati a doppio filo con la scienza. Una tendenza che si è mantenuta costante fino al termine e che, accorpate le varie parole in coalizioni semantiche, hanno visto trionfare l'astronomia sulla scienza fisica. Vita, sfera etica, politica e convenzioni contestuali sono state relegate in secondo piano a grossa distanza dall'ambito scientifico. Come già esposto nelle pagine dedicate ai risultati, per i cittadini italiani Galileo è uno scienziato che grazie al metodo scientifico e alle sue protesi meccaniche (cannocchiale e telescopio) innescò una rivoluzione scientifica che diede vita al concetto convenzionale di Sistema Solare. Questa conclusione si è rivelata comune sia ai toscani che ai cittadini di altre regioni e trasversale fra maschi e femmine. L'oscillazione fra le parole è stata ampia, invece, sia per quanto riguarda la media che nelle cinque fasce d'età. Tuttavia, il concetto espresso sopra non è cambiato di molto.

Una delle parole che ha oscillato meno tra generi, località ed età è stata "scienziato". Questo a dimostrazione che, indipendentemente dal grado di conoscenza dell'argo-

mento, chi desiderava esprimere un giudizio non troppo dettagliato e preferiva ripiegare su un concetto generico, cerciava questa parola piuttosto che quelle relative all'arte o allo scontro con la chiesa.

Non mi aspettavo certi risultati e soprattutto una tale omogeneità di fondo a fronte di una gran differenza fra i risultati minimi e massimi di ogni parola. Tuttavia, per quanto il campione non sia così vasto da ritrarre il Galileo odierno nei minimi particolari, i risultati mostrano una tendenza che ritengo positiva perché mostra come la scienza non sia così misconosciuta e marginale nella percezione degli italiani e perché – nel suo piccolo – sfata la leggenda che le persone siano così a digiuno di cultura e di scienza in particolare.

Come mi ha detto Maurizio Bossi, coordinatore del Centro Romantico del Gabinetto Vieusseux di Firenze, allorché l'ho informato dei miei risultati parziali, ora è il momento di sottolineare quest'inversione di tendenza e di capirne i motivi. A suo dire, ma faccio miei certi auspici, la scienza è parte integrante della società almeno dal secondo dopoguerra. Anche se può sembrare molto tempo, sessant'anni sono un tempo infinitesimale nell'evoluzione fisica della nostra specie. Anche se quella mentale può avere tempi più ristretti, sessant'anni sono pochi anche per lei. Il secondo dopoguerra, però, è nato dalle ceneri della bomba atomica che è considerata unanimemente come il traguardo e la sconfitta più grande della *big science*. Dalla guerra fredda in poi, per quanto tale giudizio sia troppo aderente all'egemonia della fisica di questo periodo, ogni avanzamento era sinonimo di nuove prospettive militari, e quindi la scienza ha vissuto i suoi anni di crisi. Una crisi che, secondo alcuni storici della scienza e secondo molti filtri culturali come film, libri e rappresentazioni teatrali è ancora attuale. Come spiegare, allora, il fatto che alla richiesta di cerchiare le parole galileiane per loro più importanti, i cittadini abbiano riservato così tante preferenze per la scienza e l'astronomia? Forse perché il sentimento che strumenti e scoperte siano fondamentali per l'umanità se l'uso che se ne fa è virtuoso, è una convinzione ben radicata in noi. Ben più di quanto si voglia credere. Oppure, il minimo embrione di comunicazione della scienza organizzata che da qualche anno cerca di informare i cittadini in modi più o meno informali sta producendo i suoi primi piccoli effetti. Ovviamente non sono così presuntuoso da non capire che la portata della mia ricerca è minima e che fenomeni di questo tipo possono risentire dell'influenza di molteplici fattori, di cui molti ignoti. Tuttavia i risultati, ancorché relativi soltanto a un personaggio cardine come Galileo, sono così sbilanciati dalla parte della scienza che, indipendentemente da quelle che sono le loro cause, arrivano a smentire i pregiudizi sulle conoscenze diffuse fra le persone più differenti.

LE IMMAGINI DI GALILEO SUL GRANDE E SUL PICCOLO SCHERMO:

I MOLTI VOLTI DI UN'ICONA

ANTONELLA TESTA

CRISTINA OLIVOTTO

Dipartimento di Fisica, Università di Milano

1. Introduzione

Nell'indagine sull'immagine pubblica di uno scienziato o di un personaggio – com'è il caso di Galileo –, la discussione su come il cinema e la televisione l'abbiano rappresentato e su come il pubblico lo abbia recepito è spesso oggetto di punti di vista piuttosto diversi. Dagli ambiti scientifici, in particolare, è raro che ci sia una posizione di aperta considerazione: cinema e televisione sono ritenuti di norma mezzi di intrattenimento, senza alcun valore culturale o con effetti diseducativi. Sono visti dunque come ben distinti dalle modalità condivise di formazione culturale di ciascun individuo – nel contesto familiare, sociale e scolastico – che si presuppone veicolino e permettano di plasmare in ognuno anche l'immagine della scienza e di chi la pratica. Va altrettanto detto che, dagli ambienti delle professioni televisive e cinematografiche, raramente ci si rivolge a quelli scientifici con sicurezza e apertura, anche quando l'oggetto delle produzioni appartiene all'area scientifica, sia esso un episodio di storia della scienza o una biografia scientifica o altro ancora.

Si tratta di una considerazione di carattere generale, che regge al confronto con rapporti invece molto più fruttuosi: tra tutti è il caso della storia, che vanta indubbiamente collaborazioni più strette, arrivando a includere anche la storia della scienza. Si tratta inoltre di una considerazione che vale per il nostro paese che, proprio mentre il cinema si forgiava al volgere tra l'Ottocento e il Novecento, ha posto quelle solide basi della dicotomia tra cultura umanistica e cultura scientifica che ha contribuito ad allontanare nel corso dei decenni successivi, salvo eccezioni che vedremo, il cinema (e poi la televisione) e la scienza; di questo abbiamo ancora oggi evidente traccia sia nella situazione produttiva italiana, sia nelle scelte di offerta cinematografica e televisiva, pubblica e privata.

In molti altri paesi la situazione è profondamente diversa, basti pensare al Regno Unito, agli Stati Uniti d'America, alla Francia: seppure con diverse modalità questi e altri paesi hanno potuto sviluppare una tradizione di produzioni scientifiche con la stretta collaborazione di scienziati e storici della scienza, enti di ricerca e università che hanno spesso dato luogo a realizzazioni di alto pregio scientifico e largo successo di pubblico.

Eppure, le radici del cinema sono incredibilmente intrecciate con l'attività scientifica della seconda metà dell'Ottocento. L'opinione comune riconosce la nascita del cinema nella sua data ufficialmente definita, il 28 dicembre 1895 in occasione della prima proiezione pubblica dei fratelli Lumière al Salon Indien del Grand Café, in Boulevard des Capucines, a Parigi. Ma non possiamo qui non ricordare che, fin da un paio di decenni prima, scienza e precinema (ovvero la ricerca, l'insieme degli apparati, dei protagonisti e degli episodi che precedono la nascita convenzionale del cinema) già dialogavano in un sodalizio fecondo ed efficace, da cui hanno tratto vantaggio tanto la scienza quanto il cinema. In cerca di una tecnica adeguata alla registrazione di un raro evento astronomico nel 1874, ad esempio, l'astronomo Pierre Jules César Janssen, che aveva ottenuto notorietà nel 1868 per avere identificato un elemento chimico fino ad allora sconosciuto (l'elio) dall'osservazione di un'anomalia sullo spettro solare, mise a punto il suo revolver cronofotografico: lo strumento accoppiava un apparecchio fotografico a una lastra foto-sensibile che si muoveva meccanicamente, in moto automatico e a scatti regolari per ottenere una successione di fotografie al ritmo di poco meno di un'immagine al secondo. Un principio di funzionamento di base per il cinema, simile a quello della tecnica time-lapse, usata ancora oggi da documentaristi e cineasti.

L'evento in questione era il transito di Venere sul Sole, che occorre ogni 122 anni, a coppie di eventi separati da otto anni e che si è verificato solo sette volte (l'ultima, nel 2004) in era telescopica. Un evento che permette, tra l'altro, di affrontare una questione cruciale per la storia dell'astronomia (calcolare le distanze tra gli oggetti del Sistema Solare), ma che, naturalmente, non è riproducibile in laboratorio, è visibile solo in alcune zone del globo e la cui osservazione può essere facilmente compromessa da avverse condizioni meteorologiche, ovviamente non controllabili. Tutte istanze che ne fanno un'occasione unica e che permettono di comprendere la determinazione a osservarlo e a registrarne l'evoluzione.

Quello appena citato non è che uno di numerosi esempi. Negli stessi anni, molte discipline scientifiche esigevano sviluppi di tecniche che consentissero di cogliere dinamiche non osservabili dall'occhio umano o per mezzo della strumentazione scientifica allora disponibile: è il caso degli studi di fisiologia animale e umana, della pratica medica, della botanica, della microscopia biologica... Da questi ambiti l'impulso allo sviluppo del precinema fu solido e diversificato, interessando molti protagonisti di vari paesi: Marey, Muybridge, Londe, Sebert, Anschütz, Kohlrausch, Demeny, Bull, von Lendenfeld, Nogués [20].

La ripresa intervallata, ad esempio, fu essenziale in botanica, tanto quanto la cinematografia ad alta velocità lo fu per la fisiologia. Entrambe sono oggi tecniche comuni della documentaristica. In buona sostanza, come la fotografia nel corso dell'Ottocento, così anche il cinema degli esordi mostrò subito la sua vasta e diversificata utilità in ambito scientifico.

In questo senso chi scrive ritiene a buon diritto di poter annoverare il cinema tra gli strumenti scientifici, di cui peraltro tutto il Novecento è testimone di utilizzo. Oggi, la

gran parte dei settori scientifici sperimentali della ricerca di frontiera utilizza tecniche di animazione, filmati e immagini in movimento, dalla simulazione della collisione di fasci di particelle in un acceleratore a quella dell'interazione di galassie.

Fin dalle sue origini, infatti, il cinema, al pari di altri strumenti scientifici, permette di estendere i sensi dell'uomo; si rivela come strumento di registrazione, analisi e riduzione dati, mostra efficacia come strumento di didattica ed educazione scientifica, consente di governare lo spazio e il tempo. La perforazione di una bolla di sapone con un proiettile in ripresa ultrarapida, la crescita di una pianta in ripresa intervallata, il movimento di un batterio in microcinematografia guidata, le fasi del galoppo di un cavallo in corsa in cronofotografia: sono alcuni esempi di come il cinema permette di vedere l'invisibile, per usare un'espressione che costituisca una buona sintesi.

Ben presto, inoltre, sarà usato come strumento di registrazione di fatti, pensieri, opinioni, processi e come strumento di racconto della vita di scienziati, diventando anche un prezioso elemento di letteratura primaria e secondaria per gli storici della scienza, accanto alle fonti tradizionali.

Se le esigenze scientifiche hanno promosso il forte sviluppo delle tecniche cinematografiche dagli esordi, va ugualmente segnalato che il cinema nascente mostrò un'attenzione particolare agli accadimenti scientifici, come probabilmente non è mai più avvenuto. La produzione internazionale a cavallo dei due secoli, Ottocento e Novecento, e dei primi due decenni del Novecento, infatti, è incredibilmente ricca di titoli che prendono spunto dalle ricerche ritenute più interessanti e promettenti o dagli ambiti più accattivanti: dall'esplorazione dello spazio vicino e lontano ai drammatici eventi naturali del pianeta, dall'esplorazione di ambienti remoti e ostili alle grandi scoperte, che siano i raggi X o i primi tentativi di volo¹. Che poi il cinema abbia voluto stravolgere e interpretare questi fatti in piena libertà, fino ad arrivare spesso alla parodia (come nelle produzioni di Méliès) è un dato di fatto.

Per il cinema è presto chiaro che il successo si deve alla capacità di creare emozione e coinvolgimento presso il pubblico: in nome dunque dell'esigenza di drammatizzazione il cinema raccoglie spunti e li interpreta. È facile comprendere che le figure preferite vanno dall'apprendista stregone allo scienziato pazzo, dal buono al servizio della società al genio isolato, dal caparbio inventore all'avventuriero. Nelle trame, raramente la scienza e gli scienziati sono calati nella quotidiana pratica scientifica perché meno avvincente.

È sulla base di ciò che si posano i mattoni della diffidenza degli ambienti scientifici verso il cinema e la televisione. Ma nell'analizzare l'immagine pubblica di uno scienziato non si può prescindere dal considerare cinema e televisione, che pur tra fasi alterne hanno segnato nella loro storia un diffuso successo di pubblico. Oggi, in particolare, in una società visualmente orientata, è imprescindibile la considerazione del ruolo di cinema e televisione nella formazione dell'immaginario collettivo di uno scienziato o della scienza [1].

In questo contributo sarà analizzata l'immagine di Galileo in una selezione di tre

film, dopo aver collocato la filmografia galileiana nel contesto della filmografia a carattere scientifico, con particolare riferimento ai titoli biografici.

2. Galileo al cinema e in televisione, nel panorama delle produzioni a spunti scientifici

I soggetti scientifici hanno da sempre fornito spunti per trame al cinema. Nel corso del secolo di storia della settima arte, le scelte dei personaggi o di eventi scientifici – veri, ispirati al vero o del tutto immaginati – sono state regolate da una moltitudine di fattori che dipende in larga misura dall'epoca storica, dalle condizioni politiche, dal paese di realizzazione, dai soggetti e dalle produzioni coinvolte. Una sintesi organica di questi fattori richiederebbe una discussione approfondita che non è tra gli scopi di questo contributo, ragion per cui ci limiteremo a inquadrare la filmografia occidentale che coinvolge scienza e scienziati, per poi valutare il caso di Galileo.

Volendo fornire un quadro d'insieme, diremo che complessivamente il cinema ha mostrato fino agli anni Venti un interesse prevalente per tematiche e personaggi (fittizi o veri) di psichiatria, chimica e medicina, interesse proseguito nel decennio successivo soprattutto per la chimica e la medicina: sono le figure che probabilmente riflettono più da vicino l'immagine pubblica (anche dei cineasti) dello scienziato col camice in laboratorio². La fisica entra in gioco in modo determinante per effetto dell'atomica e il cinema ne sarà un grande interprete, con produzioni molto diversificate per genere ed espressione, dagli anni Cinquanta fino agli anni Ottanta, traendo anche grande impulso dal parallelo sviluppo della televisione, con i suoi propri generi [10]. Con le prospettive e la diffusione pubblica delle conoscenze, prima nell'ambito della biologia e, successivamente, della genetica e delle biotecnologie, a partire dagli anni Ottanta ci sarà un fiorire di titoli legati a queste tematiche, che è attivo ancora oggi.

Globalmente, inoltre, alcuni temi risultano essere più trattati di altri perché ritenuti dal cinema forieri di maggior attenzione e curiosità da parte del pubblico, più facilmente drammatizzabili e dunque traducibili in trame di successo. Tra tutti è sufficiente citare l'esplorazione dello spazio e la ricerca di vita in altri mondi che, muovendo dalla verniana memoria di *Le voyage dans la Lune* (George Méliès, 1902) fino alle più recenti produzioni come *Avatar* (James Cameron, 2009), conta centinaia di titoli, soprattutto nel genere fantascientifico, spesso ricco di elementi scientifici trascurati all'analisi degli specialisti.

Alcune classi di scienziati sono state poco rappresentate nel corso della storia del cinema. È il caso dei matematici, ad esempio, che solo di recente hanno avuto un'importante collocazione. In termini di frequenza di titoli a soggetto scientifico, poi, vanno segnalati periodi di più intensa produttività, legati a situazioni locali contingenti, come è il caso di Stati Uniti, Germania e Unione Sovietica negli anni Trenta e Quaranta, seppure con sensibili differenze: mentre gli Stati Uniti si concentravano su figure dell'Ottocento e del Novecento (Pasteur, Marie Curie, Edison...), al di qua dell'Atlantico si attingeva anche alla storia più lontana (Cartesio, Paracelso, Copernico...)³.

Spesso le produzioni, soprattutto nel caso televisivo, sono stimulate da anniversari o eventi particolari: ad esempio, *Dopplesterne* è prodotto nel 2003 per i duecento anni della nascita di Christian Doppler, il *Pasteur* di Epstein (Francia, 1926) per il centenario della nascita e *Pasteur, cinq années de rage* (Francia, 1995) per quello della morte. Negli Stati Uniti e Regno Unito l'Anno Internazionale della Fisica 2005 ha stimolato la produzione di buoni documentari e docu-fiction televisivi, anche se non un film di qualità per il grande schermo.

Nel complesso, tuttavia, il cinema mostra di interessarsi ad alcuni personaggi scientifici più che ad altri in maniera alle volte sorprendente. Marie Curie e Louis Pasteur, ad esempio, sono senza dubbio frequentemente e ben rappresentati. Per contro, se in termini di frequenza Albert Einstein è tra gli scienziati a cui il cinema ricorre molto, va segnalato che è spesso una figura resa in termini di parodia o impiegata come icona per quegli aspetti largamente conosciuti dal pubblico (le sue passioni, il suo aspetto) più che per la sua levatura scientifica e i contenuti del suo pensiero.

Galileo Galilei si colloca in una posizione intermedia, che ora andiamo a indagare.

3. Per una filmografia galileiana

Galileo Galilei è una figura rappresentata da registi di parte del mondo. Senza voler essere esaustivi ed omettendo il genere documentario che per sua natura ha caratteristiche completamente diverse dal film e dalla fiction, citiamo i film dedicati a Galileo. *Galileo Galilei* (di Luigi Maggi, 1909) *Galileo* (di Theo Frenkel, 1911, Gran Bretagna, 17 min.), *Leben des Galilei* (di Egon Monk, 1962, Germania, 150 min., prodotto per la televisione), *Lamp at midnight* (di George Schaefer, 1966, Stati Uniti, 76 min., prodotto per la televisione), *Galileo* (di Liliana Cavani, 1968), *Galileo* (di Joseph Losey, 1975), *Galileo* (di Raul Araiza, 1974, Messico, 30 min.), *Galilei* (di Otto Adam, 1977, Ungheria, prodotto per la televisione), *Galilei* (di Mihail Badica, 1984, Danimarca), *Eppur si muove...* (di Ivo Barnabò Micheli, 1989, Italia/Germania), *Galileo* (di James Joseph, 1994, India, 92 min.), *Galileo: on the shoulders of giants* (di David Devine, 1998, Canada, 57 min., prodotto per la televisione), *Galilée ou l'amour de Dieu* (di Jean-Daniel Verhaeghe, 2005, Francia, 90 min., prodotto per la televisione).

Tra questi analizzeremo nel seguito tre pellicole in particolare, per l'importanza cinematografica, la notorietà dei registi, l'originalità del soggetto, il successo e la critica in relazione al periodo storico in cui furono prodotti. Sono i titoli di Maggi, Cavani e Losey.

4. I film

4.1. *Galileo Galilei*

Regia: Luigi Maggi. Sceneggiatura: Arrigo Frusta. Fotografia: Giovanni Vitrotti. Interpreti: Lydia De Roberti, Mirra Principi. Produttore: S.A. Ambrosio (Italia). Anno: 1909. Durata: 11 min. (223 m.), b/n, muto.

Galileo Galilei è una breve pellicola che narra solo alcuni episodi salienti della vita

di Galileo con un approccio poco storico e molto mitizzato. È strutturata in otto quadri con cartelli:

1. Galileo studia il moto di rotazione della Terra.
2. Dall'oscillazione di una lampada Galileo trae la legge del pendolo.
3. Uno scrivano infedele ruba per vendicarsi le carte descriventi i movimenti della Terra.
4. Le teorie di Galileo ritenute contrarie alla religione.
5. Galileo accusato di eresia viene arrestato.
6. L'inquisizione condanna al rogo le teorie di Galileo.
7. La ribellione dell'anima: eppur si muove!
8. La morte di un genio.

Il film ripercorre, quindi, alcuni degli aneddoti leggendari più conosciuti anche dal pubblico (l'oscillazione dell'incensiere nel Duomo di Pisa, l'espressione «Eppur si muove!»), e rivede liberamente la storia dello scienziato attribuendo la sua condanna alla rivalità con un discepolo, che prima cerca di sedurre la figlia e poi lo denuncia al Sant'Uffizio, consegnando le sue carte ricche di appunti di lavoro, di nascosto sottratte dallo studio. La figlia sarà costretta a prendere i voti, mentre il padre sarà arrestato, processato e condannato. In chiusura Galileo è ormai anziano, cieco e malato, circondato dall'affetto di alcuni allievi.

Il film si svolge in tre ambientazioni: lo studio di Galileo, in cui risaltano due strumenti (una sfera armillare e un cannocchiale) e una gran quantità di carte a cui lo scienziato si dedica con fervore scrivendo i propri appunti; la scena del processo, che attira l'attenzione dello spettatore proponendo con insistenza la sigla S.U. (Sant'Uffizio); il luogo del confino di vecchiaia, scarno e triste.

Dal punto di vista dei contenuti il film è discutibile, tanto sul piano narrativo quanto su quello scientifico. La sua produzione va tuttavia inquadrata nel contesto del cinema italiano nascente, che proprio nel primo decennio del secolo ebbe uno straordinario sviluppo. In quell'epoca, nella quale ancora non è possibile parlare di generi cinematografici, che prenderanno forma solo successivamente, il breve film ha il pregio di collocarsi nel panorama dei titoli che inaugurano la tradizione italiana del film storico, iniziata con *La presa di Roma* del 1905 [2, p. 95-103].

Galileo Galilei nasce nel clima di fermento di quegli anni e ne acquisisce metodologie e obiettivi: trasmettere un'immagine gloriosa dell'Italia giolittiana, servire da supporto all'ideologia nazionalista non raramente anticlericale, caricarsi di significati legati al clima politico italiano [5, p. 28]. Per celebrare la *grandeur* italiana e interpretarne la volontà di potenza, il cinema riscopre infatti i grandi miti nazionali: Galileo Galilei è l'iniziatore della scienza moderna e diventa figura fondante per la nuova Italia a cui dedicare un film storico o, più opportunamente detto, in costume. Ed è significativo che

sia stato realizzato proprio nel 1909, a trecento anni dal primo uso, da parte di Galileo, del cannocchiale per l'osservazione del cielo.

Il film venne lanciato con espressioni enfatiche:

Le meravigliose scoperte di Galileo Galilei, abbattendo errate teorie, che per più secoli si sostenevano sull'ignoranza e sul fanatismo, rivoluzionarono il campo delle scienze fisiche e astronomiche, ma invece di essere al suo autore fonte di gloria, che poi gli tributarono le generazioni seguenti, furono a lui cagione di amarezze e dolori inauditi [3, p. 307].

Questo *Galileo Galilei* non riuscì tuttavia a collocarsi tra i grandi classici del cinema muto italiano (*La presa di Roma, Gli ultimi giorni di Pompei...*), e ricevette anche commenti duri dalla critica del tempo, sebbene non unanime, che sottolineò come la casa di produzione, nell'intento di piegare a ragioni commerciali la storia, produsse il «gravissimo difetto di infedeltà e storpiatura storica», peraltro senza ottenere gli scopi che si era prefisso⁴.

4.2. *Galileo*

Regia: Liliana Cavani. Sceneggiatura: Liliana Cavani, Fabrizio Onofri, Tullio Pinelli. Fotografia: Alfio Contini. Interpreti: Cyril Cusack, Gheorghi Kaloiancev, Giulio Brogi. Produzione: Fenice Cinematografica SPA (Venezia), Rizzoli Film SPA (Roma), Kinozenter (Sofia), Boyana Film (Italia-Bulgaria). Anno: 1968. Durata: 110 min.

Il film è la biografia di Galileo limitata al periodo dal 1592, quando ottenne la cattedra di matematiche a Padova, al 1633, anno dell'abiura. L'impianto narrativo si sviluppa intorno a tre temi fondamentali: la messa a punto del cannocchiale, il rapporto tra Giordano Bruno e Galileo Galilei, il processo. Sullo sfondo, scene di vita quotidiana e culturale dell'epoca, la figura della compagna e della figlia Virginia, il rapporto con gli allievi. La biografia è un crescendo positivo per lo scienziato, con momenti storici quali le prime osservazioni delle scabrosità lunari o dei pianeti medicei-satelliti di Giove, fino all'apice, nel 1611, quando a Roma discute con gli astronomi vaticani Cristoforo Clavio e Christoph Scheiner (suo acceso rivale) e ottiene udienza da Paolo V grazie al cardinale Maffeo Barberini. Ma dopo la salita al soglio pontificio di quest'ultimo, sotto il nome di Urbano VIII, ha inizio la fase discendente della parabola galileiana, che si conclude con l'abiura, intenso episodio sul quale partono i titoli di coda.

Il film ha un approccio piuttosto didattico, come anche numerose altre produzioni del periodo, tra cui quelle relativamente poco note produzioni televisive di Roberto Rossellini quali *Blaise Pascal* o *Cartesio*, titoli accolti con vasto seguito di pubblico. È di fatto un'epoca d'oro per il cinema scientifico italiano grazie a numerose opere di alto livello per la televisione [10, p. 207], che registrano la collaborazione di personalità del mondo scientifico dando luogo a efficaci sodalizi tra mondo cine-televisivo e ambiti scientifici. Il *Galileo* della Cavani uscì nel 1968, dai movimenti studenteschi, dalla contestazione e dal rinnovamento della Chiesa. La regista, cattolica del dissenso, esplorò il dissidio fra libertà e autorità, e si fece portavoce dei contrasti da cui fu travagliata la

chiesa postconciliare, pur senza mettere in dubbio i principi della fede cattolica. Per il Galileo del 1968 la Chiesa non è solo simbolo di autorità, ma l'oggetto del conflitto e del dramma di Galileo, che alla Chiesa pure appartiene con fiducia.

Il film era stato prodotto per la televisione, ma incappò nelle maglie della censura RAI prima e della Chiesa poi (da cui fu bollato «per adulti con riserva»), ma fu accolto favorevolmente dalla critica del Festival di Venezia del 1968 dove fu presentato in prima assoluta [12].

4.3. *Galileo*

Regia: Joseph Losey. Sceneggiatura: Barbara Bray, Bertolt Brecht, Joseph Losey
Fotografia: Michael Reed Interpreti: Topol, Tom Conti, Michael Gough Produttore:
Ely A. Landau Film (Gran Bretagna) Anno: 1974 Durata: 143 min.

Il film è una biografia galileiana dal 1609, con l'uso del cannocchiale per le prime osservazioni fino al 1642, anno della morte. È centrato sul rapporto con i discepoli, da una parte, e con gli esponenti della Chiesa, dall'altra; mette in scena un personaggio ambiguo, vittima dell'oscurantismo clericale e connivente con il potere; dà largo rilievo ai dialoghi e alle scene in interni come ci si trovasse di fronte ad un'opera teatrale. Perché di fatto il film di Joseph Losey è la trasposizione cinematografica di *Vita di Galileo* di Bertolt Brecht. Trent'anni prima, infatti, andava in scena prima a Hollywood e poi a New York, il dramma *Vita di Galileo*, frutto di un rapporto dialettico formidabile tra il drammaturgo tedesco e il regista americano. Era il 1947. Il testo teatrale *Vita di Galileo* ebbe una prima edizione, ispirata al *Racconto storico* del 1654 di Vincenzio Viviani [21, p. 12], scritta da Brecht in Danimarca tra il 1938 e il 1939, quando le ricerche relative alla fissione nucleare suscitavano grande interesse negli ambienti scientifici; la seconda edizione risale al periodo compreso tra il 1945 e il 1946: è la versione inglese del dramma, scritta insieme a Charles Laughton. Rivista all'indomani del bombardamento di Hiroshima, nella seconda edizione la figura di Galileo mutò radicalmente. La terza edizione, del 1955, fu scritta sotto lo spettro della bomba H e di un conflitto nucleare e si distingue solo per brevi frasi dall'edizione precedente; ad essa si rifà il film di Losey, realizzato in poco tempo e con uno scarso budget⁵. Nel film Losey sviluppò idee filmiche già presenti nel teatro brechtiano, di cui è fedele trasposizione, fatta eccezione per alcune battute e scene eliminate (come le scene V e XV, il film si sviluppa in 15 quadri); le scene d'azione del testo teatrale furono enfatizzate per il grande schermo, come è il caso di quella del Carnevale. Le profonde influenze teatrali del suo cinema sono evidenti, per esempio, nell'uso del primo piano, così che Galileo sembra rivolgersi più agli spettatori in sala che agli altri personaggi in scena. È Losey a ricordare:

Io volevo anche essere molto fedele a Brecht, cosicché ci sono pochissimi cambiamenti nella sceneggiatura, ed essa resta sostanzialmente un'opera molto parlata. Mi serviva ancora trovare un equivalente cinematografico al suo stile teatrale e forse sono riuscito a realizzarlo facendo parlare ogni tanto Galileo verso la macchina da presa in primo piano, il che equivale a parlare direttamente al pubblico e al coro [8, p. 300].

5. Galileo: i molti volti di un'icona

Galileo è stato spesso ed è ancora protagonista di documentari per la televisione. Non è scopo di questo contributo indagare la sua rappresentazione nei documentari ma nei film; tuttavia, va notato che mentre il Galileo documentario tende ad essere, di norma, una biografia pressoché completa (più o meno ben fatta e dettagliata), al contrario il Galileo filmico è sempre una selezione di episodi operata dall'autore o dal regista in base agli scopi del film. In tutti e tre titoli, sebbene realizzati in epoche e condizioni ben diverse, la selezione degli episodi o del periodo della vita di Galileo trattati è ben definita. In particolare, con la sola eccezione dell'osservazione dell'isocronismo del pendolo che riguarda uno dei quadri del film di Maggi del 1909 (e che si spiega facilmente con la notorietà dell'episodio anche presso un pubblico non particolarmente attrezzato), dai film risulta completamente assente la vita di Galileo fino all'approdo alla cattedra a Padova e ai dubbi sul sistema tolemaico. Anche successivamente si osserva la totale mancanza di momenti di rilievo: gli studi sul moto dei corpi, i lavori sul compasso geometrico militare, la stella nova, i corpi galleggianti, le comete ... Hanno invece un ruolo centrale le sue osservazioni al cannocchiale, il conflitto con la Chiesa, il processo, l'abiura.

Molto più di quanto accada nel caso di altri scienziati amati dai registi, come Pasteur o Marie Curie, Galileo è una figura multivalente che si presta ad andare ben oltre il ritratto agiografico per stimolare profonde riflessioni dal punto di vista artistico e storico-scientifico [1, p. 750-751]. È una figura sempre attuale, che incarna questioni cruciali come la responsabilità etica dello scienziato, i limiti bassi e comuni della mente geniale, la libertà del pensiero, il condizionamento esercitato dalle istituzioni. Non stupiscono né le scelte degli episodi biografici trattati nei film, né i diversi ritratti che dai film emergono di Galileo.

Il *Galilei* di Maggi è una vera icona mitizzata, un protagonista della gloriosa storia italiana, studioso e geniale. Per questo, per l'intero film, ha l'aspetto di un anziano accademico, compresa la scena dell'incensiere del Duomo di Pisa. È un saggio che riflette, intuisce e mantiene la sua libertà intellettuale anche da condannato, anziano e malato, come si vede nella scena di chiusura. Poco importa se dunque la sua vita è altrettanto mitizzata e se la verità storica è interamente piegata al racconto, pur di accogliere il favore del pubblico. Il film vede la sua genesi in una fase in cui il cinema viene usato come potente strumento di produzione di una cultura di massa, che persegue una crescita culturale del proprio pubblico senza preoccuparsi di scuotere gli stereotipi esistenti. Secondo questa impostazione il film deve contenere immediati elementi di riconoscimento da parte dello spettatore analfabeta o appena alfabetizzato, fare ricorso – in altre parole – a simboli, gesti, circostanze, episodi ben noti anche a una popolazione culturalmente poco attrezzata. Su una solida narrazione prevale la funzione del quadro, ricco di elementi scenografici, della didascalia e della gestualità. Il *Galileo* risulta una serie di unità logicamente concluse dove, alla luce di quanto appena detto, si spiegano

chiaramente molte peculiarità: l'insistenza della scritta S.U., la ricchezza di carte nello studio dello scienziato, l'estrema ed eloquente gestualità di tutti i personaggi. La verosimiglianza non è – ma lo sarà molto presto – un requisito indispensabile del film [6, p. 143-151].

Il Galileo di Losey, al contrario, è rappresentato ben più fedelmente sul piano storico-scientifico. Si tratta però di un personaggio dalle caratteristiche estreme: avido, ingordo (anche di vino e cibo), orgoglioso, imbroglione (sulla paternità del cannocchiale); è il traditore, colui che accetta la servitù del pensiero per viltà, il modello di una moltitudine di scienziati disinteressati alla ricaduta o alla dimensione morale della loro ricerca pura. È il Galileo di Brecht rivisitato nella sua terza edizione di *Vita di Galileo*, che ricorda, tra le molte storiografie galileiane⁶, da vicino le pagine de *I Sonnambuli* di Arthur Koestler: un vile approfittatore, testardo e meschino, che però gode di libertà di pensiero e di un linguaggio «di un'avvincente bellezza»⁷.

Il Galileo di Losey è un monito all'intera comunità scientifica, perché è il simbolo dello scienziato colpevole di aver messo a disposizione della collettività il suo sapere pericoloso, per ingenuità e viltà. La condanna morale di Brecht è dovuta al fatto che «portò la sua scienza in mezzo alla lotta, rinunciando poi a combattere» [8, p. 36].

La scelta dell'interprete, l'attore israeliano Topol, risulta perfetta agli scopi di Losey. La sua interpretazione, sanguigna e istintiva, fece di Galileo un uomo fulvo, dal collo taurino e il naso pronunciato, virile e sanguigno, avido e truffaldino, simile al ritratto lasciatoci da Viviani («Fu il Signor Galileo di gioviale giocondo aspetto, massime in sua vecchiezza, di corporatura quadrata, di giusta statura, di complessione per natura sanguigna» [21, p. 22]). Un'interpretazione che fu anche aspramente criticata per i suoi eccessi: «Nella scena in cui Galileo discute col cardinale a Roma si odono solo delle gran parole e sembra che dalla sua bocca esca come una forchettata di spaghetti» [17, p. 67].

Il finale del film, inoltre, è tragico. Nel dramma Galileo dice di sé stesso: «Un uomo che fa ciò che io ho fatto, non può essere tollerato nelle file della scienza». E ancora Brecht: «Ecco una grossa difficoltà — ricavare da un eroe un criminale. In tutti i casi egli è un eroe, e nonostante ciò diventa un criminale [...] Con ciò egli non è semplicemente un uomo colpevole, colpevole è la società che dalla produzione crea un criminale [...]» [19, p. 159]. Ancora una volta sono chiarificanti le parole di Brecht: «È impossibile intestardirsi nella sua esaltazione totale o nella sua totale condanna», parole che ricordano di nuovo Koestler ne *I Sonnambuli*: «Tali geni sono, ipso facto, privi di equilibrio, instabili. Le personalità di questi 'mutanti' già annunciavano l'incoerenza dello sviluppo che sarebbe seguito: i giganti intellettuali della rivoluzione scientifica furono dei nani dal punto di vista morale» [13, p. 346].

Galileo diventa metafora dello scienziato davanti al valore sociale delle proprie ricerche e, in una visione ancora più ampia, dell'uomo di fronte a una scelta. Galileo, al pari dell'intera comunità scientifica, è un abile opportunista, secondo il profilo feyerabendiano. E nel film di Losey, così come in quello della Cavani, è protagonista la sua

arte retorica, la sua capacità di convincere e incriminare le tesi altrui, spesso mettendo in ridicolo l'avversario. Galileo non è solo il personaggio chiave della pellicola di Losey, ma è l'unico a cui è data una complessità psicologica, ambigua, intorno a cui gravitano tutti gli altri personaggi, sinceri, semplici, più stereotipati.

La scelta degli interpreti è un indizio fondamentale per capire la caratterizzazione di Galileo. L'irlandese Cyril Cusack nel *Galileo* della Cavani attribuisce allo scienziato sembianze più miti rispetto al protagonista di Losey: un irriducibile ingenuo innamorato delle sue ricerche e, tutto sommato, dubbioso, saggio, pacato, fedele e timoroso. Rispettoso di Bruno, più coraggioso e meno vile, Galileo è insofferente alla toga, squattrinato. Un uomo che, per la Cavani, credeva in quello che la Chiesa professava di far proprie: la via, la verità, la luce. «Un eroe, calato in una dimensione umana». Nella scena finale del processo Galileo è umile, angosciato, dimesso. Per la Cavani, Galileo non fu un debole, ma fu capace di accettare, per sopravvivere, le regole imposte; rispetto a Bruno è un vincitore [15, p. 60-61]. La paura fa parte della sua umanità, così come l'ignoranza della sua curiosità. Di Galileo e degli altri suoi personaggi la Cavani disse: «Sono dei *pueri* spontanei. La saggezza è fatta dalla freschezza del *puer* [...]. Galileo trovava normale credere in quello che vedeva. Non gli pareva che andasse contro le regole del gioco dell'umano consorzio con la religione. Si è trovato trasgressore suo malgrado» [15, p. 61]. Il momento dell'abiura sarà per il Galileo della Cavani il tragico momento della verità, quando la sua ingenuità venne definitivamente a scontrarsi con la situazione storica.

In questo senso per Liliana Cavani, che Galileo sia uno scienziato è fatto meno importante rispetto a quello di essere uomo nuovo, uomo di cultura in conflitto con un sistema obsoleto ma detentore dell'autorità. Il dramma di Galileo è il paradigma del conflitto tra un sistema di pensiero e il suo antagonista rinnovatore. Appena concluso il Concilio Vaticano II (8 dicembre 1965), la regista intende affrontare il dibattuto rapporto tra Chiesa e Scienza, che vede la Chiesa come condizione di privilegi e distacco dalla gente, e la scienza come novità capace di suscitare spirito critico. La denuncia è forte; a proposito di coloro che andarono in cerca di inesattezze cinematografiche ecco il suo commento:

So che durante certe proiezioni in 'alto loco' di Galileo sono andati 'esperti' con tanti volumi per verificare se io dicevo la verità o no. Il mio è solo un film, non un saggio di storia galileiana. Il mio film vuole raccontare soltanto lo spirito di una lotta: quella fra l'uomo di cultura, che ha compreso ormai il diritto della libertà di indagine e di cultura, e l'autorità, un'autorità che si dichiara religiosa e che quindi si direbbe fondata sullo spirito e viceversa agisce come un istituto che pare credere soltanto nelle proprie fondamenta. Si è criticato da parte di eruditi (non posso dirli uomini di cultura perchè incapaci di vedere lo spirito, ma solo i dati) che io abbia fatto incontrare Giordano Bruno con Galileo perché nessun documento ne parla. So benissimo che nessun documento ne parla. Galileo e Bruno erano a Venezia negli stessi mesi nell'autunno 1952, frequentavano le stesse persone; possono non essersi incontrati ma possono

anche averlo fatto. In ogni caso era nello spirito del mio film far capire che Galileo non era un isolato fanatico ma che intorno a lui c'erano altri lumi, che indagavano sulle stesse direzioni...[7, p. 188-189].

Ed è, per la Cavani, tanto importante che il rapporto tra Galileo e Giordano Bruno interessa lunghe sequenze del film (di durata pari a quasi un terzo del totale), che si svolge in parallelo al lavoro di messa a punto del cannocchiale da parte di Galileo, in cerca della 'prova' di quelle idee rivoluzionarie, alacramente sostenute da Bruno. Il lavoro con il cannocchiale subisce dunque una pesante forzatura storica, in quanto viene anticipato dal 1609 al 1592.

Merita a questo punto sottolineare che, nonostante questo, il *Galileo* della Cavani, come anche quello di Losey, è accurato nella ricostruzione storica e, quando se ne discosta, appare evidente che la scelta è stata fatta intenzionalmente e consapevolmente, acquistando così significato. La Cavani si avvale della consulenza di Boris Ulianich, storico esperto di Storia del Cristianesimo che lavorò all'Istituto per le Scienze Religiose di Bologna e all'Università di Napoli Federico II e che fu consulente della regista anche per altri due suoi film (*Francesco d'Assisi* e *Milarepa*).

Già nella scena d'esordio al teatro anatomico di Padova, ad esempio, vengono ben presentati personaggi realmente esistiti: Paolo Sarpi, frate grande amico di Galileo, Girolamo Fabrici d'Acquapendente, professore di chirurgia, Cesare Cremonini, il maggiore aristotelico italiano all'epoca di Galileo, che, come mostra correttamente il film, si rifiuterà di guardare nel cannocchiale. E ancora Maffeo Barberini, prima amico e poi avversario di Galileo, Paolo V che rassicura Galileo nel 1616, Borgia, Riccardi, Ciampoli, Grassi e Griemberge, i consiglieri di Urbano VIII.

Anche sul piano più strettamente scientifico merita di dire che i cannocchiali utilizzati nel film sono del tutto verosimili, per dimensioni e fattura. Così come verosimili sono i supporti di legno su cui Galileo fa muovere le lenti, nelle fasi di messa a punto del suo strumento. Nel laboratorio di Galileo ci sono sfere armillari, un piano inclinato, una sorta di squadra e un bersaglio. In effetti durante il periodo padovano Galileo si dedicò agli studi sul moto, il che rende verosimile la presenza del piano inclinato. Il bersaglio indica un rapporto 1:400, che indica i rapporti tra le aree, cioè un ingrandimento di 20 volte, secondo l'effettivo progresso dei cannocchiali galileiani: in poco tempo Galileo costruisce uno strumento che va dai tre agli otto ai venti ingrandimenti, molto migliore di quelli olandesi, come lui stesso afferma nella finzione, fatto di cuoio e due lenti.

Il *Galileo* di Brecht/Losey, rigoroso sui grandi passaggi storici e altrettanto accurato sul piano scientifico, appare al contrario arbitrario nella caratterizzazione dei personaggi, facendo di proposito spiccare la figura di Galileo. La statura morale e intellettuale della figlia Virginia, ad esempio, è ridotta fino ad incarnare il ruolo dell'ingenua fanciulla, per la quale prendere i voti sarà l'estrema risoluzione dopo l'abbandono del promesso sposo a causa del comportamento indecoroso del padre. Cosimo II non è nel

1610 il ragazzino viziato della rappresentazione, ma un giovane di 20 anni, a cui effettivamente Galileo fece da maestro a partire dal 1605. Singolare è la caratterizzazione di Maffeo Barberini, che, come più volte sottolineato, è uno scienziato, un matematico; il papa della finzione si contrappone all'Urbano VIII della realtà:

Urbano VIII, da buon umanista, era sì in grado di stimare un intellettuale come Campanella e di trarlo fuori dal carcere, ma non era certamente capace di apprezzare un tentativo di geometrizzare i fenomeni che fosse finalizzato a conoscenza vera. Per Urbano VIII la scienza era una 'fantasia' che in quanto tale era libera di muoversi [...] ma una fantasia doveva rimanere tale, poiché la ricerca della verità sulla natura si perseguiva altrove [4, p. 30].

L'educazione matematica dell'Urbano VIII brechtiano sembra servire al regista per enfatizzare il mutamento dei rapporti con Galileo dopo la salita al soglio papale, e per legittimare il comportamento di un papa che poteva comprendere Galileo anche dal punto di vista scientifico. Virginia e Urbano VIII furono costretti da Brecht nello scheletro della sua storia per sostenere la struttura narrativa: la scelta di sfumare o stravolgere i caratteri sovrappose al mero intento narrativo quello di sostenere l'ipotesi del regista.

Nel complesso, i Galilei analizzati mostrano tre volti profondamente diversi, tratteggiati attraverso episodi deliberatamente scelti in funzione degli obiettivi del film e mediati in base alle esigenze di sceneggiatura (al punto da introdurre di proposito inesattezze temporali e/o caratteriali utili al racconto). Questi tre volti, pur ricordando alcuni dei molti volti che la ricca storiografia galileiana ha fornito nel corso del tempo, non aderiscono precisamente ad alcun modello definito e mostrano un'indipendenza che gode di un suo spessore culturale, spesso inimmaginabile per la trama di un film.

NOTE

¹ Per citare qualche titolo: *Les rayons Roentgen* (1898), *The trip of the arctic* (1903), *Eclipse de sol* (1905), *El hotel electrico* (1905), *The motorist* (1905), *Le dirigeable fantastique* (1906), *A la conquête du pôle* (1912).

² Si vedano a questo proposito alcuni esempi di survey a opera di Mead (1957), Wade Chambers (1983) e Frayling (2003) citate in [11].

³ Si trovano filmografie ad esempio nei seguenti lavori: [16], [10], [9].

⁴ In [3, p. 306-307] si riporta la sinossi con critica del gennaio 1909 tratta da *Lux*, pubblicazione mensile punto di riferimento in quel periodo per gli specialisti del settore noleggio e distribuzione.

⁵ È lo stesso Topol a ricordare che molte scene furono eccessivamente lunghe esclusivamente per motivi economici, nell'intervista dal titolo *An interview with Topol*, parte dei contenuti speciali del DVD *Galileo* di Bertolt Brecht (cit. nota 16).

⁶ Basti pensare a [18].

⁷ [13, pp. 346-371 e pp. 417-493. Si veda, in particolare, tra i numerosi esempi: pp. 351-352, pp. 353-354, pp. 363-364, pp. 368-369, pp. 422, pp. 427-428, pp. 429-431, p. 471].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Apple, R. D., Apple, M. W., *Screening Science, ISIS*, 84, 1993.
- [2] Bernardini, A., *Cinema muto italiano. II. Industria e organizzazione dello spettacolo*, Laterza, Roma-Bari 1981.
- [3] Bernardini, A., *Il cinema muto italiano. I film dei primi anni 1905-1909*, Nuova ERI, Edizioni RAI, Torino /CSC, Centro Sperimentale di Cinematografia, Roma 1996.
- [4] Bellone, E., *Caos e armonia*, UTET, Torino 1990.
- [5] Brunetta, G. P., *Guida alla storia del cinema italiano*, Einaudi, Torino 2003.
- [6] Brunetta, G. P., *Il cinema muto 1895-1929*, Editori Riuniti, Roma 1993.
- [7] Cavani, L., *Francesco e Galileo: due film*, Gribaudi, Torino 1970.
- [8] Ciment, M., *Il libro di Losey*, Bulzoni, Roma 1983.
- [9] Custen, G. F., *Bio/Pics: How Hollywood constructed public history*, Rutgers University Press, New Brunswick, N.J. 1992.
- [10] Elena, A., *Exemplary lives: biographies of scientists on the screen, Public understanding of science*, 2, 1993.
- [11] Frayling, C., *Mad, bad and dangerous? The scientist and the cinema*, Reaktion Book, London 2005.
- [12] Kezich, T., Galileo, *Bianco e nero*, 30 (5/6), 1969.
- [13] Koestler, A., *I sonnambuli*, Jaca Book, Milano 1982.
- [14] Lizzani, C., *Il cinema italiano 1895-1979*, Editori Riuniti, Roma 1979.
- [15] Marrone, G., *Lo sguardo e il labirinto*, Marsilio, Venezia 2003.
- [16] Martinet, A. (a cura di), *Le cinéma et la science*, CNRS Editions, Parigi 1994.
- [17] Porro, M., *Joseph Losey*, Mozzi, Milano 1976.
- [18] Rossi, P., Ci sono molti Galilei? in Rossi, P. *Un altro presente*, Il Mulino, Bologna 1999.
- [19] Teatro Stabile di Torino (a cura di), *Materiali per vita di Galileo*, Mursia, Milano 1972.
- [20] Tosi, V., *How to make scientific audio-visuals for research, teaching, popularisation*, Unesco, Parigi 1984.
- [21] Viviani, V., *Vita di Galileo*, Moretti e Vitali Editori, Bergamo 1992.

Le due culture

SULLE DUE CULTURE

ANTONELLO LA VERGATA

Università di Modena e Reggio Emilia

Le due culture [6] è il titolo di una conferenza (*The two cultures*) tenuta a Cambridge cinquant'anni fa, nel maggio del 1959, da Charles P. Snow (1905-1980), fisico, cristallografo, autore di romanzi, responsabile del reclutamento degli scienziati durante la seconda guerra mondiale, rettore dell'Università di Saint Andrews (1961), ministro della tecnologia nel governo Wilson (1964), baronetto, poi barone. I contenuti della conferenza (poi pubblicata nello stesso 1959 da Cambridge University Press) erano stati in parte anticipati in un articolo, anche questo intitolato *The two cultures*, sullo *Statesman* del 6 ottobre 1956.

Il mondo, sosteneva Snow, è nel mezzo di un cambiamento scientifico e tecnologico irreversibile: bisogna prenderne atto e adeguare la politica, la società e la cultura. È un cambiamento indiscutibilmente positivo, ogni resistenza è dannosa. Le resistenze vengono dalla cultura umanistica (o «cultura tradizionale»), che prevale fra i politici e nella grande maggioranza della popolazione: le persone colte considerano disdicevole il non aver letto Shakespeare, ma non l'ignorare la seconda legge della termodinamica. Cultura scientifica e cultura umanistica sono due culture «in senso antropologico», sono cioè l'insieme dei valori e delle pratiche di due gruppi umani («due gruppi polari»), distinti e antagonisti, incomunicanti «anche sul piano emotivo».

Come fu rilevato, Snow non dava una definizione di cultura. Emetteva però giudizi di valore molto netti. Gli scienziati erano descritti come democratici in politica (tranne, chissà perché, i chimici), aperti («hanno il futuro nelle ossa»), ottimisti, cooperativi, egualitaristi, liberi da pregiudizi di razza e classe, sensibili ai bisogni dell'umanità, impegnati nel miglioramento delle condizioni di vita e nella lotta alla povertà. Gli umanisti, o «letterati» (che comprendevano anche i sociologi), erano ignoranti di scienza e tecnologia («luddisti»), conservatori, individualisti, pieni di pregiudizi di classe e razza, indulgevano a un pessimismo estetizzante e narcisistico (caratteristiche esemplificate da T. S. Eliot, E. Pound, G. Orwell, J. Joyce, D. H. Lawrence e dal *novel of sensibility* di V. Woolf), guardavano con orrore al futuro (1984 di Orwell dimostrava che la cultura tradizionale «desidera che il futuro non esista»), erano politicamente perversi (avevano dato voce alle «più stupide espressioni di sentimenti antisociali»), avevano addirittura creato un clima di indifferenza agli orrori di Auschwitz. Eppure, diceva Snow, la scienza nutre e arricchisce l'immaginazione letteraria più di qualunque altra cosa, migliora la scrittura, rende le opere più aderenti alla realtà. (In questo tirava acqua al suo mulino: i suoi romanzi, scritti in uno stile nudo e volutamente privo di

effetti letterari, trattano di scienziati, di ambienti scientifici e accademici, di carriere, di moralità della scienza.)

Secondo Snow, la divisione fra le due culture impediva di comprendere le trasformazioni necessarie alla società e di mobilitare risorse al fine di alleviare la povertà e il fardello della vita umana. Bisognava dunque diffondere l'istruzione scientifica ed esportarla nei paesi in via di sviluppo. Al tempo stesso, Snow denunciava le manchevolezze del sistema educativo britannico: non solo il predominio dell'istruzione umanistica, ma anche l'eccessiva specializzazione e settorializzazione dell'istruzione scientifica. Nella perorazione di Snow c'era anche un aspetto nazionalistico, anzi *British*: non dobbiamo, diceva, essere scavalcati dall'Unione Sovietica, che favorisce l'istruzione scientifica dell'intera popolazione, pianifica lo sviluppo e ha raggiunto risultati scientifici e tecnologici di prim'ordine.

Certamente l'immagine che Snow aveva della scienza non era avalutativa. Il 27 dicembre del 1960 tenne una conferenza all'American Association for the Advancement of Science dal titolo *The moral un-neutrality of science*. Vi sosteneva che gli errori politici degli analfabeti tecnologici erano altrettanto pericolosi degli usi sbagliati della scienza. Rifiutava la dottrina dell'autonomia etica della scienza, dottrina che considerava una vera e propria forma di cecità morale. Nonostante la pretesa purezza della scienza, le sue applicazioni hanno un impatto sulla società. La «natura morale dell'attività scientifica» esige quindi una responsabilità morale. In un'altra conferenza, tenuta a Harvard nel 1960 (e pubblicata nel 1961) e intitolata *Science and government*, Snow metteva in guardia contro l'indebita influenza che gli scienziati con un progetto politico acquisiscono quando i leader politici sono ignoranti di scienza. A sostegno della sua tesi, adduceva esempi tratti dalla sua esperienza durante la guerra.

Le due culture suscitò una vasta discussione e polemiche violente. Fu attaccata sia dagli scienziati che rifiutavano l'appiattimento della ricerca pura (oggi diremmo "di base") sulla tecnologia sia dagli umanisti che accusavano Snow di ridurre i valori umani ai soli bisogni materiali. Alcuni attacchi, come quello del critico letterario Frank Raymond Leavis, ebbero un tono talmente personale da rasentare l'insulto.

Nelle sue tirate, Snow non menzionava i filosofi (non immaginava neanche che fosse possibile una discussione come quella aperta da Giulio Preti in *Praxis ed empirismo* [4] e soprattutto in *Retorica e logica* [5]). E, nella polemica che seguì, i filosofi tacquero (salvo Stephen Toulmin, che scrisse una lettera a sostegno di Snow). Né Snow si poneva il problema della razionalità specifica delle diverse sfere dell'attività umana, e di una possibile razionalità comune o condivisa, almeno tendenzialmente.

Non erano polemiche nuove, salvo la virulenza. C'era infatti almeno un precedente illustre, e proprio in Inghilterra. In *Literature and science* [2] Matthew Arnold aveva criticato la tendenza della democrazia industriale a sminuire l'importanza della vecchia istruzione aristocratica a vantaggio degli studi tecnico-pratici. Criticava soprattutto le idee espresse da Thomas Henry Huxley, il quale aveva affermato in *Science and culture* [3] che non la cultura letteraria ma la scienza doveva costituire la base dell'istruzione e

dell'etica moderne. Huxley a sua volta aveva polemizzato con le tesi esposte da Arnold in *Culture and anarchy* [1]. In quest'opera la "cultura" era definita in modo da abbracciare sia «quanto di meglio è stato pensato e detto al mondo» sia la relazione dell'individuo con tutto ciò; la conclusione era che «la letteratura [per Arnold sinonimo di cultura] è la critica della vita». Il dibattito fra i due era stato franco e vivace, ma era rimasto nei limiti consoni a due grandi intellettuali vittoriani che nutrivano grande stima reciproca. Del resto, Huxley era tutt'altro che ignaro di cultura classica e umanistica: conosceva il greco, il latino, l'italiano, il tedesco e il francese, oltre a un po' di ebraico, aveva una preparazione filosofica che gli consentiva di scrivere su Hume, Cartesio e Rousseau, sapeva di economia politica e di filosofia politica, poteva citare i poeti, ed era in grado di polemizzare alla pari con i teologi e con uomini di Stato come Gladstone.

Molti hanno criticato come unilaterale l'immagine che Snow dava della scienza stessa. Egli la riduceva, in pratica, alla fisica e alle sue applicazioni (come dimostrano i suoi rilievi sulla sordità degli «scienziati puri»). Il biochimico Yudkin gli rimproverò di ignorare i «fossati» che si trovano nello stesso campo scientifico e rendono astratto il parlare della scienza come se fosse un tutto unico, indifferenziato. Questa critica è diventata sempre più fondata col passare del tempo e il crescere inarrestabile della specializzazione. Del resto, è noto che, mentre si è nel proprio studio, è più facile vedere il resto del mondo dalla finestra che avere contezza di quello che sta facendo il collega della porta accanto. Quando si parla di divulgazione scientifica (qualunque cosa si intenda) si dimentica troppo spesso che questa non consiste solo in una comunicazione *verticale* – dall'alto dallo specialista al profano – ma anche di una comunicazione *orizzontale*, fra specialista e specialista. È assurdo credere che uno zoologo sistematico o un ingegnere del veicolo si intendano di astrofisica o di acceleratori di particelle solo perché operano in facoltà scientifiche. Altrettanto assurdo sarebbe per un "umanista" sentire voci dal pianeta Scienza che parlano come se uno studioso di Orazio dovesse, in quanto umanista - per *default* - sapere anche di filologia ebraica. Per non parlare delle rivalità *fra* umanisti e *fra* scienziati sulla questione decisiva: come allocare i finanziamenti (una questione che i discorsi edificanti sull'etica della scienza e le giuste proteste per la scarsità degli investimenti pubblici e privati nella cultura non prendono MAI in considerazione)...

Yudkin sollevava un'altra questione importante. Scriveva: «È inutile deplorare la mancanza di cultura scientifica negli specialisti di altri campi». L'istruzione scientifica universale è infatti più facile da predicare che da attuare, poiché può solo seguire una strada a senso unico: uno scienziato può godere della poesia ed essere un melomane; l'inverso non è possibile, se non si ha una formazione adeguata. È certamente meno raro imbattersi in uno scienziato dotato di raffinata cultura letteraria che in un letterato dotato di competenze scientifiche e tecniche. Ma nessuno crederà che ciò sia dovuto a una speciale illuminazione concessa dal cielo al momento della laurea in una disciplina scientifica.

Di fronte a problemi così complicati è possibile attenuare lo scoramento solo con-

cedendosi la soddisfazione negativa (ma non per questo insignificante) che deriva dallo scartare un rimedio peggiore del male: dall'escludere, cioè, fin dall'inizio soluzioni illusorie, ma proprio per questo attraenti e molto praticate. Sono soluzioni puramente verbali, retaggio – ahimè – della tradizione umanistica degenerata, soprattutto in Italia, in oratoria e retorica: in chiacchiera, per parlare schietto. Troppe volte si sente dire che letteratura e scienza sono sorelle monozigoti perché usano, in fondo, lo stesso linguaggio, le stesse categorie di pensiero e immaginazione, le stesse metafore, le stesse strategie comunicative. Ciò è sicuramente vero: ci sono *anche* studi molto seri su questi argomenti, come dimostra la bibliografia internazionale on line che la Società Italiana per lo studio dei rapporti fra Scienza e Letteratura (SISL) è venuta costruendo in questi anni, avvalendosi prima di Giovanna Chiara Graziati, poi di Fabrizia Bartalucci quindi di Patrizia Pedrini, che l'ha portata alla sua forma attuale, con la collaborazione informatica di Andrea Scotti della Fondazione Rinascimento Digitale, il tutto fin dagli inizi con la direzione scientifica e il coordinamento di Maurizio Bossi. Però troppe volte sentiamo su questi problemi discorsi suggestivi ma dal contenuto piuttosto povero, che lasciano le cose come stanno, con l'aggravante di generare l'illusione di aver conciliato letteratura e scienza a suon di parole. Quante sciocchezze sono state dette, nel santo nome della cosiddetta interdisciplinarietà, da coloro che dell'interdisciplinarietà hanno fatto un oggetto di discorso e non una attività!

Lo scambio delle opinioni, inevitabilmente e fortunatamente diverse, sui rapporti fra letteratura e scienza non esaurisce il problema, ma può solo essere uno stimolo a studi lunghi e faticosi su problemi e opere e pensieri reali. Promuoverli è compito statutario della SISL. Non so concludere questa introduzione altrimenti che rivolgendo a me stesso l'invito che ogni insegnante deve rivolgere a ogni studente, sapendo che lui stesso (l'insegnante) rimarrà uno studente fino alla fine dei suoi giorni:

Leggete, leggiamo di tutto, siamo curiosi anche di quello che non ci piace, ascoltiamo, parliamo, chiediamo e pretendiamo. Qualcosa di buono – umanistico o scientifico che sia – verrà.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Arnold, M., *Culture and anarchy: an essay in political and social criticism*, T. Nelson & Sons, London 1869.
- [2] Arnold, M., Literature and science [1882], in Super, R. H. (a cura di), *The complete prose works of Matthew Arnold*, University of Michigan Press, Ann Arbor 1974, Vol. 10, pp. 52-73.
- [3] Huxley, T. H., *Science and culture and other essays*, Macmillan, London 1881.
- [4] Preti, G., *Praxis ed empirismo*, Einaudi, Torino 1957.
- [5] Preti, G., *Retorica e logica. Le due culture*, Einaudi, Torino 1968.
- [6] Snow, C. P., *Le due culture*, con prefazione di L. Geymonat, Feltrinelli, Milano 1964 (ed. originale *The Two Cultures: the Rede Lecture* [1959], Cambridge University Press, Cambridge 1961).

UN INGLESE IN ITALIA: CHARLES PERCY SNOW, LE DUE CULTURE E IL DIBATTITO DEGLI ANNI SESSANTA

PIERPAOLO ANTONELLO

University of Cambridge

Nel maggio del 1962 l'editore Feltrinelli traduce e pubblica in Italia il *pamphlet* dello scrittore inglese C. P. Snow, *The two cultures and the scientific revolution*, che ampliava una lezione tenuta al Senato accademico dell'Università di Cambridge il 7 maggio 1959 nell'ambito delle Rede Lecture Series, riprendendo inoltre il contenuto di un articolo pubblicato da Snow in *New Statesman*, una rivista politica inglese, il 6 ottobre 1956. Le tesi del libro, diventate ormai luogo comune, riguardavano la sclerotizzazione dei canali comunicativi, all'interno della cultura occidentale avanzata, fra specifici ambiti disciplinari, fra scienza e arte, e le conseguenti ricadute negative in ambito sociale, politico, etico e pedagogico.

Il libro provocò una serie di vivaci polemiche sia in Gran Bretagna che negli Stati Uniti e fu prontamente tradotto in varie lingue, tra cui l'italiano, e anche nel nostro paese non mancò di produrre accese discussioni, dibattiti e resoconti di varia natura e genere. Lo schema proposto da Snow – che distribuiva pagelle di conservatorismo retrogrado ai letterati (inglesi) e di progressismo illuminato agli scienziati (di ogni dove) –, toccò in particolare la sensibilità degli umanisti di casa nostra che imputarono al testo di Snow superficialità, faciloneria, scrittura sciatta, disordine argomentativo, genericità delle sue disamine sociologiche, eccedenza della questione rispetto al contesto culturale italiano.¹ Per Pier Paolo Pasolini «il libro di Snow non ha quasi senso» per il contesto italiano, giudizio che verrà ripreso da Giulio Preti per il quale il libro di Snow era «troppo inglese», «un libro brutto, arbitrario, superficiale, in cui un tema così importante è stato impostato e trattato con una disinvoltura “giornalistica” che non meritava» [16, p. 10]. Particolarmente stizzita anche la replica dello storico Rosario Romeo, che in un fondo sul *Corriere della Sera* dell'ottobre 1964 accusava Snow di «rozzezza e ingenuità», ricordando che «non erano letterati né poeti coloro che progettaron e realizzarono camere a gas e forni crematori», allo stesso modo per cui «risulta che tra le figure più alte della Resistenza italiana vi fu un numero assai maggiore di intellettuali formati sulle pagine dell'anti-scientifico Benedetto Croce che non di laureati nell'Istituto Fisico Guglielmo Marconi dell'Università di Roma»².

Il libro di Snow era certamente un *pamphlet* occasionale, probabilmente poco adatto al contesto italiano del periodo, che si preoccupava di mettere in guardia dai pericoli isolazionisti di una certa élite culturale inglese (quella degli umanisti del sistema

Oxbridge), rinchiusi nella loro torre d'avorio di elitismo conservatore, incapaci di comprendere non solo il valore conoscitivo ma soprattutto il potenziale emancipativo, in senso etico-politico, della scienza, contestando agli umanisti l'incapacità di pensare e di progettare il futuro o di riuscire a dare un contributo fattivo nella risoluzione di problemi che affliggevano e affliggono l'umanità. Certamente quello di Snow era un saggio che definiva in senso semplicistico i due gruppi sociali di riferimento, gli scienziati e i letterati-umanisti, ma pur nella sua cursorietà toccava un nervo scoperto all'interno della cultura dei paesi occidentali avanzati (altrimenti non si giustificerebbero le reazioni che suscitò), lasciandoci inoltre un termine, le "due culture", e una serie di polarizzazioni teoriche e storiche, che hanno continuato a segnare il dibattito sui rapporti fra *humanities* e *hard sciences*, ponendo inoltre il problema annoso e ancora irrisolto della "interdisciplinarietà", diventato una delle grandi questioni metodologiche del secondo Novecento, sia tra gli umanisti che fra gli scienziati.

In Italia come altrove, non si discusse affatto delle questioni di carattere etico sollevate dal libro di Snow, come sui pericoli di chiusura isolazionistica e di esclusione culturale che corrono *tutti* i gruppi sociali omogenei, spostando il centro del dibattito su questioni di carattere epistemologico nel tentativo di definire i contorni di questo presunto dialogo interculturale [21, pp. 257-265]. Bisogna poi sottolineare come la polemica di Snow arrivasse fuori tempo massimo rispetto alla ricchezza del dibattito epistemologico che stava maturando nel contesto anglo-sassone. *The two cultures* era in qualche modo un sintomo di una esigenza già diffusa di ridefinire i confini epistemici troppo rigidi fra griglie disciplinari che, attraverso alcuni studi ormai diventati dei classici dell'epistemologia contemporanea (i lavori di Hanson, Black, Kuhn, Feyerabend), avrebbero dimostrato in maniera più filosoficamente sofisticata la maggiore permeabilità dei due campi della contesa³.

1. Una "cultura dimezzata"

Molti, in Italia, si lamentarono della superficialità del testo di Snow. Tuttavia, a eccezione del libro di Giulio Preti, *Retorica e logica* (1968), e quello di Ugo Spirito, *Dal mito alla scienza* (1966), gli interventi che caratterizzarono il dibattito nel nostro paese, nonché le discussioni svoltesi a livello pubblicistico e accademico, non offrirono spunti di riflessione particolarmente cogenti e la maggior parte degli interventi rimase a livello di assoluta genericità. Non vennero inoltre discusse alcune delle questioni centrali sollevate dalla requisitoria di Snow, concentrandosi narcisisticamente su problemi di immediato interesse – autodefinitori e autoassolutori – delle élite culturali e accademiche italiane. I convegni organizzati a proposito si dimostrano alquanto sterili, in termini sia di produzione critico-scientifica, sia di scrupolose analisi sociologiche o anche solo di concrete proposte politico-pedagogiche, rimanendo in assoluto ritardo rispetto al dibattito internazionale. Al convegno svoltosi a Roma il 20-21 maggio 1966, dal titolo *Due culture?*, promosso dal Comitato Cattolico Docenti Universitari, nonostante la presenza di scienziati come Gilberto Bernardini o Claudio Barigozzi, o filosofi come

Vittorio Mathieu, ci si interrogava ancora sulla legittimità di una disciplina come la filosofia della scienza (dopo più di mezzo secolo di discussioni epistemologiche a livello internazionale e un decennio dopo la costituzione della prima cattedra italiana). Alcune riflessioni soffrivano di ingenuità e semplificazioni di carattere storico⁴, e, in generale, vennero ripetute formule del tutto generiche e di largo dominio invocando i danni causati alla specializzazione accademica e disciplinare, e sottolineando i problemi del sistema educativo italiano, senza però dare proposte di carattere concreto.

Com'è ovvio attendersi da una discussione che avveniva in pieni anni Sessanta, il clima ideologico del periodo ebbe un impatto sul modo in cui il battito venne inteso in alcune sedi critiche. Un esempio sono le riflessioni raccolte da *Il Protagora*, la prima rivista italiana a pubblicare nel dicembre 1960 un resoconto del dibattito sollevato in Gran Bretagna dalla *Rede Lecture* di Snow, anticipando sia la traduzione italiana del libro, sia i temi generali della discussione [12]. Pur essendo la rivista ispirata alla tradizione del razionalismo critico, i commenti di due dei redattori, Raffaello Ramat e Raniero Sabarini, s'iscrivevano all'interno di uno schema interpretativo rigidamente marxista. Per Ramat e Sabarini la questione della unitarietà della cultura si poneva su basi egemoniche in quanto espressione di una organicità ideologica: la divisione sociale fra le "due culture" sarebbe da intendersi come uno strumento per la riuscita del controllo borghese della società attraverso una segmentazione e specializzazione disciplinare. Conseguentemente, la definizione di un "umanesimo nuovo" e l'integrazione delle "culture" può avvenire solo in seno alla classe antagonista a quella oggi egemonica [18]. La crisi di cui è espressione il tema delle "due culture" è essenzialmente una «crisi ideologica» e si presenta come una «fuga metodologica di fronte alle scelte politiche di fondo», un disimpegno politico che è una forma di «impegno mascherato in favore della classe dominante» [20]. La questione verrà poi ripresa nel 1964, sempre su *Il Protagora*, da Carlo Giulio Argan, che porrà il problema dell'«intenzionalità politica» nello sviluppo della tecno-scienza, diventata un sistema di potere oltre che un sistema di produzione. Il compito dell'arte sarebbe quello di presentarsi come «una forza essenziale nella lotta ideologica», anche per evitare la propria inevitabile morte se abbandonata alle regole del capitalismo. L'arte deve poi tentare di fornire alla tecnica il modello di una «metodologia intenzionata», cioè operare ideologicamente per orientare quel «modello di comportamento progressivo privo d'intenzionalità ideologica» che pretende di essere la tecnica, che si pone essenzialmente come metodologia⁵.

Un cospicuo contributo alla discussione in sede pubblicistica fu dato da una serie di interventi apparsi tra il settembre 1964 e l'aprile 1965 sul supplemento libri di *Paese Sera*, e poi raccolti da Armando Vitelli nel volume *La cultura dimezzata* (1965). Vi parteciparono, fra gli altri, Elio Vittorini, Norberto Bobbio, Pier Paolo Pasolini, Alberto Moravia, Vittorio Somenzi, Edoardo Sanguineti. Animato da una prospettiva politica non dissimile da quella della redazione di *Il Protagora*, fu il commento della psicologa Angiola Masuccio Costa, che spostava a un livello scalare ulteriore i termini della questione, parlando di una "terza cultura" tutta da costruire. Per Costa, la divaricazio-

ne fondamentale non si stabilisce fra “cultura umanistica” e “cultura scientifica”, ma fra “cultura democratica” e “cultura anti-democratica”, ove la cultura anti-democratica prevede e istituisce delle strutture pedagogiche e di formazione che favoriscono la polarizzazione fra una classe subalterna – preparata solo a livello tecnico-esecutivo – e una classe dirigente che usufruisce di una preparazione ampia e articolata, di carattere sia logico-matematico che storico-letterario. E, anticipando il dibattito sul rapporto fra scienza e società, concludeva asserendo che il processo di democratizzazione avviene quando scienza e letteratura «si legano spontaneamente ai modi reali di vita di tutti gli uomini, alla loro attività concreta, ai nessi con le cose e la logica degli eventi, siano essi eventi cosmici o eventi storici»⁶.

Tra i denominatori comuni del dibattito italiano sulle due culture, emerge una delle parole d'ordine del periodo: «umanesimo», sentito come una risposta «protettiva» a qualsiasi processo di dieresi e frammentazione culturale imposto dalla modernità. L'«umanista» è colui che si propone come espressione di una cultura integrata. La ricerca unitaria verrebbe compiuta da una nuova forma di «umanesimo scientifico», dove viene riconosciuta la valenza e importanza epocale non tanto della scienza, ma del «metodo scientifico», ricondotto all'interno di un alveo di comprensione con al centro l'uomo, che nel contesto italiano può recuperare i nobili antecedenti storici degli umanisti rinascimentali. Ecco che l'«umanista di domani» potrà essere un fisico o un filosofo che si ponga in una nuova posizione di ricerca [7]. Per Elio Vittorini, ad esempio, una rivoluzione culturale deve passare attraverso un rinnovamento dell'umanesimo: la scienza dovrà essa stessa diventare un nuovo umanesimo e «assumersi una responsabilità umanistica».⁷ Allo stesso modo, Ludovico Geymonat, in una discussione con Umberto Eco e Antonio Capocaccia, rassicurava i propri interlocutori sul valore umano della scienza: la scienza moderna ha superato la frattura fra uomo e scienza favorita dal positivismo, e riesce a «umanizzare la ricerca scientifica» in quanto è un conoscere che partecipa finalmente «di tutta la situazione storica dell'uomo» [7, p. 23]. Importante per Geymonat è soprattutto mettere la sordina sugli aspetti deumanizzanti della tecno-scienza e riportare qualsiasi forma di progresso scientifico e tecnico all'interno di una prospettiva antropocentrica che si ponga sempre a servizio delle esigenze dell'uomo [11, 17].

Questo monito era ovviamente avvertito all'interno della cultura filosofica e pedagogica di area cattolica. Per Pietro Prini (*Umanesimo programmatico*, 1965) e Camillo Liardi (*Scuola al bivio tra due culture*, 1966), la distinzione si instaura fra «ragione scientifica e sentimento etico-religioso della vita espresso nell'arte e nella filosofia». Tutto deve partire da un umanesimo definito come centralità dell'uomo, dal rispetto incondizionato della persona, e dal concetto di libertà come creatività. Solo attraverso questa centralità ogni discorso di unificazione fra scienza e filosofia, tra scienza e cultura può essere possibile [17, pp. 11-12]⁸.

Un altro elemento concettuale su cui vi è stata una convergenza di opinioni, è quello della dimensione *metodica* e del generale atteggiamento *critico* come base comune di approccio alla realtà da parte di una cultura integrata, che deve liberarsi dalle abitudini,

dal pregiudizio e dal dogma, attivando la volontà di ricercare, esaminare, decidere, e di trarre conclusioni sulla base di prove disponibili. Il pedagogo Giovanni Maria Bettin, ad esempio, distingue tra una cultura orientata in senso *dogmatico* e una orientata in senso *critico*, tra una cultura che favorisce l'alienazione della personalità e una che giova al suo potenziamento, fra una cultura d'impegno e una cultura disimpegnata. È importante inoltre invertire gli addendi e sondare quanto di metodico ci sia nella letteratura e quanto di intuitivo ci sia nella scienza, per individuare analogie e sovrapposizioni, favorendo la problematicità in entrambi i campi e approfondendo le relazioni⁹. Allo stesso modo, per Ludovico Geymonat l'unificazione della cultura dovrà basarsi su una «fiducia critica nella ragione umana, su una fiducia critica di ciò che la ragione umana è in grado di compiere». È importante per Geymonat stimolare l'apprendimento critico e non nozionistico dei problemi, oltre al fatto che una consapevolezza di carattere storica è necessaria «per comprendere il significato metodologico, critico, filosofico, delle conquiste scientifiche» [7, pp. 27-29].

2. Giulio Preti: *Retorica e logica*

La pubblicazione di *Le due culture* non ebbe grosse ripercussioni all'interno del dibattito filosofico nazionale, soprattutto per il carattere essenzialmente sociologico del libro di Snow, e furono pochi i filosofi che intervennero analiticamente nella questione. Uno di questi fu Giulio Preti che in *Retorica e logica* tentò di affrontare i temi esposti da Snow coinvolgendo nella sua disamina anche le repliche che nel frattempo erano emerse nel contesto anglosassone da parte di Frank R. Leavis, Lionel Trilling e Aldous Huxley,¹⁰ ampliando le prospettive di una discussione che nel merito della polemica di Snow appariva troppo limitata.

Preti fa sua la posizione di Trilling, che vede nella letteratura uno strumento di «critica alla vita» e nell'estetica un elemento fondamentale della cultura, dal momento che secondo criteri estetici facciamo scelte morali e di appartenenza, ma anche cognitive [26, p. 30]. Preti commenta inoltre il testo dell'«ermetico-mistico» Aldous Huxley, *Literature and science* (1963) che, abbandonando la definizione antropologica di «cultura», declina scienza e letteratura come «due forme di riflessione, due modi di sapere, due diverse maniere di rapportarsi verso l'esperienza, il mondo e il senso comune, l'ego e gli altri. E due modi diversi di linguaggio» [16, p. 44].

Preti contesta però la distinzione che Huxley mutua da Dilthey, per cui le scienze fisiche sono «nomotetiche», cioè tendenti a ricercare delle leggi esplicative e parte di un sistema unitario, mentre la letteratura è «idiografica», cioè interessata a descrizioni di oggetti e casi singoli o eventi «nella loro diversità e molteplicità e relativa incomprendibilità» [16, p. 35]. Per Preti si dà anche il contrario: la scienza contemporanea

può anche fermarsi ad un'irriducibile pluralità, postulare una complementarità, oppure proclamare un ideale puramente descrittivo del sapere. Mentre la letteratura, nella pretesa di *passare oltre* il singolo per intuirvi l'universale, rischia spesso di mistificare la molteplice varietà di situazioni e di sistemi di

valori nell'unicità di qualche paradigma [16, p. 36].

Preti avvalorava invece la distinzione proposta da Huxley per cui

il linguaggio della poesia non è quello della scienza. Le esigenze di quest'ultimo – univocità semantica, controllabilità sintattica, riferimento a esperienze intersoggettive – non sono quelle della poesia, in cui predominano la polivalenza, l'allusività ed evocatività del discorso, attraverso i suoi valori semantici propri, ma anche i suoni, i toni, i ritmi [16, pp. 44-45].

Rispetto alle differenti modalità discorsive di scienza e letteratura, significativo è il titolo scelto da Preti per il suo libro che mutua quello del saggio di Chaïm Perelman e Lucie Olbrechts-Tyteca, *Logique et rhétorique* [15]. La cultura letteraria, di carattere retorico, si indirizza ai valori dell'uomo concreto, che è certamente logico e scientifico, ma anche «emozione, volontà, sentimento, intuizione pratica, tradizione» [16, p. 153]; il discorso retorico è persuasivo e rivolto a un uditorio *parziale*, mentre quello logico tende in astratto e generico a un uditorio *universale*.

È interessante vedere come rispetto alla dieresi proposta dal titolo del libro, e a tutto il dibattito sulle due culture, Preti non cerchi nessun tipo di forzosa convergenza: letteratura e scienza, retorica e logica, sono «due strutture culturali antitetiche, e probabilmente complementari nel senso di Bohr; due diverse concezioni della verità, due diverse forme di cultura accentrate intorno a valori-base antitetici; due diverse scale di valori, e quindi due diverse forme di moralità» e questo non accade solo ora, ma è accaduto sempre, anche nell'antichità classica o nel medioevo [16, p. 48]. L'opposizione non è poi fra due culture, ma fra due «forme mentali», «forme della cultura o dello spirito oggettivo: due diverse scale di valori, due diverse nozioni di 'verità', due diverse strutture del discorso», che hanno una loro esistenza storica [16, pp. 14-15]. Adottando poi il concetto di Perelman di «coppie filosofiche», per Preti entrambe tendono a una portata universale, perché non cercano di eliminare l'altro polo della dialessi ma solo di subordinarlo secondo un proprio criterio di valore. Pertanto,

in una civiltà della scienza il ruolo delle attività letterarie [...] sarà subordinato, complementare, confinato a determinati momenti e aspetti della vita. E in una civiltà delle lettere il ruolo della scienza sarà a sua volta marginale, subordinato, strumentale» [16, pp. 53-54].

3. Ugo Spirito: *Dal mito alla scienza*

Pur partendo da una prospettiva e da una tradizione filosofica completamente diverse, anche un erede dell'idealismo e dell'attualismo gentiliano come Ugo Spirito si cimentò con il dibattito sulle due culture, cercando di pervenire a una sintesi che potesse reintegrare e recuperare la scienza all'interno della cultura umanistica, senza subordinarla programmaticamente al sapere filosofico.

Nel 1966, Spirito pubblicava *Dal mito alla scienza*, dove si interrogava, fra l'altro, sul «problema dell'unificazione del sapere» e sul rapporto fra «arte e scienza» [22]. È

vero che, a partire da Leonardo, la scienza si impone come forma autonoma di conoscenza, e in particolare conoscenza delle parti, portando quindi a una parcellizzazione e divisione del lavoro conoscitivo e tecnico [22, pp. 245-246]; ma si deve comunque riconoscere alla scienza un'unità metodologica e di linguaggio (matematico o chimico) capace di unire «gli individui e i popoli, e la civiltà della scienza supera finalmente la molteplicità delle concezioni del mondo» [22, pp. 252-253]. D'altro canto, se si possono realizzare comunicazioni fra le varie scienze, non esiste (né si può ipotizzare) una scienza del “tutto”, che si faccia ponte fra le varie discipline, né tanto meno si può giungere all'unificazione del sapere attraverso il ritorno alla filosofia tradizionale intesa come *scientia scientiarum*, come metodologia neutra o come momento di mediazione e sintesi generale [22, pp. 264-265]. Nemmeno la “cultura” in senso comune, «contrassegnata dal linguaggio di tutti», può agire da sintesi, ma è piuttosto «presupposto della sintesi» [22, pp. 264-265]. Il problema dell'unificazione del sapere si può risolvere non con una superscienza unificante, ma attraverso la «disponibilità o apertura della *forma mentis* dello scienziato», come necessità «di concepire la specializzazione non in forma di chiusura nella parte, ma di approfondimento della parte come tensione al tutto» [22, p. 295]. La differenza fra filosofia e scienza «è differenza di grado di criticità e non propriamente metodo»; il sapere è sempre stato uno e si sono solo affinate le capacità critiche. In questo senso, l'ipotesi è il principio unificatore del sapere, la vera *scientia scientiarum* [22, pp. 300-301].

Dal punto di vista filosofico, secondo Spirito, bisogna comunque chiedersi quale sia la metafisica immanente alle scienze che, senza essere una superscienza totalizzante, agisca come presupposto comune e ricomponga le varie parzialità in un tutto. Il mondo ci appare come capace di organizzazione, attraverso una razionalità di fondo che non corrisponde alla razionalità dell'uomo. Tale convergenza «superumana» può essere garantita per Spirito solo dalla dimensione metafisica e soprattutto da quella *religiosa*, che ogni scienziato possiede nel suo operare, anche inconsapevolmente, e che lo anima nel suo andare «verso l'*oltre*, verso l'*ignoto*, verso il *tutto*, verso *Dio*» [22, pp. 284-285].

In appendice al volume, Spirito affrontava poi alcuni temi relativi al rapporto fra “arte e scienza”, dove l'incompatibilità tra i due termini è solo apparente: chi vede da una parte la serialità, il meccanismo, il calcolo, e dall'altra l'unicità e il genio, compie una semplificazione grossolana. In realtà lo scienziato non cessa di porsi domande di carattere religioso e metafisico, che rimangono un'esigenza fondamentale dell'uomo: «la negazione del vecchio umanesimo costituisce soltanto la preparazione di un nuovo e più integrale umanesimo [...] abbastanza chiaro per chi sappia guardare alla scienza con una coscienza adeguata alla sua più vera natura». E da questo nuovo umanesimo l'arte non potrà che trovare giovamento e linfa. L'età della scienza e della tecnica non riduce lo spazio dell'arte ma *lo amplifica*. Per Spirito al giorno d'oggi sono in crisi quelle manifestazioni artistiche che si rivolgono «al mito e all'evasione dalla realtà», mentre la crisi viene superata proprio da quell'arte «che più o meno profondamente riesce a vivere della stessa vita della scienza»; proprio perché sono in crisi i tradizionali valori filoso-

fici e religiosi «meno risente della crisi l'arte che tende a far propri i valori scientifici e tecnici» [22, pp. 413-414]. Le discipline che hanno fatto propria questa dimensione sono l'architettura, l'urbanistica, il design industriale, e soprattutto il cinema, che nasce come conquista tecnica e si impegna ad essere un'arte-sintesi (integrando letteratura, pittura, musica, danza, architettura), offrendosi inoltre come arte «interclassista e internazionale»¹¹. Contro l'ostracismo diffuso nei confronti delle tecniche della comunicazione e dei mass-media, tipico degli «apocalittici» degli anni Sessanta, per Spirito il nuovo umanesimo viene costituito proprio dalle tecnologie dell'immagine – oltre al cinema, la fotografia e la televisione – e della comunicazione di massa che istruiscono un «comunismo più profondo», diventando strumenti di educazione [22, pp. 416-417].

4. Gli scrittori e la scienza

Se i filosofi poco si esposero rispetto al dibattito sulle due culture, gli scrittori italiani non fecero di meglio, rimanendo sostanzialmente defilati rispetto alla discussione sollevata dal libro di Snow. Sia nel convegno *Due culture?*, di cui si è già detto, che in un precedente simposio organizzato a Milano dall'Associazione per la Ricerca Scientifica Italiana (ARSI) nel maggio 1965 [1], mancarono proprio i contributi di scrittori e letterati, anche per un loro esplicito rifiuto. Antonio Miotto, uno degli organizzatori, ricorda come tra gli invitati risultassero i nomi di Montale e Quasimodo, che alla fine non parteciparono ai lavori, probabilmente «non volendo essere coinvolti nella polemica», o per paura dell'aggressività dei tecnici [1, p. 27].

Commenti isolati sono quelli che vengono da Alberto Moravia e Pier Paolo Pasolini, ancora nel contesto dell'inchiesta promossa da *Paese Sera*. Il primo, ad esempio, ammette che ci sia un ritardo conoscitivo da parte degli scrittori rispetto ai progressi della scienza. Ma la sua analisi ritorna poi su formule trite: è importante attenersi alla scienza perché è la sola forma di sapere «ad offrire un approccio oggettivo alla realtà», anche se è l'arte la sola in grado di farci vedere la verità «come presentimento»; scienza e arte sono due forme di «coscienza umana» e due modi disponibili all'uomo di «aggredire la realtà», dove la scienza è dominio della ragione e l'arte della soggettività e dell'irrazionale¹².

Secondo Moravia, una convergenza delle due culture non sembra però essere a portata di mano. Non è detto, infatti, che questa unità sia nel destino della cultura umana, anzi potrebbe essere che il progresso tecno-scientifico debba essere raggiunto proprio a spese dell'arte: «poiché il mondo è profondamente dissociato e a-deterministico, il progredire della scienza, potrebbe richiedere come prezzo la fine, l'annichilimento dell'arte» [24, pp. 46-47]. Contro le facili formule che vogliono la scienza come insensibile alle sorti dell'umanità, Moravia crede che la scienza alla fine postuli «un mondo che conosca i propri limiti, vale a dire [...] un mondo umile», concludendo che «si possa fare dell'arte anche in tempi di umanità umile»¹³.

Per Pier Paolo Pasolini *Le due culture* è invece un libro totalmente inattuale, perché le esortazioni che Snow fa ai letterati inglesi, molto più 'disimpegnati' di quelli francesi o italiani, sono preoccupazioni assolutamente vive all'interno del mondo delle lette-

re dell'Italia. Gli scrittori forse non conosceranno la terza legge della termodinamica, spiega Pasolini, ma sono assolutamente impegnati e attenti ai problemi reali del mondo come la guerra nucleare, il sovrappopolamento, la sperequazione economica fra ricchi e poveri. Inoltre lo scrittore italiano *engagé* possiede già una cultura scientifica in quanto *marxista*, mentre l'irrazionalismo è tipico della mentalità borghese, ripiegata sull'interiorità del soggetto. La comunanza fra scienza e letteratura avviene, marxianamente, non all'interno di una cultura ma come prospettiva: entrambi lavorano per il futuro, un futuro come prospettiva per il letterato, e come ipotesi in continua verifica per lo scienziato [14].

All'interno del dibattito suscitato da Snow, va anche compreso il *pamphlet* di Elsa Morante *Pro e contro la bomba atomica* (1965), che rimane forse l'esempio più celebre, eclatante ed esplicito di una posizione radicalmente oppositiva nei confronti della scienza, un vero e proprio manifesto politico, dove la bomba atomica viene adottata come immagine ultima del processo di falsificazione e inautenticità prodotto dalla società capitalistica avanzata:

La nostra bomba è il fiore, ossia la espressione naturale della nostra società contemporanea, così come i dialoghi di Platone lo sono della civiltà greca [...] e i campi di sterminio, della cultura piccolo-borghese burocratica già infetta da una rabbia di suicidio atomico [13, p. 99].

Per la Morante l'umanità contemporanea prova «la occulta tentazione di disintegrarsi» grazie al «sentiero buio» intrapreso dall'intelligenza umana attraverso i suoi «scienziati-stregoni» [13, p. 99]¹⁴. Come aveva affermato Pirandello prima di lei, Morante crede che, nonostante il suo successo epistemico e materiale, la scienza non riuscirà mai a dare delle vere soluzioni esistenziali all'uomo, perché pone delle nuove domande a cui non sa dare risposta. Pertanto, non è vero che la scienza sia uno strumento di demistificazione; al contrario, si adatta e si mescola, «in connubi funesti e degradanti», con «i mostri delle culture piccolo borghesi», i cui prodotti supremi sono «da un lato, le organizzazioni di sterminio, e dall'altro i trattenimenti televisivi» [13, p. 91]. La vera demistificazione, la vera presa sulla realtà è invece data dall'arte e da ciò che si oppone alla disintegrazione della coscienza umana indotta dalla cultura borghese [13, pp. 101-102]. La poesia non è pertanto solo utile ma *necessaria* in questa epoca di barbarie razionalizzante e autodistruttiva. Con una semplificazione che Cesare Garboli ha definito «deliziosamente narcisista»¹⁵, Morante concludeva asserendo che fino a quando il poeta insisterà nel suo scrivere poesie «la bomba atomica stenterà a scoppiare» [13, p. 104], designandone una posizione di alterità radicale: il poeta è il solo a salvarsi, l'unico moralmente sano, l'unico eticamente accorto, di fronte a un mondo completamente perverso e impazzito, immune dalle «turpitudini della società di massa, dall'alienazione tecnologica, dalla schiavitù consumistica». Logica conseguenza vuole che «dentro il sistema non poss[a]no esistere scrittori, nel vero senso del termine», ma solo «semplici strumenti del sistema» [13, p. 111].

Di segno opposto, invece, la posizione di Elio Vittorini, che vedrà nella polemica sulle due culture un'ulteriore occasione per riaffermare con toni perentori come la separazione fra i due ambiti culturali non derivi tanto dalla progressiva specializzazione della scienza, «ma dall'ottusità della cultura umanistica che, proprio mentre la rivoluzione copernicana ripudiava l'antica visione del cosmo, si rifugiava in una dogmatica fedeltà al passato» [5, p. 773]. La separazione fra le due culture secondo Vittorini nasce nel momento in cui la cultura scientifica

ha rifiutato l'antica visione del mondo (la classica cristianizzata) criticandola, contestandola, confutandola fino a postularne una nuova in divenire continuo. E nasce ad opera della prima (l'umanistica) come *professione di fedeltà* alla vecchia visione, come condanna di quanto giudica un tralignamento, un tradimento, una decadenza, una degradazione.

La separazione nasce dall'incapacità della cultura umanistica di adeguarsi a questo corso, ovvero «per indifferenza alla verità e alla ricerca di una parte contro la passione di verità e di ricerca di un'altra parte. L'umanesimo *che era tutta la cultura* diventa la *parte retriva* di essa [...]. E allora da ogni posizione umanistica è stata antiscientifica» [25, pp. 93-94].

Rispetto alle indicazioni date da Snow, Vittorini sottolineava inoltre come fosse un'illusione quella che il letterato coltiva di essere «indipendente dalla scienza. In realtà le sue idee di derivazione scientifica [...] influiscono sulla sua fantasia, interessano la sua creatività e quindi la funzionalità dell'opera d'arte»¹⁶. Con una nota di acuto pessimismo Vittorini crede alla fine che ogni integrazione sia impossibile, soprattutto con *questa* cultura letteraria:

No, non è possibile tentare di conciliarle. Si produrrebbe una giustapposizione. [...] È l'umanesimo tradizionale che deve smobilitare, deve cedere il passo, deve togliersi dalla scena. Deve essere distrutto culturalmente per far posto alla cultura scientifica, ad una cultura scientifica che sia però [...] capace di assumere un ruolo umanistico. Perché in realtà la cultura è sempre basata sulla scienza. Sempre contiene la scienza [24, p. 144].

Ovviamente Vittorini non proponeva una smobilitazione umanistica, ma l'archiviazione dell'ottocentismo, di una cultura filosofica ripiegata su se stessa e assolutamente autoreferenziale, di una letteratura troppo interessata all'uomo e ai suoi sentimenti, che disdegna la storia delle idee e la storia delle tecniche e la portata dei mutamenti storici, sociali culturali imposti da scienza e tecnica¹⁷.

Ovviamente anche Italo Calvino prenderà la penna in mano a riguardo. Nel saggio *Filosofia e letteratura* (1967), Calvino ipotizzava per scienza, filosofia e letteratura una partita a tre, un *ménage à trois*, dove le varie discipline e le varie modalità conoscitive si confrontano: «Una cultura all'altezza della situazione ci sarà soltanto quando la problematica della scienza, quella della filosofia e quella della letteratura si metteranno continuamente in crisi a vicenda» [6, pp. 193-194]. Per Calvino non si tratta infatti

di travasare acriticamente il sapere scientifico nella letteratura, quanto di fare scontrare modelli del mondo e metodologie di racconto del mondo, che hanno strutture e modi ora divergenti ora adiacenti nella raccolta dei dati e nella loro ordinazione, consapevoli comunque che un metodo conoscitivo unico, una prospettiva gnoseologica esclusiva diventa alla fine fallimentare perché troppo 'cieca'. Si tratta inoltre di far emergere non solo la poetica, ma anche l'epistemologia implicita che ogni scrittura possiede, cercando di portare in piena evidenza quel «legame tra le scelte formali della composizione letteraria e il bisogno di un modello cosmologico (ossia d'un quadro mitologico generale)» [6, p. 684], che Calvino considerava essenziale in uno scrittore che sia guidato da una vocazione progettuale e conoscitiva forte nella sua impresa di scrittura.

In *Due interviste su scienza e letteratura* (1968), Calvino insisterà invece sulla dimensione epistemica del discrimine fra i due campi discorsivi, rileggendo e commentando il testo di Roland Barthes su *Science vs Literature* apparso l'anno precedente su un numero speciale di *The Times Literary Supplement* [4]:

Il discorso scientifico tende a un linguaggio puramente formale, matematico, basato su una logica astratta, indifferente al proprio contenuto. Il discorso letterario tende a costruire un sistema di valori, in cui ogni parola, ogni segno è un valore per il solo fatto d'esser stato scelto e fissato sulla pagina. Non ci potrebbe essere nessuna coincidenza tra i due linguaggi, ma ci può essere (proprio per la loro estrema diversità) una sfida, una scommessa tra loro. In qualche situazione è la letteratura che può indirettamente servire da molla propulsiva per lo scienziato: come esempio di coraggio nell'immaginazione, nel portare alle estreme conseguenze un'ipotesi ecc. E così in altre situazioni può avvenire il contrario. In questo momento, il modello del linguaggio scientifico, della logica formale, può salvare lo scrittore dal logoramento in cui sono scadute le parole e le immagini per il loro falso uso. Con questo lo scrittore non deve però credere d'aver trovato qualcosa d'assoluto; anche qui può servirgli l'esempio della scienza: nella paziente modestia di considerare ogni risultato come facente parte di una serie forse infinita d'approssimazioni [6, p. 237].

Importante in questa sede è inoltre la considerazione che Calvino fa relativamente alla tradizione letteraria nazionale. Interrogato sul perché avesse definito Galileo come il più grande scrittore in prosa del canone italiano, Calvino delinea quella che lui ritiene essere la «vocazione profonda della letteratura italiana», ovvero il concepire l'opera letteraria «come mappa del mondo e dello scibile», dove lo scrivere venga mosso «da una spinta conoscitiva che è ora teologica ora speculativa ora stregonesca ora enciclopedica ora di filosofia naturale ora di osservazione trasfigurante e visionaria»; una vocazione storicamente consolidata che corre da Dante a Machiavelli a Galileo a Leopardi, e che fa della letteratura italiana, proprio in questa dimensione interdiscorsiva, pluridisciplinare, aperta a tutte le culture, una tradizione così centrale nel canone europeo, «diversa da tutte le altre, così difficile, ma anche così insostituibile» [6, p. 233].

NOTE

¹ Preti, G., *L'uomo «totale» è ormai un sogno*, in [23 p. 67] e Pasolini, P. P., *Fare nostro il rischio della scienza*, in [23 p. 74].

² La conclusione di Romeo è del tutto perentoria e si rifà a Wilhelm Roepke, esponente del “neoliberalismo” tedesco, che denigrava «il dispotismo e la cieca arroganza di questa scienza che ci viene incontro minacciosa, impludata da gran sacerdotessa nel camice da laboratorio». Vedi [18].

³ Nel 1958 era uscito il libro di Norwood R. Hanson, *Patterns of discovery*, sul pensiero analogico nella scienza, seguito da *Models and metaphors* (1962) di Max Black che, riproponendo e approfondendo gli studi di I.A. Richards, riesaminava il ruolo della metafora e del rapporto fra modelli e metafora all'interno del linguaggio e delle procedure della scienza. Sempre nel 1962 vedevano poi la luce due dei testi più significativi di quella che verrà definita come la *New philosophy of science*, in contrapposizione alla “visione standard” di matrice positivista: *The structure of scientific revolutions* di Thomas Kuhn e *Explanation, reduction, and empiricism* di Paul K. Feyerabend che contribuivano a minare alle fondamenta una certa visione di una attività scientifica sicura di sé, ancorata a certezze di verità non alterabili e universali. In *The British Journal for the Philosophy of Science* compariva inoltre, in quattro parti, *Proofs and refutations* in cui Imre Lakatos presentava la sua versione fallibilistica e storicistica della conoscenza matematica [10]. È importante comunque sottolineare come sulla dimensione storica della scienza si fosse discusso ampiamente anche in Italia. La tradizione della riflessione epistemologica nazionale ha sempre avuto ben presente la necessità di una storicizzazione della scienza, dalle riflessioni di Enriques fino alle posizioni di Della Volpe o di Geymonat. Proprio in riferimento al dibattito sulle due culture, Geymonat riaffermerà perentoriamente che il fallimento di una unificazione culturale si basa sulla falsa idea che gli umanisti si sono fatti della scienza, considerata autoritariamente come portatrice di verità assolute, quando si tratta di fatto di un sapere storicizzabile.

⁴ Ad esempio quando si sottolineava come la cultura scientifica sia libera da «ogni forma di pregiudizio; da ogni degenerazione morale collettiva»; oppure che, ignari delle teorizzazioni di Thomas Kuhn, la storia del pensiero scientifico sia lineare e progressiva; vedi Bernardini, G., *La fisica odierna e alcuni suoi aspetti culturali*, in [2, pp. 64-66].

⁵ [3]. L'intervento di Argan si basa sulle relazioni introduttiva e conclusiva a un convegno su *Tecnica e ideologia* tenutosi a Rimini il 21-23 settembre 1964.

⁶ Masuccio Costa, A., *Esiste una terza cultura?*, in [24, p.57].

⁷ Vittorini, E., *L'umanesimo tradizionale deve togliersi dalla scena*, in [24, pp. 139-40].

⁸ Qualche anno prima, già Ugo Spirito aveva espresso una prospettiva simile: «L'umanista non riesce a chiudersi in un compartimento stagno e si rifiuta di riconoscere una divisione essenziale tra teoria e pratica, tra arte e scienza e filosofia, tra morale e politica»; [23, p. 306].

⁹ Bettin, G. M., *Per una pedagogia problematica e creatrice*, in [24 pp. 125-32]. Anche Ernesto Mascitelli Coriandoli, biochimico, sosteneva che se gli uomini di scienza avessero «una maggiore consapevolezza della funzione critico-razionale della loro metodologia e la applicassero quindi non solo alla discussione e classificazione dei fenomeni naturali, ma anche a problemi di interesse generale, i rapporti fra le due culture sarebbero di gran lunga migliori»; Mascitelli Coriandoli, E., *Il primato della ragione*, in [24, pp. 86-89].

¹⁰ Leavis, F. R., *The Two Cultures? The Significance of C. P. Snow*, *The Spectator*, 9 marzo 1962; Trilling, L., *Science, Literature and Culture. A Comment on the Leavis-Snow Controversy*, *Commentary*, giugno 1962; Huxley, A., *Literature and Science*, Chatto & Windus, London 1963.

¹¹ Da un punto di vista più strettamente filosofico, artista e scienziato si incontreranno «sul piano dello spettacolo della natura, che all'uno e all'altro apparirà egualmente divino». Alla bellezza del cosmo intrisa di divino risponde sia lo scienziato che l'artista. Nella natura stessa noi troviamo però anche la funzionalità, di cui l'arte sia appropriata. E cita il caso di Nervi, per il quale la bellezza di un edificio deriva dal rispetto della sua funzionalità: «se la funzione è vista e vissuta fino in fondo, senza sovrastrutture estrinseche e inessenziali, funzione e bellezza non potranno che identificarsi»; vedi [22, pp. 411-13].

¹² Moravia, A., *La scienza vuole un uomo umile*, in [24, pp. 44-45].

¹³ Vedi [24 pp. 47-48]. Con una nota di assoluta preveggenza Moravia aggiunge: «come mortificatrice dell'orgoglio umano, la scienza rischia di diventare sempre più favorevole alle grandi religioni».

¹⁴ Come Hans Magnus Enzensberger prima di lei, anche la Morante associa la costruzione e utilizzo dell'atomica ai campi di sterminio nazisti, collegati entrambi da un filo rosso (adorniano) di razionalismo utilitaristico borghese. Per questa equazione Enzensberger si era però attirato le critiche di Hanna Arendt.

¹⁵ Garboli, C., *Prefazione*, in [13, p. XX].

¹⁶ Vittorini, E., *L'umanesimo tradizionale deve togliersi di scena*, in [24, p. 140].

¹⁷ In una lettera indirizzata a Calvino nel gennaio '64, e che ha per tema *La letteratura nell'età della scienza-tecnica*, Vittorini scrive:

La cultura oggi, dico come insieme di scienze e tecniche, è andata ben oltre il grado di sviluppo toccato al momento in cui (al principio Ottocento) si è avuta la più recente corrispondenza di sviluppo tra letteratura e cultura in genere. La letteratura no. È rimasta più o meno ferma a quel grado... o è andata oltre quel grado di così poco e così episodicamente... che oggi sembra aver vita... non già *nel mondo stesso* in cui agiscono scienze e tecniche, ma in una specie di Riserva Indiana, di Parco Nazionale, di Luogo Conservativo dei sentimenti e dei rapporti e dei processi conoscitivi passati. Comunque il meno che si possa dire è che il discorso letterario risulta culturalmente *ingenuo* a paragone di quello che scienze e tecniche conducono [8, p. 420, corsivi nel testo].

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Le due culture*. Atti del Convegno organizzato dall'Associazione per la Ricerca Scientifica Italiana (ARSI) in collaborazione con la Esso Standard Italiana. Casa delle Associazioni Scientifiche e Tecniche, Milano, 14 maggio 1965, Tumminchi, Roma 1965.
- [2] *Due culture? Atti del Convegno di studio tenutosi a Roma nei giorni 20-21 maggio 1966*, Il Mulino, Bologna 1967.
- [3] Argan, G. C., Relazione introduttiva, *Il Protagora*, 35-36, 1964, pp. 14-15.
- [4] Barthes, R., Science vs Literature, *The Times Literary Supplement*, 28 settembre 1967.
- [5] Battistini, A., *Letteratura e scienza* in Mariani, G., e Petrucciani, M., (a cura di), *Letteratura Italiana Contemporanea*, Lucarini Editore, Roma 1982.
- [6] Calvino, I., *Saggi 1945-1985*, a cura di M. Barenghi, 2 voll., Mondadori, Milano 1995.
- [7] Capocaccia, A., Eco, U., Geymonat, L., Verso una nuova cultura. Esigenze, aspetti e problemi di una cultura unitaria in un dibattito con la partecipazione di Agostino Antonio Capocaccia, Umberto Eco e Ludovico Geymonat, *Civiltà delle macchine*, 1, 1965.
- [8] Covi, R., *Il lungo viaggio di Vittorini. Una biografia critica*, Marsilio, Venezia 1998.
- [9] Vittorini, E., *Diario in pubblico: La ragione conoscitiva*, Calvino I. (a cura di), *Menabò di letteratura*, 10, 1967.
- [10] Lakatos, I., *Proof and refutations*, Cambridge University Press, Cambridge 1976.
- [11] Liardi, C., *Scuola al bivio tra due culture*, Armando, Roma 1966.
- [12] Mays, W., Le «due culture» in Gran Bretagna, *Il Protagora*, 12, 1960, pp. 6-29.
- [13] Morante, E., *Pro e contro la bomba atomica*, Adelphi, Milano 1987.
- [14] Pasolini, P. P., Fare nostro il rischio della scienza, *Paese Sera*, 20 novembre 1964; ora in Siti, W., e De Laude, S. (a cura di), *Saggi sulla politica e sulla società*, Mondadori, Milano 1999, pp. 744-47.
- [15] Perelman, C., Olbrechts-Tyteca, L., Logique et rhétorique, *Revue philosophique*, 140, 1950, 1-35.
- [16] Preti, G., *Retorica e Logica. Le due culture*, Einaudi, Torino 1968.
- [17] Prini, P., *Umanesimo programmatico*, Armando, Roma 1965.
- [18] Ramat, R., Osservazioni sulla polemica delle «due culture» in Gran Bretagna, *Il Protagora*, 12, 1960, pp. 30-35.
- [19] Romeo, R., Letterature e bombe atomiche, *Corriere della Sera*, 4 ottobre 1964.
- [20] Sabarini, R., Il tema delle due culture, *Il Protagora*, 12, 1960, pp. 36-44.
- [21] Smith, R. A., The two cultures debate today, *Oxford Review of Education*, 4.3, 1978, pp. 257-65.
- [22] Spirito, U., *Dal mito alla scienza*, Sansoni, Firenze 1966.

- [23] Spirito, U., *Inizio di una nuova epoca*, Sansoni, Firenze 1961.
- [24] Vitelli, A. (a cura di), *La cultura dimezzata*, Giordano Editore, Milano 1965.
- [25] Vittorini, E., *Le due tensioni. Appunti per una ideologia della letteratura*, a cura di D. Isella, Il Saggiatore, Milano 1967.

DUE CULTURE?

ARNALDO BENINI

Universität Zürich

«Vecchia, forse quanto la civiltà europea stessa, è la polemica delle “due culture” – letteraria e scientifica», scrisse Giulio Preti [10, p. 9] a commento del saggio di Charles P. Snow del 1959 su *Le due culture*, al quale seguì un *second look* nel 1963¹. Snow aveva dato una voce apparentemente autorevole al cruccio della difficoltà ad essere di casa in culture diverse:

Sono convinto che la vita intellettuale, nella società occidentale, si va sempre più spaccando in due gruppi contrapposti. Quando dico vita intellettuale, mi riferisco anche a una larga parte della nostra vita pratica [...] Due gruppi antitetici; a un polo abbiamo i letterati, che come per caso, [...] cominciarono ad autodefinirsi “intellettuali”, quasi che non ce ne fossero altri. [...] Letterati a un polo e scienziati all’altro [12, p. 5].

Letterati e scienziati sono stilizzati come se tutti fossero cloni di un unico prototipo. L’autore si rammaricava di trovare raramente nella stessa persona la cultura umanistica e quella scientifica (con riferimento particolare alla fisica).

«Trent’anni fa», scrive Snow, «le culture non si rivolgevano da tempo la parola: ma almeno si sorridevano freddamente, attraverso l’abisso che le separava. Oggi la cortesia è venuta meno, e si fanno le boccacce» [12, p. 8]. Snow descrive le “boccacce” che i due campi della cultura si scambierebbero: per lo scienziato, l’umanista è spesso spocchioso, ipercritico, pessimista, attaccabrighe, narcisista; per i letterati l’uomo di scienza tenderebbe all’ottimismo scriteriato, sarebbe animato «da un ottimismo superficiale», privo «della coscienza della condizione dell’uomo» [12, p. 7]. Snow sembra ignorare che molti letterati sono consapevoli che lo scienziato, in virtù delle sue ricerche, è spesso consapevole, quanto e più di altri, della fragilità e tragicità della condizione umana. Se ad entrambi, solo per «vacua ignoranza», è possibile negare la cultura, gli scienziati incorrerebbero nel pericolo di un linguaggio piatto e scialbo perché «l’istruzione scientifica lascia ammuffire le [...] capacità verbali» [12, p. 63]; di contro, agli umanisti della cultura tradizionale, che Snow considera «luddisti per natura», per la loro incapacità di capire ed accettare la rivoluzione industriale [12, p. 22], fa difetto «la curiosità per il mondo naturale e l’uso di sistemi concettuali simbolici», che costituiscono «due delle più preziose e più specificatamente umane fra tutte le qualità umane» [12, p. 63].

È curioso, dice Snow, che questa cultura, pur non avendo alcun senso per il futuro, continui a dirigere il mondo occidentale in una misura che la cultura scientifica non riesce a contenere. Lo spirito letterario sarebbe dunque all’origine non solo delle cose

buone ma anche di tutte le follie, stoltezze e crimini della storia recente. Ad entrambi gli ambiti della conoscenza, dice Snow, la mancanza dell'altra cultura toglie una dimensione essenziale della vita, ragion per cui «tutt'e due le nostre culture, tanto quella letteraria quanto quella scientifica, meritano soltanto il nome di sotto-culture» [12, p. 63]. Scienziati e letterati, con poche e luminose eccezioni (fra le quali Snow, che, fisico di professione, non fa mistero di considerare se stesso narratore di qualche pregio²), pagherebbero la loro unilateralità con una sconcertante piattezza intellettuale. Già allora queste considerazioni apparvero a molti assurde e irreali.

Per Giulio Preti, il «noto libro di Charles P. Snow [...] è un brutto libro, arbitrario, superficiale» [10, p. 63]. Frank. R. Leavis, critico e fondatore della rivista letteraria *Scrutiny*, non esitò ad usare nei confronti di Snow espressioni da arena preelettorale: cecità, inconsapevolezza di quel che dice, inesistenza come romanziere, ecc³. A parte il tono, giudicato dal critico letterario americano Lionel Trilling «cattivo, inammissibile, crudele»⁴, Leavis aveva ragione nel rimproverare a Snow di non aver tentato di chiarire che cosa intendesse per «cultura», a conferma della sua «nullità intellettuale».

In realtà, non erano (e non sono) le culture a farsi reciprocamente le boccacce, ma personaggi di infimo rango di entrambe i campi. I protagonisti della ricerca naturalistica e i «letterati» (meglio, gli «umanisti») di valore sanno come impiegare meglio il tempo. Snow racconta il proprio disagio nell'imbattersi in ingegneri che non conoscono i sonetti di Shakespeare e che, quando va bene, hanno sleggiucchiato qualche pagina di Dickens, e di letterati e filosofi che ignorano i fondamenti più elementari del mondo materiale. Ricordo che, leggendo il saggio quando ero studente di medicina a Firenze, mi chiesi se, dovendosi il Signor Snow sottoporsi a un intervento chirurgico, avrebbe cercato un chirurgo che gli snocciolava a memoria i sonetti di Shakespeare o non piuttosto un chirurgo esperto nell'intervento necessario, anche se ignaro di poesia. Di fisica moderna, dice Snow (a ragione), i non scienziati sanno quel che sapevano gli uomini del neolitico. In realtà ciò avviene non solo con i «letterati» ma con gran parte degli scienziati non fisici: e non può non essere altrimenti. Snow non dice in che modo sia possibile acquisire entrambe le culture, quando il tempo che si ha a disposizione nella vita è appena sufficiente per acquisire la competenza in un ambito ristretto di una delle due. A meno che non si confonda la cultura con la divulgazione (che pure ha un grande valore).

La conoscenza in più campi della cultura contribuirebbe alla convivenza, perchè uomini con competenze diverse troverebbero con maggior facilità il terreno d'incontro. In realtà, l'esperienza degli incontri interdisciplinari (spesso festival di ciarle), ammonisce che essi sono, frequentemente, monologhi con punti, o pochi e irrilevanti, riferimenti all'altra disciplina.

Nel famoso dialogo fra il neurobiologo Jean-Pierre Changeux e il filosofo Paul Ricoeur [3] sul tema pensiero-cervello, i due interlocutori non si sono spostati di un millimetro dalle posizioni iniziali. Ai dati naturalistici di Changeux sul cervello artefice del pensiero e della coscienza, Ricoeur obiettava riserve speculative, rimandi filosofici

e talvolta argomenti «oscuri e ravvolti» (come Benedetto Croce diceva di alcune pagine di Vico). Changeux cercava di spiegare la metodologia per investigare i meccanismi nervosi del pensiero, per Ricoeur – che dimostrava dimestichezza con una parte delle neuroscienze cognitive – ciò è a priori impossibile. A che serve un confronto fra due opinioni incompatibili, anche se rispettabili? Un altro esempio recente è la cosiddetta *Neurofilosofia*, tenuta a battesimo da Patricia Churchland nel 2002 con un bel libro [4]. Essa non ha prodotto nessuna opera rilevante. Produttivo invece fu l'incontro fra il neurofisiologo Wolf Singer e il Monaco buddista di Katmandu Matthieu Ricard (un tempo biologo molecolare dell'Istituto Pasteur di Parigi) sui meccanismi nervosi delle lunghe meditazioni (parti integranti del Buddhismo) e sulle loro strabilianti conseguenze nella morfologia della corteccia cerebrale. La formazione buddista proteggeva il monaco, buon conoscitore di neuropsicologia, dalla tendenza, propria dell'educazione teologica ed umanistica europea, di mettere in un angolo l'interlocutore naturalista [11].

«Philosophy cannot offer adequate understanding, even concept clarity, in isolation from empirical investigation»⁵. Questa apparente ovvietà non è affatto ovvia. L'irritazione di diversi filosofi di fronte ai dati empirici, per capire i quali è indispensabile una lunga familiarità con la materia, è spesso evidente. Einstein attirò l'attenzione di molti ed illustri filosofi e storici delle idee come Bergson, Cassirer, Reichenbach, Schlick e Popper [2]. Per loro Einstein, elevato al rango di “scienziato-filosofo”, mostrava rispetto ed interesse. Sarebbe però arduo individuare un'opera filosofica che abbia avuto un peso nelle sue ricerche. Nell'autobiografia, Einstein parla degli autori e delle opere che accompagnarono le riflessioni alla base delle sue scoperte: Faraday, Helmholtz, Ernst Mach (i cui lavori sulla meccanica e sulla teoria del calore gli furono segnalati da Michele Besso⁶), Maxwell, Planck, Lorentz, Kirchhoff, Boltzmann, Minkowski ed altri. Alcuni filosofi (Hume, Kant) sono ricordati marginalmente, e spesso per dar loro torto⁷. Molti filosofi ragionano e dibattono le loro speculazioni avvolgendosi in spirali senza riferimento alla ricerca sperimentale, che, sia ripetuto per chiarezza, non è la verità (nessuno lo pretende), ma che fornisce dati da verificare. Claude Bernard, a metà dell'Ottocento, motteggiava che parlare di scienza con i filosofi poteva essere tutt'al più uno svago divertente, come una passeggiata dopo ore di lavoro in laboratorio [5]. Stuart Sutherland, nell'*International dictionary of psychology*, ha dato sfogo alla sua irritazione sostenendo che nessun libro sulla coscienza vale la pena di esser letto. Per tacere di molte opere di divulgazione, che lasciano spesso interdetti.

Durante la formazione di neurochirurgo ho avuto il privilegio di avere tre grandi maestri, figure di rilievo nella storia della cultura e della pratica medica. Comune ai tre, poliglotti e cosmopoliti per statura professionale, era la dedizione totale alla loro disciplina. Essa dava significato alla loro esistenza, con tutte le difficoltà e responsabilità, anche enormi, che essa comportava. Circa le *due culture*, difficile immaginare tre persone più diverse.

Uno di loro amava l'arte contemporanea, di cui era collezionista accorto e fortuna-

to. Nei rari momenti di pausa sul lavoro, raccontava ciò che lo legava alle opere e agli autori che amava. Era difficile interessarlo con argomenti diversi dal lavoro, dai quali mostrava d'essere spesso infastidito. Lasciava intravedere che uno dei suoi svaghi era la lettura di storie ed epopee familiari. Tornando dalle ferie e dai fine-settimana consegnava alla segretaria montagne di lavoro, che lei chiamava "*Montagssyndrom*", sindrome del lunedì. In un fine settimana scrisse una stringata ed essenziale monografia su una malattia neurologica, che per anni è stata un testo di riferimento. L'accuratezza della cura non si esauriva nel lavoro del medico, ma comprendeva l'assistenza infermieristica, che controllava con rigore inesorabile. Poteva avere comprensione per un errore umano, ma nessuna per una trascuratezza. Spesso, durante le due visite settimanali in tutto il reparto, controllava la condizione dei gabinetti di decenza. La moralità della professione medica deve offrire al malato, spesso oberato da problemi tragici, un ambiente civile e un'assistenza umana completa. Ogni tanto compariva nel mio studio di sera chiedendomi di completare un lavoro per la mattina dopo. Il chiederlo con buone maniere non toglieva che spesso si trattava di passare parte della notte a tavolino o davanti a radiografie. La regola era che si doveva fare ciò che era necessario. Senza eccezione e senza scuse. Era anche, quello, un modo per selezionare i collaboratori e gli allievi.

L'altro è stato un maestro della chirurgia vertebrale. Allegro e scanzonato, recitava a memoria pagine e pagine di Cartesio in francese e in latino, raccontava il suo soggiorno a Parigi da Clovis Vincent durante l'occupazione tedesca, ricordava i burrascosi e grotteschi rapporti con le redazioni di famose riviste che gli avevano rifiutato lavori che sarebbero poi entrati nella storia della medicina. L'eredità intellettuale che ha lasciato è enorme. La sua dimensione culturale si manifestava al tavolo operatorio. Una delle malattie vertebrali oggi più frequenti è stata scoperta e descritta da lui.

Il terzo, ancor oggi vivente e attivo come insegnante e ricercatore, ha letteralmente rivoluzionato, con un lavoro di decenni di totale concentrazione, la neurochirurgia. In tutto il mondo, ancora oggi, molte malattie del cervello si curano secondo i suoi criteri, le sue tecniche e con gli strumenti da lui ideati. Milioni di persone gli devono per questo la guarigione e spesso la vita. Con lui si parlava solo di neurochirurgia, di operazioni, ricerche, tentativi, prove ed esperimenti in laboratorio, lavori da scrivere, corsi e conferenze. L'enorme carico di lavoro e di responsabilità non gli concedeva tempo e interesse per altro. Si capiva dai cenni che intercalavano le sue lezioni e conversazioni che la straordinaria esperienza umana e professionale, che per anni ha occupato il suo tempo nello studio e nella cura di malattie tremende, gli suggerivano riflessioni non comuni. Gli abissi di sofferenza in cui spesso doveva inoltrarsi nel tentativo di alleviarli, e le difficoltà professionali ed umane che tali esperienze comportano, lo portavano a riflessioni sul senso della vita e a stati d'animo non sempre facili da comprendere, anche per chi quelle esperienze in parte condivideva. Essi facevano parte della sostanza della sua vita.

A chi verrebbe in mente di rammaricarsi, se questi tre giganti della cultura non conoscevano (e non era nemmeno sicuro) i sonetti di Shakespeare? Come riconoscere in

loro le caricature degli uomini di scienza tracciate da Snow? Come mettere in dubbio l'immenso valore della loro cultura?

Scrivo con lucidità George Steiner:

La differenza di fondo fra le discipline umanistiche e le scienze è la loro direzione nel tempo. [...] Le scienze e la tecnologia si muovono in avanti. [...] Perfino uno scienziato o un ingegnere che fanno un lavoro di routine [...] si trovano su una scala mobile che sale verso l'alto. Nella maggior parte della sua attività l'umanista occidentale guarda sempre all'indietro. [...] Le discipline umanistiche si sforzano di riportare a nuova vita la memoria delle cose passate.

La conclusione è amara:

In Occidente le discipline umanistiche e l'arte sono virtuosismi del crepuscolo e della memoria. [...] Nel pensiero, nell'arte, i precedenti possono essere fonte sia di ispirazione sia di paralisi [13, p. 155 e ss.].

Già nel 1962 J. Robert Oppenheimer sosteneva che la causa della grande trasformazione indotta dalle scienze naturali (in primo luogo dalla biologia) nel mondo, che fino allora era stato statico, è il carattere cumulativo e solido di ciò che s'impara sulla natura⁸. Max Born, dopo aver descritto la grande soddisfazione "filosofica" di penetrare nel segreto della natura, di svelare il mistero della creazione, di portare ordine in una parte del caos, aggiunge che in molte opere filosofiche di tutte le epoche non ha trovato, a differenza della ricerca naturalistica, nessun progresso nella comprensione e nella conoscenza del mondo. Esso è invece la fonte dell'entusiasmo che trasmette la ricerca scientifica⁹.

Due culture, allora? Una statica e rivolta al passato, l'altra alla ricerca di un futuro migliore? Opposizione, dispetto e talora anche disprezzo l'una per l'altra? Niente di più approssimativo e sbagliato. Le culture non sono due, ma molte. Ogni cultura ha le sue leggi, i suoi moduli, i suoi algoritmi, i suoi valori. Non si possono mettere i piedi nel campo dell'altra con la pretesa di regolarla e di interpretarla. Ogni cultura ha esperienze e maestri per regolare il proprio lavoro, per valutarne la portata e per correggerne gli errori. Tanta è la difficoltà di impadronirsi di una cultura, che pensare di impararne due nel corso della vita è un'illusione, come voler diventare maestri di violino e di pianoforte. Entrare in un campo del sapere, col desiderio di capirlo e di modificarlo, richiede l'impegno di un'intera esistenza, senza aver mai la certezza che lo scopo o gli scopi che ci si propone siano raggiunti o raggiungibili. Anni fa si raccontava che Giorgio Pasquali ammonisse i giovani, che volevano lavorare con lui, che dovevano esser pronti a «vivere in un tubo» per anni. All'amico Michele Besso Einstein scrive: «Mi ostino a dire che avresti finito per fare cose egregie in campo scientifico se solo fossi stato abbastanza monomaniaco». Con la consueta saggezza aggiunge: «Una farfalla non è una talpa, ma non deve nemmeno rimpiangere di non esserlo» [6, p. 691]. Ogni persona ha un suo destino. La statura culturale è la competenza, la produttività, l'aggiornamento, la creatività.

All'uomo di scienza, dice Aldous Huxley, la conoscenza della letteratura non porta nulla per il proprio lavoro¹⁰. Tzvedtan Todorov dice, giustamente, che essa aiuta a vivere [14, p. 16]. Un aiuto che molti trovano altrove. Grandi medici e scienziati trovavano ristoro e recupero da sforzi mentali ed anche fisici enormi in barca, sciando, nuotando, scalando montagne, risolvendo parole crociate. Altri leggendo Cartesio, i dialoghi di Platone, Shakespeare, Nietzsche, Benedetto Croce, Thomas Mann, poesie, ma anche romanzi polizieschi e letteratura triviale. Quando una persona di cultura ne incontra un'altra, gli interessa entrare in contatto con la sua cultura, raramente con i suoi svaghi. Il primato, ammoniva Benedetto Croce, è quello del fare.

Una signora di buona cultura letteraria, dopo aver elogiato la competenza e l'umanità di chi l'aveva assistita in ospedale dopo un'operazione, non nascondeva la delusione che quell'infermiera, nata e cresciuta a Voghera, non sapeva chi fosse Alberto Arbasino. Meglio conoscere Arbasino ed essere un'infermiera meno brava? Chi sa, per esperienza, che cosa significhi avere accanto a sé, nel momento del bisogno, un'infermiera capace, non ha dubbi. L'ideale è unire l'uno e l'altro? Ciò è possibile, ma la riuscita della combinazione non è la misura della nostra umanità. È bene e naturale che le culture si avvicinino e si conoscano. L'equilibrio della vita individuale e della società trae vantaggio da tutte le conoscenze, anche di quelle antiche. Il dialogo delle culture è creativo tenendo presente l'insegnamento del filosofo Leszek Kolakowski: «Bontà senza indulgenza, coraggio senza fanatismo, intelligenza senza disperazione, speranza senza illusioni. Tutti gli altri frutti del pensiero filosofico sono irrilevanti».

NOTE

¹ Snow, C. P., *Le due culture*, con prefazione di L. Geymonat, Feltrinelli, Milano 1964 [12]. L'originale inglese *The Two Cultures* era uscito nel 1959. L'edizione italiana è la versione dell'edizione inglese del 1963 e contiene anche il saggio di replica ai critici del 1963, *Le due culture. Successive considerazioni*. Un'antologia delle discussioni su Snow, spesso colme di astio, è curata da Kreuzer, vedi [7]. Vedi inoltre [1] e [10].

² Vedi ad esempio il gradevole romanzo autobiografico di Charles P. Snow sul reclutamento di fisici atomici durante la seconda guerra mondiale *The New Men*, House of Status, Thirks 2001.

³ Leavis, F. R., in [7, p. 34 e ss.].

⁴ Trilling, L., in [7, p. 47 e ss.].

⁵ «La filosofia non può offrire né comprensione adeguata, né chiarezza concettuale, se si isola dall'indagine empirica», in [8].

⁶ Einstein, A., *Lettere a Michele Besso (1909-1954)*, in [6, p. 690].

⁷ Einstein, A., *Autobiographical Notes (in German and in English translation)*, in [6, p. 61 e ss.].

⁸ [9, pp. 3-10], versione tedesca in [7, pp. 80 e ss.]

⁹ Born, M., in [7, p.179 e ss.].

¹⁰ Huxley, A., in [7, p. 93 e ss.].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bachmaier, H., Fischer, E. P. (a cura di), *Glanz und Elend der zwei Kulturen. Über die Verträglichkeit der Natur und Geisteswissenschaften*, Universitätsverlag, Konstanz 1991.
- [2] Bachelard, G., Cassirer, E., Reichenbach, H., Schlick, M., *Einstein e i filosofi*, a cura di G. Polizzi, Medusa, Milano 2009.
- [3] Changeux, J. P., Ricoeur, P., *La natura e la regola. Alle radici del pensiero*, Cortina, Milano 1999 (ed. originale *La nature et la règle*, Jakob, Paris 1998).
- [4] Churchland, P., *Brain-wise: Studies in Neurophylosophy*, MIT Press, Cambridge (Mass) 2002.
- [5] Dessì, P., Claude Bernard apprendista filosofo, *Rivista di filosofia*, 88, 1996, pp. 267-285.
- [6] Einstein, A., *Opere scelte*, a cura di Bellone, E., Bollati Boringhieri, Torino 1988 (ed. originale Schilpp, A. (a cura di), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Oper Court. La Salle (Ill) 1951 & 1970, p. 2 e ss).
- [7] Kreuzer, H. (a cura di), *Literarische und Naturwissenschaftliche Intelligenz. Dialog über di "Zwei Kulturen"*, Klett, Stuttgart 1969.
- [8] Machamer, P., Sytsma, J., Philosophy and the Brain Science, *IRIS European Journal of Philosophy and Public Debate*, 1 (2), 2009, pp. 353-374.
- [9] Oppenheimer, J. R., *On Science and Culture*, Encounter, Ottobre 1962, pp. 3-10.
- [10] Preti, G., *Retorica e logica. Le due culture*, Einaudi, Torino 1968.
- [11] Singer, W., Ricard, M., *Hirnforschung und Meditation. Ein Dialog*, Suhrkamp, Frankfurt a/M 2008.
- [12] Snow, Ch. P., *Le due culture*, con prefazione di L. Geymonat, Feltrinelli, Milano 1964 (ed. originale *The Two Cultures: and a Second Look. An Expanded Version of the Two Cultures and the Scientific Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge 1963).
- [13] Steiner, G., *I libri che non ho scritto*, Garzanti, Milano 2008.
- [14] Todorov, T., *Letteratura in pericolo*, Garzanti, Milano 2008.

RICOSTRUIRE L'UNITÀ DEL SAPERE

PAOLO BLASI

Dipartimento di Fisica, Università di Firenze

Siamo qui riuniti in occasione della presentazione sul web della bibliografia sui rapporti fra scienza e letteratura (1945-2009) realizzata dalla Società Italiana per lo Studio dei Rapporti tra Scienza e Letteratura (SISL) a cura di Patrizia Pedrini e Andrea Scotti, col supporto anche dell'Ente Cassa di Risparmio di Firenze.

Fin dall'esame della proposta ho valutato positivamente quest'iniziativa; infatti a mio avviso la disponibilità di una tale bibliografia sul web rappresenta uno strumento molto utile per studiare i rapporti tra cultura scientifica e umanistica, in particolare tra scienza e letteratura. L'esigenza di recuperare un dialogo tra le due culture è attuale e urgente per gettare le basi di una loro integrazione in vista di un nuovo umanesimo, capace di indirizzare a vantaggio della promozione della persona umana i fenomeni della contemporaneità, quali lo sviluppo della scienza e della tecnica, la globalizzazione, il rapporto uomo/natura, i nuovi problemi etici, ecc. Da qui nasce il mio vivo apprezzamento per la realizzazione di questa bibliografia e l'auspicio che sia intensamente utilizzata e ulteriormente sviluppata.

Permettetemi alcune brevi riflessioni personali su questo tema. Viviamo in un'epoca nella quale lo sviluppo della scienza ha dilatato le conoscenze umane oltre ogni limite e ha fornito all'uomo, attraverso lo sviluppo della tecnica, strumenti nuovi di mobilità, di comunicazione, di miglioramento della qualità e durata della vita impensabili anche nel recente passato. Peraltro, le difficoltà di spiegare in modo accessibile a tutti le nuove conoscenze scientifiche, unite all'uso spesso improprio dei prodotti della scienza e della tecnologia, producono nell'uomo moderno uno stato d'inquietudine che può sfociare o in un fideismo acritico nei confronti della scienza – e quindi nella fallace attesa che questa tutto possa spiegare e risolvere – oppure in una diffidenza – se non paura e panico – che porta a una radicale sfiducia nella scienza e a un irrazionale rigetto di ogni innovazione, percepita come incontrollabile e pericolosa per il genere umano. Nello stesso tempo lo sviluppo della scienza e della tecnica ha favorito la crescita dell'uomo tecnologico tutto assorbito dall'uso degli strumenti che la tecnologia gli mette a disposizione, tanto da ricercare in questi la sua realizzazione, dall'ultimo modello di cellulare alla nuova televisione, al SUV, ecc.

Si è poi diffusa la convinzione che tutto ciò che non si può misurare, toccare, guardare non abbia rilevanza per la nostra vita: la tradizione umanistica è via via andata in crisi. Ricordo che nel settembre 2000 organizzai in Aula Magna insieme alla Facoltà Teologica dell'Italia Centrale un convegno dal titolo *L'immagine dell'uomo: la tradizione*

umanistica e la sua crisi. Il problema fu trattato da varie angolazioni, toccando i nodi dei rapporti tra cultura umanistica e cultura scientifica, sottolineando l'attualità dei problemi posti dal rapporto delle due culture e in particolare la centralità di nozioni come quelle di libertà e responsabilità dell'uomo. In particolare il professor Jacques Dalarun, nella sua relazione *Cultura umanistica e cultura scientifica: verso una nuova sintesi?*, mise in evidenza la necessità di elaborare modelli alternativi all'umanesimo storico ribadendo nel contempo che l'eredità della concezione umanistica è inaggrabile e continua a rappresentare il fondamento del nostro vivere. Condivido questa osservazione! Ho avuto infatti la fortuna di frequentare il liceo classico e di avere ottimi insegnanti sia nelle materie scientifiche che in quelle umanistiche, materie che ho percepito come facce diverse di una stessa realtà.

La motivazione che mi mosse verso il corso di laurea in fisica fu il desiderio di ampliare la mia conoscenza del mondo naturale attraverso il metodo scientifico (sono poi diventato un fisico sperimentale) le cui potenzialità avevo ben presenti. La realtà naturale mi affascinava, sia quella infinitamente grande dell'universo, sia quella infinitamente piccola dell'atomo: la fisica mi appariva allora come lo strumento più idoneo a soddisfare questa mia curiosità. Peraltro ero appassionato dalla filosofia, dalle relazioni sociali e consapevole della responsabilità che avrei avuto 'da grande' nel processo di organizzazione e crescita della società.

Ho maturato presto nel corso della mia esperienza di fisico sperimentale la consapevolezza che il metodo sperimentale, così potente e sicuro per incrementare la conoscenza del mondo naturale, era inadeguato a esplorare non solo ciò che è metafisica, ma neanche tutta quella parte di realtà non riconducibile al mondo materiale come gli affetti, le emozioni, la bellezza, ecc. Perciò ho sempre avuto l'esigenza di dialogare col letterato, col filosofo, col teologo per essere accompagnato sui sentieri della loro conoscenza (dove il metodo sperimentale è improprio) per avvicinarmi, usando termini galileiani, all'«essenza delle cose» di cui ero consapevole – con Galileo – di studiare (come fisico) solo le «apparenze». Ho quindi maturato la convinzione che è necessario, per la realizzazione di un nuovo umanesimo, recuperare l'unità della conoscenza e quindi del sapere, in modo da ricostruire l'unità della persona umana in tutte le sue dimensioni, come richiede la nuova complessa realtà.

Nel mondo classico l'unità del sapere era basata sul concetto di natura percepita come un sistema ordinato (cosmo). Nel medioevo l'unità del sapere derivava da una visione teocentrica dell'universo creato da Dio. Nel XIV e XV secolo l'uomo era considerato il centro dell'universo, creato da Dio per gli esseri umani che dovevano conoscerlo e governarlo per la gloria di Dio stesso. Nei secoli successivi si svilupparono la scienza e la tecnica e le conoscenze crebbero molto: si sentì perciò l'esigenza di raccoglierle tutte, e nacque l'Enciclopedia (unità fisica delle conoscenze ma collocata fuori dall'uomo). Cartesio cercò l'unità della conoscenza nella metodologia, Kant nella ragione.

In Europa, alla fine dell'Ottocento e all'inizio del Novecento, l'impatto delle scienze e del successo della tecnologia sulla cultura hanno portato a considerare valido e vero

solo ciò che risulta dall'interazione tra elementi matematici ed empirici. In tale contesto anche le scienze umane hanno teso a conformarsi a questi canoni di scientificità. Oggi in particolare tra i giovani si sta diffondendo la consapevolezza che la realtà è molto più ricca e ampia di quella parte che può essere conosciuta con metodologie scientifiche. La bellezza, i sentimenti, l'amore, il piacere, il dolore, la solitudine, il dialogo, ecc sono realtà che sfuggono all'analisi scientifica, ma sono comunque realtà che sono sperimentate e conosciute da tutti e che costituiscono una parte importante e ineludibile dell'esperienza di ciascuno, e quindi della conoscenza e del sapere nella sua unità.

Ritengo peraltro che l'unità del sapere non possa essere una mera somma di informazioni, conoscenze, esperienze, che pur contribuiscono a realizzarla, ma piuttosto un atteggiamento, un *habitus* che si traduce in disponibilità a pensare, ad ascoltare, a dialogare, a trarre profitto da ogni settore della conoscenza e dall'esperienza propria e di ciascun essere umano.

Ecco perché credo che l'emergenza educativa, che oggi rappresenta la sfida principale da vincere, richieda di formare uomini con questo *habitus* necessario per realizzare un nuovo umanesimo e passare dalla società della conoscenza a quella che io chiamo società della saggezza, cioè società capace di usare la conoscenza per il 'bene comune'. La cultura intesa come modo d'interagire con la realtà, con gli altri e con noi stessi deve essere quindi un'integrazione personale di conoscenze scientifiche e umanistiche. La bibliografia che oggi inauguriamo potrà dare un utile contributo in questa direzione.

UNICO E ORIGINALE: L'ESSENZIALISMO PSICOLOGICO

E LE DUE CULTURE

GIORGIO VALLORTIGARA

CIMeC - Centro Interdipartimentale Mente/Cervello, Università di Trento

Le discipline che studiano la mente in una prospettiva naturalistica hanno conosciuto un grande sviluppo negli ultimi anni. È interessante chiedersi se possano aiutarci a capire alcune delle ragioni che stanno alla base della difficoltà a conciliare tra loro cultura scientifica e cultura umanistica.

Come è stato osservato [7], Shakespeare faceva le cose alla maniera di Shakespeare, mentre Newton le faceva alla maniera di Dio. Se non ci fosse stato Newton, qualcun altro avrebbe formulato la legge della gravitazione universale e sarebbe stata la medesima legge. Al contrario, se non ci fosse stato Shakespeare, nessun altro avrebbe scritto *I sonetti*. Ci sarebbero state altre creazioni, certo, forse altrettanto pregevoli, ma che non sarebbero state le medesime dei *Sonetti*. I ricercatori scientifici sono fungibili, mentre i cultori delle discipline umanistiche non lo sono.

Fungibile si dice di un bene privo di caratteristiche individuali e che perciò può essere facilmente sostituito con altri. Perché dovremmo valutare come pregevole il fatto che qualcosa abbia caratteristiche individuali originali e non sostituibili? L'originalità sembra essere così importante che gli scienziati, per farla comunque propria, cercano di precedere i colleghi nelle scoperte, perché se è vero che qualcun altro, presto o tardi, avrebbe scoperto la gravitazione universale, resta il fatto che l'individuo Isaac Newton è colui che l'ha scoperta per primo...

Come mai gli esseri umani hanno questa passione per le cose uniche, per gli oggetti originali? È un interrogativo che si pone in special modo nei riguardi delle creazioni artistiche. Se un bel giorno il Gauguin che io ritenevo di possedere (peccato che questo sia solo un esempio!) si rivela essere un falso, una copia, per quale ragione, a parte quella economica, dovrei dolermene? Per ciò che attiene alle mie capacità di discernimento percettivo la copia è indistinguibile dall'originale, quindi che differenza dovrebbe produrre il fatto di *sapere* che si tratta di una copia?

È possibile che la passione per l'unicità e per gli oggetti originali affondi le sue radici nell'essenzialismo psicologico. L'essenzialismo è la tendenza a pensare agli animali, alle piante, alle persone e ad altre categorie sociali nei termini di "essenze nascoste"[8]. L'essenzialismo è l'idea per cui certe categorie di cose (le donne, le lucertole, le razze, i quadri di Gauguin...) posseggono una loro natura interna, un'essenza per l'appunto, che definisce la loro identità e spiega le somiglianze tra i membri della stessa categoria.

Gli studiosi dello sviluppo cognitivo hanno raccolto molte prove a favore dell'idea che i bambini, già in età prescolare, siano spontaneamente essenzialisti [3]. Ad esempio, i bambini sembrano possedere una sorta di concezione intuitiva di 'potenziale innato', cioè l'idea che certe proprietà siano stabilite alla nascita. Se ascoltano la storia di un coniglio che è stato adottato da una coppia di scimmie ('test dell'adozione'), sostengono che, una volta diventato adulto, il coniglio mangerà carote piuttosto che banane [3]. Ciò anche se il coniglio non ha mai visto né mangiato carote da cucciolo. Per i bambini, mangiare carote pare inerente la natura dei conigli; si tratta di una proprietà che presto o tardi deve necessariamente esprimersi, un potenziale innato appunto.

In maniera simile, i bambini ritengono che semi di pera collocati in un vaso da fiori produrranno un albero di pere, non dei fiori. Se si prende un gatto e si modifica il suo pelo disegnandogli sulla schiena una bella striscia bianca e spruzzandolo in modo che odori come una puzzola, secondo i bambini non diventerà per questo una puzzola. Ci sono *core properties* negli oggetti. Un qualcosa dentro, l'essenza, che non si può cambiare.

Si potrebbe pensare che i bambini di tre-quattro anni d'età sono essenzialisti perché istruiti in tal senso dai loro genitori. Ma la verità è che i bambini paiono essere più essenzialisti dei loro stessi genitori. I bambini indiani, ad esempio, ritengono che un bambino Bramino rimane tale anche se allevato da adulti della casta degli Intoccabili. E i bambini di cinque anni credono che bambini francesi allevati da genitori che parlano inglese cresceranno per parlare da adulti il francese, non l'inglese [4].

Oltre ad essere manifesto nel comportamento dei bambini in età prescolare, l'essenzialismo psicologico sembra essere universale nelle società umane. In tutte le culture studiate, a dispetto delle diversità mostrate nelle pratiche di allevamento, i bambini e gli adulti sottoposti a diverse varianti del test dell'adozione mostrano di concepire l'appartenenza a una specie come un tratto determinato da un'essenza, da un potenziale specifico innato [3].

In ambiente scientifico l'essenzialismo è giustamente guardato con sospetto, perché è stato causa di controversie inutili, come per esempio quella attorno alla definizione di che cosa sia "vivente". Nozioni che possono apparire come intuitivamente plausibili, ad esempio quella di "razza" non corrispondono, com'è noto, ad alcuna sottostante essenza da un punto di vista biologico [1]. Lo stesso vale per la nozione di "specie": le specie evolvono e sono definite a livello di popolazione e non come proprietà intrinseche degli individui. Molte discussioni che investono la sfera civica, etica e religiosa sono permeate di essenzialismo psicologico (l'aborto, le cellule staminali...). Basti pensare al dibattito sugli organismi geneticamente modificati. L'idea dell'essenzialismo psicologico è che i membri di una categoria siano tali perché condividono una qualche proprietà interna invisibile, l'essenza, che definisce la categoria stessa. I cani hanno una loro 'caninità' e i gatti una loro 'gattinità' nascosta, che è ciò che li rende diversi tra loro. Così, lo scambio di geni viene avvertito come una modificazione delle essenze degli organismi e, comprensibilmente, le persone ne sono turbate [9].

Nel loro insieme, le evidenze empiriche, qui solo sommariamente descritte, suggeriscono che pensare in termini essenzialistici faccia parte del nostro retaggio biologico. Ma perché siamo essenzialisti? Le essenze consentono di distinguere i membri di una categoria come simili a causa di una struttura interna piuttosto che sulla base dell'aspetto di superficie. Ciò permette di trarre inferenze su base induttiva, estendendo la nostra conoscenza a nuove entità a partire dalle proprietà note di una categoria. Sulla base della velenosità dei funghi incontrati in precedenza, stabiliamo che un nuovo fungo, mai visto prima e d'aspetto inusitato, è velenoso. L'essenzialismo è qualcosa di diverso dal semplice possedere concetti e categorie. Le inferenze che traggono i bambini d'età pre-scolare mostrano due tratti cruciali dell'essenzialismo. In primo luogo, i bambini trasferiscono con grande facilità le proprietà interne e le funzioni non visibili da un membro di una categoria ad un altro. In secondo luogo, i bambini traggono le inferenze anche quando l'appartenenza alla categoria contrasta con le proprietà percettive superficiali. Se faccio vedere a un bambino un insetto che ha l'aspetto di un ramoscello (tipo l'insetto stecco), spiegandogli che si tratta di un insetto, egli attribuirà spontaneamente all'insetto, senza alcun addestramento, proprietà da insetto e non da ramoscello [4].

Qual è l'origine delle essenze? Ovviamente non c'è bisogno che le persone sappiano dire in che cosa consiste l'essenza di un qualcosa per ritenere che questo qualcosa possenga un'essenza. In alcuni casi l'origine delle essenze si suppone sia biologica, mentre in altri può semplicemente riflettere la storia personale di un particolare elemento, ad esempio quale fosse l'intenzione sottostante alla sua creazione oppure chi l'abbia posseduto. È interessante, da questo punto di vista, notare come un oggetto che sia stato creato o posseduto o usato da un individuo in qualche misura notevole modifichi a seguito di ciò il suo valore. Come se le proprietà associate alle essenze tendessero a trasferirsi agli oggetti con cui sono venute a contatto. Lo psicologo Bruce Hood [6] lo illustra con un esempio divertente: sareste disposti a indossare il maglione di un serial killer? E perché no? Davvero pensate che la tendenza all'omicidio seriale possa trasmettersi per il tramite di un maglione, contagiandovi come un bacillo? Parrebbe insensato. E, tuttavia, quante storie abbiamo letto e quanti film abbiamo visto centrati sull'idea che dopo un trapianto di cuore qualcosa dell'espantato – una qualche virtù o un qualche orribile vizio psicologico – si possa trasferire nel trapiantato mediante l'innesto del muscolo cardiaco?

Anche in questo caso non si tratta di un modo del pensiero tipicamente occidentale. Paul Bloom e Susan Gelman hanno recentemente descritto alcune delle procedure che hanno portato alla selezione del quattordicesimo Dalai Lama [2]. Un bambino di due anni sottoposto a esame nel suo remoto villaggio tibetano mostrava di preferire tra una serie di oggetti quelli che erano appartenuti al tredicesimo Dalai Lama, distinguendoli tra altri di simile aspetto e funzione. Che gli oggetti autentici fossero davvero *essenzialmente* diversi perché appartenuti al Dalai Lama è questione metafisica sulla quale gli autori dello studio ovviamente non si pronunciano, ma quel che è davvero interessante è che coloro i quali hanno eseguito l'esame evidentemente credevano che gli oggetti

autentici fossero imbevuti di qualche essenza originale del tredicesimo Dalai Lama. E il meccanismo non sembra fondamentalmente diverso da quello che ci fa attribuire uno speciale valore agli oggetti originali e ai *memorabilia* – il quadro di Cezanne, ma non la sua copia; i collant di Ursula Andress, ma non un paio di collant del tutto identici che però lei non ha mai indossato...

Sul tema degli oggetti originali Bruce Hood e Paul Bloom [5] hanno condotto alcuni interessanti esperimenti con dei bambini d'età prescolare. I bambini potevano osservare l'operare di una *copying machine* che, grazie a un trucco, era in grado di riprodurre tale e quale un qualsivoglia oggetto. Posti di fronte alla riproduzione, in copia perfetta, dei loro oggetti d'affezione (per esempio l'usuale *teddy bear*) i bambini rifiutavano la copia e reclamavano l'originale. In un'altra versione del test i bambini erano posti di fronte alla scelta tra l'originale e la copia relativamente ad oggetti che potevano assumere valore o perché posseduti in precedenza da un personaggio importante («era il cucchiaino della Regina Elisabetta») o perché costruiti con un metallo prezioso («il cucchiaino è d'argento»). Nel primo caso soltanto i bambini preferivano l'oggetto originale alla copia.

Io sospetto che le incomprensioni e, talvolta, le ostilità tra le due culture abbiano, almeno in parte, origine in questi meccanismi della nostra vita mentale. I cultori delle discipline umanistiche ritengono, con buone ragioni, io credo, che i prodotti delle loro attività abbiano le caratteristiche di oggetti originali: sono quelli che sono perché qualcuno, spesso un individuo notevole, li ha creati con una certa intenzione oppure li ha posseduti per un certo tempo; tali prodotti sono perciò pregevoli e, in quanto tali, vanno conservati e protetti. I cultori delle discipline umanistiche però spesso sembrano ritenere, a torto, io credo, che l'indagine scientifica del mondo non sia in grado di cogliere la vera essenza dei fenomeni, in special modo di quelli che attengono alla nostra vita mentale. Le esperienze, infatti, hanno per definizione questo statuto di oggetti originali. Ma la loro inaccessibilità (in prima persona) ad altri individui non implica che le esperienze siano uniche, né che le esperienze degli altri siano copie di scarso valore. Questo peculiare *sentire* il valore degli oggetti originali è in effetti universalmente condiviso dagli esseri umani, persino dagli scienziati quando dismettono la loro veste professionale. Nondimeno, le predisposizioni biologiche sono, appunto, predisposizioni e non sentenze inappellabili. Conoscere che le nostre menti sono state foggiate dalla selezione naturale con un'inclinazione essenzialistica potrebbe facilitare la comprensione delle reciproche ragioni e dei motivi che guidano i nostri comportamenti, anche nella vita intellettuale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barbujani, G., *L'invenzione delle razze. Capire la biodiversità umana*, Bompiani, Milano 2006.
- [2] Bloom P., Gelman, S. A., Psychological essentialism in selecting the 14th Dalai Lama, *Trends in Cognitive Sciences*, 2008.
- [3] Gelman, S. A., Wellman, H. M., Insides and essences: early understandings of the nonobvious. *Cognition*, 56, 1991, pp. 213-244.
- [4] Gelman, S. A., Psychological essentialism in children, *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 2004, pp. 404-409.
- [5] Hood, B. M., Bloom, P., Children prefer certain individuals over perfect duplicates, *Cognition*, 106, 2008, pp. 455-462.
- [6] Hood, B. M., *SuperSense: Why We Believe in the Unbelievable*, HarperOne, London 2009.
- [7] Humphrey, N., *The mind made flesh*, Oxford University Press, Oxford 2002, p. 336.
- [8] Keil, F., *Concepts, Kinds, and Cognitive Development*, MIT Press, Cambridge, MA 1989.
- [9] Vallortigara, G., Creduloni si nasce, *Darwin*, 35, 2010, pp. 76-83.

PRESENTAZIONE DELLA BIBLIOGRAFIA CURATA DALLA SISL
SUI RAPPORTI TRA SCIENZA E LETTERATURA
DAL DOPOGUERRA A OGGI

PATRIZIA PEDRINI

Società Italiana per lo studio dei rapporti tra Scienza e Letteratura

Università di Firenze

Il progetto di redigere una bibliografia capace di raccogliere un corpo di titoli di saggi e libri pubblicati dal dopoguerra ad oggi, in Italia e nel mondo, aventi per oggetto lo studio dei rapporti tra scienza e letteratura, nasce poco dopo la fondazione della SISL (Società Italiana per lo studio dei rapporti tra Scienza e Letteratura) ed è naturale espressione dei suoi scopi statutari. Si sono avvicendati nel tempo diversi bibliografi, dei quali sono l'ultima: mi è stato infatti affidato nel 2006 il corpo bibliografico costituito da tre precedenti bibliografi, che ammontava a circa 2.700 titoli. Contestualmente, mi è stato anche assegnato il compito di curare la messa in formato elettronico del database usando il programma Access, e di procedere a incrementare la bibliografia. Il corpo bibliografico attuale ammonta a 5000 titoli, con un incremento di oltre 3000 titoli in due anni. Si tratta della più estesa bibliografia finora pubblicata nel mondo.

Il lavoro di messa in formato elettronico è stato scandito da fasi di ricerca bibliografica vera e propria e fasi di carattere formale, come il rinvenimento di eventuali difformità grafiche (e, qualora si dessero, concettuali) tra i record della bibliografia, la verifica del grado di uniformità linguistica nell'inserimento dei criteri di soggettazione, l'individuazione, più in generale, di qualsivoglia difetto emergesse come di ostacolo al conseguimento di una soddisfacente forma editoriale del lavoro e, più ancora, all'agile consultazione informatica da parte dell'utente, l'ottimizzazione informatica del database stesso in funzione delle rilevazioni effettuate. La bibliografia attuale risponde ai criteri formali richiesti dalla piattaforma informatica Pinakes2 di Rinascimento Digitale, implementata dal laboratorio Multimediale dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza, che ha fornito il supporto web alla bibliografia e ha reso possibile la pubblicazione on-line.

Schematicamente, i record sono stati schedati nel modo seguente. Ogni opera si presenta descritta in una scheda che contiene i seguenti campi:

- autore;
- titolo;

- anno di pubblicazione;
- tipo di pubblicazione;
- pubblicazione;
- soggetto.

Nella bibliografia figurano sia opere collettanee sia saggi, sia estratti da riviste sia monografie. Le lingue principali in cui i testi sono scritti sono l'inglese e l'italiano, ma vi sono anche molte opere rappresentative dell'area francofona, tedesca, russa, polacca.

I principali gruppi di tematiche specifiche trattate nelle opere ivi raccolte sono soprattutto concentrati sui rapporti tra letteratura propriamente detta e scienze esatte, ma figurano all'interno della bibliografia anche altre aree tematiche, ugualmente rappresentative di questa vasta area di studi – un'area in continua espansione e dotata di grandi potenzialità per la ricerca. Sebbene la bibliografia cominci dal 1945 e arrivi fino a oggi, gli anni più rappresentati sono il 2000 e il 2001 – anni in cui si è assistito a un vero e proprio boom nel campo di studi in questione. Ad esempio, abbiamo circa 2400 opere pubblicate nel 2000. Tra i temi trattati, le relazioni tra le scienze matematiche e fisiche e la letteratura sono ampiamente presenti e occupano un posto di primo piano, assieme ai rapporti tra letteratura e scienze mediche, letteratura e scienze sociali, letteratura e scienze cognitive, tecnologia e *computer science*. Un gruppo di lavori riguarda anche le discussioni teoriche sui rapporti tra scienza e letteratura elaborate nell'ambito della filosofia della scienza; un altro gruppo, più ristretto, ha come oggetto i rapporti nei secoli tra la letteratura e le discipline prescientifiche, come l'alchimia; un ultimo gruppo indaga i rapporti tra letteratura, scoperte e viaggi.

La scienza cognitiva e la psicologia sono certamente rappresentate, ma in misura minore: erano state a suo tempo giudicate dal Direttivo della Società scienze per così dire "critiche", poiché tali da figurare in maniera talmente estensiva negli studi letterari da costringere il redattore della bibliografia a un'opera interminabile. Se da una parte sarebbe impossibile redigere una bibliografia completa sullo studio dei rapporti tra scienza cognitiva, psicologia e letteratura, ci è sembrato tuttavia opportuno inserire un gruppo rappresentativo di opere, da cui il ricercatore possa muovere per ulteriori ricerche.

Per quanto riguarda i criteri di soggettazione (la soggettazione è rigorosamente in inglese, per facilitare l'accesso e la fruizione internazionale, oltre a quella italiana), le opere sono indicizzate sulla base di due livelli di generalità criteriale. I principali raggruppamenti di primo livello sotto cui le opere sono schedate sono tre:

- science & literature;
- arts & science;
- science & humanities.

Successivamente, il bibliografo ha potuto scegliere di combinare uno dei tre gruppi principali con le seguenti indicazioni di secondo livello:

- literary criticism;
- medicine;
- music;
- natural sciences;
- occult sciences;
- optics;
- philosophy of science;
- psychology and cognitive science;
- religion; science fiction / film / TV;
- scientific languages / writing;
- technology;
- travel and discovery;
- visual arts.

Il database utilizzato era stato impostato per consentire tutte le combinazioni possibili tra i tre criteri di primo livello e i criteri di secondo livello, cosicché la soggettazione potesse avvicinarsi il più possibile al reale contenuto dell'opera. L'operazione di soggettazione e combinazione poteva essere ripetuta fino a un massimo di tre volte per ogni opera, così da includere una stessa opera in più raggruppamenti e agevolare la ricerca.

Nessuna bibliografia può ambire a essere esaustiva e completa, pertanto lo scopo di questa presentazione è non solo quello di fare conoscere il nostro cimento al pubblico e di avviare la fase di fruizione on-line e promozione, ma anche quello di attrarre competenze e suggerimenti per il futuro incremento e aggiornamento. Ogni indicazione bibliografica che possa arricchire la bibliografia è benvenuta.

NOTE

<http://moro.imss.fi.it/vex/main.asp>

Bibliografia on-line della Società Italiana per lo studio dei rapporti tra Scienza e Letteratura (SISL).

Informazioni sulla SISL:

Presidente: Antonello La Vergata. Vice presidente: Alessandro Pagnini. Segretario Coordinatore: Maurizio Bossi. Segreteria: Patrizia Pedrini. Il Consiglio Direttivo è composto da: Elena Agazzi, Maurizio Bossi, Laura Bracco, Arnaldo Bruni, Luca Farulli, Paolo Galluzzi, Enrico Ghidetti, Antonello La Vergata, Alessandro Pagnini, Stefano Poggi, Gaspare Polizzi, Paolo Rossi, Antonio Sparzani. La sede della SISL è presso il Centro Romantico del Gabinetto Vieusseux, Piazza e Palazzo Strozzi, 50123 Firenze. Tel. 055.28.83.42, fax 055.23.96.743, e-mail centroromantico@vieuusseux.fi.it.

<http://www.vieuusseux.fi.it/romantico/sisl.html>

STRUTTURA DELLA BIBLIOGRAFIA ON-LINE SU SCIENZA E LETTERATURA

ANDREA SCOTTI

Fondazione Rinascimento Digitale

Prendendo spunto dalle conclusioni di Patrizia Pedrini, presenterò la struttura informatica della bibliografia on-line: da una parte mostrando l'attività del web per consentire la navigazione, e dall'altra fornendo indicazioni sull'accesso alla produzione dei dati, poiché si tratta di una bibliografia *in fieri*. In questa presentazione farò due esempi di base.

Il primo esempio ha lo scopo di mostrare come si possano estendere le funzionalità di ricerca – perché attualmente non ci sono risorse digitali connesse con il record bibliografico, semplicemente descrittivo, senza accesso cioè diretto al libro, all'articolo o ad altro tipo di documento. Attraverso questa funzione, possiamo andare a vedere la galleria digitale, nel caso in cui la SISL decidesse di eseguire una scansione dei materiali e metterli a disposizione del pubblico. Nel momento in cui quei materiali fossero a disposizione, verrebbero automaticamente gestiti dall'interfaccia web e ogni oggetto digitale ci riporterebbe alla scheda vera e propria. Il modo per accedere ai dati è abbastanza semplice, poiché suddiviso secondo una serie di categorie esemplificative. Si può accedere quindi, da una parte, alle risorse digitali e, dall'altra, alla scheda oppure direttamente alle liste che ci consentono di vedere la scheda ricercata. Se poi si volessero mettere insieme due schede, potremmo usufruire dell'opzione di confronto tra di esse e osservare la relazione tra l'una e l'altra. In questo modo avremmo la possibilità – cosa rara nel web – di venire a conoscenza delle relazioni che i vari schedatori ritengono importanti per comprendere la serie di interventi riguardanti un particolare argomento.

Il secondo esempio riguarda la ricerca di indice, già citata precedentemente da Pedrini: la ricerca ci consente di entrare nei dati attraverso i vari indici. Se noi effettueremo la ricerca per "persona", citando ad esempio Charles P. Snow, arriveremo all'autore e scopriremo 13 suoi record tra i 5000 dell'intera bibliografia. Una volta arrivati al gruppo di 13 titoli, si può specificare se si vogliono vedere tutte le schede bibliografiche relative a Snow, o se preferiamo solo quelle in cui egli risulta autore (in questa maniera restringiamo il campo e arriviamo a identificare le informazioni in maniera precisa).

Accanto a questa possibilità di navigazione, ne abbiamo un'altra di tipo generico: se scriviamo nel menù di ricerca *Two cultures*, otteniamo 32 titoli che contengono le due singole parole ricercate. Può accadere che risulti "nessun elemento trovato". Questa è un'altra delle possibilità di sviluppo, se uno di questi records cercati dovesse corri-

spondere a un titolo non completamente specificato per esteso, oppure avesse delle fonti connesse, come ad esempio la trascrizione di manoscritti che vengono citati in un articolo o in un libro, e si fosse fatta la trascrizione solo del testo citato. Quindi la bibliografia risulta costituita da un lato dall'apparato catalografico, dall'altro dall'apparato testuale, e in mezzo dalle risorse digitali vere e proprie per accedere ai libri, agli articoli e all'apparato iconografico in generale.

Altro tipo di esplorazione è quello standard: all'interno della bibliografia abbiamo una tipicizzazione, che ci consente di scegliere la lista. La lista più grande è ovviamente quella dei titoli. Se però in "titolo" abbiamo catalogato separatamente tutto l'apparato iconografico relativo a una certa opera, la ricerca potrà estendersi naturalmente ad altre tipologie.

Un'altra tipologia di ricerca, presentata da Pedrini, è quella per "Soggetto". Scegliendo "Scienze e discipline umanistiche" come soggetto di ricerca, si otterranno alcune sottocategorie, studiate per raggruppare le varie arie di intersezione tra "Scienza e Letteratura". Immaginiamo di sceglierne una, ad esempio "Filosofia della scienza". Non troveremo argomenti sottospecifici. Scopriamo al contrario che di "Filosofia della scienza" in relazione con la "Letteratura" ci sono 946 titoli. A questo punto possiamo, cliccando su un titolo, visualizzare la scheda finale. Una volta visualizzata una scheda, sarà anche possibile, accedendo al nome dell'autore di quella determinata opera, ad esempio Norbert Elias, accedere ai records che lo riguardano. Stessa cosa vale per le altre tipologie: se vogliamo effettuare una ricerca per "Data", sarà possibile, inserendo un anno di pubblicazione, visualizzare tutte le opere di quel determinato anno. Anche qui la ricerca per "Data" può essere raffinata scegliendo una data esatta, in modo da restringere il campo. È inoltre possibile cercare per "Epoca": questo allarga di nuovo la possibilità di raggruppamento; oppure utilizzare l'opzione "Ricerca per arco temporale", in maniera tale da restringere, all'interno dell'intersezione cronologica che questa bibliografia copre, un'area di proprio interesse.

PREMIO GIULIO PRETI

Terza edizione



MOTIVAZIONE PER IL CONFERIMENTO DEL PREMIO

A BAS VAN FRAASSEN

La logica e la filosofia della scienza hanno avuto una straordinaria crescita nel Novecento. Da quella piccola schiera di pionieri che, all'inizio dello scorso secolo, inaugurò una nuova stagione nel dialogo fra scienza e filosofia si è passati a una grande comunità internazionale di ricerca, che unisce studiosi di logica, matematica, fisica, biologia, economia, storici delle rispettive discipline e infine filosofi della scienza.

La crescente complessità delle indagini nel campo della logica e nel campo della filosofia della scienza ha portato a una progressiva separazione non solo fra le due discipline ma anche fra un settore e l'altro di ciascuna disciplina. Ci sono però studiosi che nella loro opera hanno testimoniato e continuano a testimoniare il fecondo commercio di idee fra logica e filosofia della scienza. Tra essi, uno dei più eminenti è sicuramente Baastian (Bas) Cornelis van Fraassen. I suoi contributi, di grande originalità e di rilievo multidisciplinare, hanno favorito la tessitura di un rinnovato dialogo fra scienza e filosofia, dando impulso al settore solitamente indicato come "logica filosofica" e arricchendo con ampie e scrupolose analisi il panorama dell'epistemologia contemporanea.

Sul piano generale, la formulazione, da parte di van Fraassen, di un raffinato "empirismo costruttivo", quale cornice unitaria, e, sul piano più specifico, i suoi lavori concernenti temi quali il rapporto tra leggi e simmetria, la natura dei fenomeni quantistici, il concetto di spiegazione, i paradossi, gli operatori modali, il carattere soggettivo della probabilità, costituiscono un ineludibile punto di riferimento per chiunque oggi intraprenda studi di filosofia della scienza.

Nato in Olanda, a Goes, il 5 aprile 1941, nel 1956 è emigrato in Canada, e qui ha compiuto gli studi conseguendo la laurea in filosofia, nel 1963, presso l'università dell'Alberta, seguita dal PhD presso l'università di Pittsburgh, tre anni dopo. In Canada è stato docente presso l'università di Toronto, mentre negli Stati Uniti ha insegnato presso le università di Yale, della California del sud, di San Francisco e di Princeton (dalla quale nel 2008 ha preso congedo). Membro di numerose società e accademie fra le più prestigiose, van Fraassen ha unito alla sua attività di ricerca anche un infaticabile impegno nel ruolo di *editor* per riviste come il *Journal of Symbolic Logic* e il *Journal of Philosophical Logic* nonché per numerose associazioni scientifiche internazionali.

Dal suo primo volume, *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*, che è del 1970, al recentissimo *Scientific Representation*, uscito nel 2008, la produzione scientifico-filosofica di van Fraassen è stata vastissima: fatta non solo di articoli e monografie, ma anche di saggi critici e di importanti curatele. Alcune delle monografie di van Fraassen hanno segnato l'evoluzione della filosofia della scienza negli ultimi decenni. Fra esse, due spiccano in particolar modo: *The Scientific Image* (1980, opera tradotta in varie lingue e uscita in italiano nel 1985 con il titolo *L'immagine scientifica*) e *The*

Empirical Stance (2002). In queste due opere si trova lucidamente esposta la prospettiva generale entro la quale van Fraassen analizza e ricostruisce il senso del sapere scientifico, esaminato nel divenire del rapporto fra teorie e fenomeni e con la consapevolezza dei limiti dell'umana conoscenza: la concezione semantica delle teorie si compenetra con un atteggiamento pragmatico e con una lettura "prospettica" delle osservazioni, confluendo in un raffinato empirismo che ha paradigmaticamente presenti i problemi legati all'interpretazione della meccanica quantistica.

Accanto a testi di carattere propriamente epistemologico, van Fraassen ha anche scritto pregevoli introduzioni alla meccanica quantistica e alla logica. Lungo è infine l'elenco dei lavori di ricerca che van Fraassen ha dedicato a problemi di logica: alcuni suoi articoli hanno introdotto concetti e metodi originali intorno ai quali sono cresciuti nuovi settori di questa disciplina.

È raro trovare uniti nella stessa persona un alto livello di competenza scientifica e una raffinata coscienza filosofica. Non meno raro è trovare in un filosofo della scienza, accanto a una convinta difesa di tesi sostenute con chiarezza e rigore argomentativo, una generosa attenzione per linee teoriche alternative e un appassionato invito alla prudenza nel giudicare lo stato dell'arte. Questa duplice rarità si trova esemplificata in van Fraassen. La raffinata forma di empirismo che è legata al suo nome reca una lezione di saggezza che, andando oltre l'ambito scientifico, favorisce la fioritura di quei valori che animano un autentico spirito democratico.

Per i motivi qui sinteticamente espressi, il comitato scientifico di Pianeta Galileo è stato unanime nell'attribuire a Bas van Fraassen il Premio Giulio Preti.

LA LOGICA E L'IO: DOPO CERTE CRISI NEL PENSIERO OCCIDENTALE*

BAS C. VAN FRAASSEN

Princeton University e San Francisco State University

È un grande onore ricevere questo premio e in verità è per me un onore ancor più grande dividerlo con Ettore Casari. Ma sono perfettamente consapevole che, se siamo qui, è innanzitutto per onorare la memoria di Giulio Preti. Ho potuto avere soltanto un ridotto accesso al pensiero di Preti, attraverso alcuni suoi saggi tradotti in inglese e francese, e in modo più specifico grazie a un illuminante articolo di Alberto Peruzzi.¹ A seguito di ciò ho riflettuto specialmente sui tempi e le circostanze del giovane Preti, negli anni Trenta, e sul modo in cui quei tempi si legano ai nostri.

1. Il senso della crisi, da allora in poi

I tempi in cui Giulio Preti fece i suoi primi lavori, gli anni Trenta, furono un periodo di sconvolgimento culturale e intellettuale, non meno che politico. Lo stesso titolo di un'opera di Husserl, "La crisi delle scienze europee",² ne è una spia indicativa. Quest'ultimo, non concluso, lavoro di Husserl giungeva però al culmine di un sentire, venuto crescendo per quarant'anni: si avvertiva lo sgretolamento di un'indagine sistematica sui fondamenti della scienza e il bisogno di un suo profondo rinnovamento. In quei decenni si diffuse un senso di crisi nel pensiero occidentale.

Eppure, quella fu anche un'epoca di grande ottimismo intellettuale. Come si dice talvolta, ogni crisi è un'opportunità, un'occasione per andare oltre ciò che siamo stati. Proprio ripensando a quell'epoca, viene alla mente un enigma.

1.1 L'enigma, per noi che guardiamo indietro

Com'è che al tempo del giovane Preti i filosofi avevano un così acuto senso di crisi del pensiero occidentale, mentre, negli ultimi decenni, in buona parte della filosofia, non c'è alcun segno di un simile senso di crisi?

Possiamo immaginare tre possibilità. Potrebbe essere perché ci fu una crisi e i problemi con essa emersi sono stati risolti: il pensiero filosofico dell'Occidente ha trovato nuove, solide e stabili basi. Oppure potrebbe essere perché il precedente senso di crisi si fondava su un errore, dovuto alla crisi sociale, culturale e politica, verificatasi nella prima metà del Novecento. Infine, in modo più inquietante, potrebbe essere perché il

* Testo del discorso tenuto a Firenze il 21 novembre 2009, nella Sala Gonfalone del Consiglio regionale della Toscana, in occasione della consegna del Premio Giulio Preti per la scienza e la democrazia..

pensiero filosofico occidentale è entrato davvero in crisi, non si è trovato il modo di venirne a capo e i problemi posti non sono stati risolti, ma i filosofi si sono lasciati andare a un falso senso di sicurezza.

Quale di queste tre possibilità corrisponde alla situazione reale? Non ho gli strumenti per indagare le eventuali connessioni fra le crisi socio-politiche del secolo turbolento che abbiamo alle spalle e le nostre prospettive intellettuali, ma penso che sia opportuno considerare attentamente le crisi putative, avvertite o realmente manifestatesi in filosofia, durante quell'epoca, al fine di individuare degli indizi che permettano di risolvere l'enigma.

1.2 Un'analogia geometrica

Al semplice scopo di aiutare la nostra immaginazione, intendo proporre un'analogia geometrica che serva a illustrare il tipo di crisi che può verificarsi, e che potrebbe anche essere superata, nel pensiero scientifico e filosofico. L'analogia consiste nella possibilità che viviamo in uno spazio riconosciuto come illimitato, ma pur sempre finito. Il che suona (ed è) paradossale. Se il nostro spazio è illimitato, non ci è mai impedito di continuare un viaggio in una data direzione; ma se è finito, i nostri possibili viaggi sono tutti quanti inferiori a una prestabilita lunghezza finita, dal momento che occupiamo regioni finite di spazio – non siamo punti inestesi che potrebbero restare a distanze infinitesime da un qualsiasi dato punto. Siccome lo spazio è sicuramente molto grande, non siamo nella condizione di verificare empiricamente la sua finitezza, ma, anche se non ce ne accorgiamo, tutti i nostri movimenti sarebbero confinati.

Uno spazio del genere avrebbe, in termini tecnici, "curvatura positiva". Nell'Ottocento, il matematico tedesco Gauss mostrò che sarebbe possibile rendersi conto della curvatura dello spazio, in una data posizione, mediante misurazioni interne allo spazio stesso (cfr. [5] e [2]). Tali misurazioni ci darebbero allora la startling realization che potremmo non trovarci affatto in un universo infinito: un cambiamento radicale nella nostra immagine del mondo. Secondo la nuova immagine, ci dovremmo pensare come all'interno di una totalità finita, senza alcuna possibilità di uscirne fisicamente, eppure senza la minima possibilità di sperimentarne il limite o il confine, restando dunque con una comprensione puramente intellettuale, quasi di tipo divino, del nostro stato.

Lo so che è uno scenario di fantasia, almeno fino a un certo punto, ma potrebbe darci un'un'idea di quel che potrebbe – o dovrebbe? – avere l'aspetto di una vera e propria crisi filosofica. Dopotutto, quest'esempio fa riferimento allo sviluppo delle geometrie non-euclidee nel corso dell'Ottocento: uno sviluppo che di per sé rappresentò una crisi intellettuale, segnando l'inizio della grande 'rivoluzione scientifica' di quell'epoca. Tuttavia, non intendo dire che un tale sviluppo sia stato, da sé solo, una crisi RADICALE. Non intendo definirlo una crisi "radicale" per un ben definito motivo: quello sviluppo si prestava ancora a essere afferrato con l'intelletto, collocandosi da un punto di vista ESTERNO che, sì, era fisicamente impossibile da raggiungere, ma pur sempre concettualmente accessibile.

Quanto alla struttura globale dello spazio, o dello spaziotempo, fisicamente inteso, i matematici hanno davvero messo in grado noi comuni mortali, finiti, di guardare la nostra situazione da un punto di vista collocato ... in nessun posto. Con lo sviluppo della matematica, abbiamo assistito alla creazione di una cornice concettuale ancora più ampia, nella quale possibilità come questa si lasciano intendere non solo come problemi, visti dal di dentro, bensì come *aufgehoben* in una più vasta Unità.

Cos'è invece una crisi radicale? È una situazione in cui i problemi e i limiti delle nostre concezioni diventano visibili unicamente dall'interno sotto forma di anomalie, paradossi, contraddizioni in termini, lasciandoci incapaci, anche in linea di principio, di trascendere la gamma dei punti di vista soggetti a tensioni inconciliabili.

1.3 Abbiamo mai incontrato qualcosa con i caratteri di una crisi radicale?

La risposta è decisamente affermativa.

E con questo penso che siamo anche arrivati a dare risposta alla prima domanda. Abbiamo un modo per spiegare, guardando indietro, il sentimento del tempo in cui si formò il giovane Preti: il pensiero occidentale era caduto in uno stato di crisi, di cui erano sintomi – forse, paradossalmente – tutti i grandiosi sforzi tesi a costruire nuove immagini del mondo che fossero plausibili, così come ne erano sintomi le altisonanti dichiarazioni su come i problemi erano stati risolti mediante una rivoluzione concettuale. Come Peter Gallison ha messo in risalto, quella fu un'epoca in cui la ricorrenza stessa della parola tedesca "Aufbau" segnalava quanto si sentisse il bisogno di una ricostruzione.³ Sotteso a quelle dichiarazioni c'era, di sicuro, il riconoscimento che l'ordine costituito in campo intellettuale andava evidentemente incontro a una rivoluzione o, quanto meno, la esigeva ...

Piuttosto che trattare l'argomento nella sua generalità, intendo soffermarmi su due grandi esempi, ai quali per un verso o un altro attribuisco la capacità di svegliarci da ogni sonno dogmatico. Il primo esempio è quello che si è soliti indicare come la Seconda Rivoluzione Scientifica, che avvenne nei decenni intorno al 1900. Il secondo esempio, acutamente presente anche negli anni della giovinezza di Preti, ha a che fare con il linguaggio e la logica, con la verità e i paradossi, nonché, in modo implicito, con i profondi e inevitabili limiti cui va incontro la concezione di noi stessi.

2. La Rivoluzione Scientifica dei decenni intorno al 1900

Non entrerà nei dettagli degli sviluppi rivoluzionari, tanto in fisica quanto in biologia, che ebbero luogo intorno al 1900: sono ben noti, grazie alla valente ricostruzione che ne ha fatto Thomas Kuhn e che, dopo di lui, ne hanno dato i suoi continuatori, i suoi critici, e altri storici. Vorrei piuttosto mettere in chiaro come quel tipo di cambiamento concettuale finisse letteralmente per *confondere* gli stessi padri della rivoluzione.

Quelli che vivono mentre è in corso una rivoluzione concettuale e vi prendono parte, sono cresciuti e si sono formati all'interno di un pre-accettato schema concettuale, che fin dall'inizio hanno vissuto come una visione del mondo che stabiliva ciò che ha

senso e ciò che non ha senso, stabiliva cosa è contraddittorio, cosa è una sciocchezza, come pure quel che c'è o non c'è da capire.

Non meno prestabilite, almeno in parte, sono le possibilità direttamente escluse come aventi probabilità zero, al pari di quali ipotesi potrebbero, in linea di principio, guadagnare credito, avere successo e segnare così il progresso della scienza. E allora: come si fa a manifestare una *possibilità di cambiamento* che sfugga a questo quadro?

2.1 La rivoluzione/conversione scientifica come un problema di decisione razionale⁴

Il paradigma pascaliano per prendere decisioni è succintamente riassunto nella *Logica di Port-Royal*:

Per giudicare che cosa si deve fare per ottenere un bene o per evitare un male, occorre considerare non soltanto il bene e il male isolatamente presi, ma anche la probabilità che esso si verifichi o no, e occorre pure intendere in senso geometrico la proporzione che una cosa ha con l'altra.

Qual è il problema teorico che una rivoluzione scientifica pone per la teoria delle decisioni? Quando passiamo al tipo di decisioni che è qui implicato, i risultati immaginati non hanno senso stando al punto di vista precedente.

Immaginate di dover valutare un risultato che, alla luce delle informazioni attuali, corrispondesse a un discorso e a un pensiero che non sta in piedi, anche se di fatto funziona molto meglio. È qualcosa che ha senso? Immaginate di muovervi totalmente all'interno di una visione scientifica del mondo la quale si stia sempre più appesantendo di palesi anomalie, gravi difficoltà di calcolo, previsioni sbagliate e spiegazioni in stile "epiclici". Ecco che si fa strada un'alternativa, alcuni cominciano a parlare di una nuova, strana, teoria che non dovrebbe avere senso alcuno, violando i più basilari e condivisi presupposti circa il modo in cui la natura può essere intesa. Quale esito è ancora da classificarsi come soddisfacente? Ovviamente, quello che risolve i problemi. Ma prendere sul serio un'assurdità non conta come soluzione. Anche se contasse, bisognerebbe essere stupidi per aspettarsi che futuri esperimenti renderanno giustizia a tale opzione. Se vi fermate un attimo a pensare voi stessi convertiti a quelle strane nuove idee, vi vedrete come inchinati di fronte a una palese assurdità e vi sentirete balbettare (*c'est le bouquet!*) con l'aria di chi ha spiegato l'inesplicabile.

Cosa potrebbe mutare questo giudizio? Quel che ci occorre trovare è *qualcosa* che possa svolgere la funzione di cambiare i parametri base dello stato del nostro problema, quegli stessi parametri da cui dipende un ragionamento fatto secondo la teoria delle decisioni. Chi è un empirista non può semplicemente far entrare in gioco questo *qualcosa* con un fiat. Può esserci, nella nostra esperienza, un elemento che svolga tale funzione?

Possiamo certamente intendere trasformazioni del genere, colte per via emotiva, *negli stessi termini* del paradigma decisionale di cui costituiscono delle anomalie. I valori attribuiti ai possibili risultati di varie azioni risultano cambiati, in un modo che trasforma l'azione stessa in qualcosa di diverso.

Cambia la valutazione dei differenti risultati come soddisfacenti o disastrosi, anche se da un punto di vista puramente neutrale l'azione e il suo risultato non sono cambiati. Né fisicamente, né chimicamente, né fisiologicamente c'è stato il minimo cambiamento.

Con la risposta emotiva, cambia un altro aspetto della situazione; ed è un aspetto ancor più nitidamente cognitivo. Quel che sembra *possibile* o *probabile*, *impossibile* o *improbabile*, non è più lo stesso. Ma quando cambiano questi due tipi di aspetto, a cambiare è anche la situazione così come concepita in teoria delle decisioni. Quanto ci sembra soddisfacente nell'agire in un certo modo è interamente determinato da questi fattori. Se i fattori cambiano, cambia quel che ci risulta come soddisfacente o accettabile.

C'è un salto logico tra lo stato epistemico precedente e quello successivo quando differiscono su ciò che conta come intelligibile. Occorre qualcosa che svolga un qualche ruolo nella transizione ed è proprio questo *qualcosa* che risponde alla domanda posta alla fine del paragrafo precedente. Il problema è che nel momento in cui proviamo a dire se è buona una data decisione, o buono un dato cambiamento, stiamo valutando secondo i nostri standard correnti, che includono le nostre attuali stime di probabilità e giudizi di valore. Ma allora, se il cambiamento previsto investe questi stessi standard, stime di probabilità e giudizi di valore, è automaticamente considerato come assurdo. Visto dal di dentro del preesistente quadro concettuale, ogni quadro antitetico è logicamente assurdo.

Dunque, in quale senso potremmo mai prendere come una seria opzione la decisione di cambiare? Come giudicarla qualcosa di diverso da una via che conduce dritta all'assurdo? E come potremmo attribuirle un qualche valore? Bisogna rispondere a queste domande perché, comunque esse si configurino entro la cornice della teoria delle decisioni, è un dato di fatto che siamo in grado di 'prendere le distanze' da noi stessi soppesando, valutando, e anche cambiando i nostri valori.

DIAGNOSI : si tratta di un problema di auto-riferimento, che spunta fuori all'interno della teoria delle decisioni.⁵ In effetti, nella teoria delle decisioni razionali, il risultato positivo è calcolato sulla base di dati fattori; e qui ci stiamo chiedendo come considerare la decisione di accogliere idee rivali, che è anche una decisione di rompere con lo stesso contesto decisionale in cui ci troviamo a dover prendere la decisione.

Non c'è da stupirsi che in pratica – e su questo siamo tutti d'accordo – le rivoluzioni scientifiche prendano piede solo con la dipartita della generazione precedente, né c'è da stupirsi che siano esaltate solo col senno di poi. Ma fin qui abbiamo solo una reazione superficiale. Tenendo presente quel che sappiamo su di noi, sulla nostra storia e su ciò che in essa approviamo, non possiamo semplicemente sbarazzarci del cambiamento concettuale come se fosse riducibile a dei 'salti' fortuiti, apprezzabili o non apprezzabili, che trascendono un resoconto razionale.

2.2 Tornando a un'analogia geometrica

Ricordiamoci l'esempio relativo a esseri che si trovano in uno spazio illimitato ma finito. È così che possiamo pensare il modo in cui siamo immersi nel nostro attuale

schema concettuale? *Sì e no*. Col senno di poi, una volta che il cambiamento è avvenuto possiamo anche trovare un posto per i nostri concetti precedenti, ormai superati; ma se consideriamo la situazione in cui ci si trova a decidere, l'analogia non funziona più.

Quando il pensiero entra in crisi, è perché si stanno accumulando anomalie, concettuali non meno che empiriche. Conviene mettere in evidenza il punto della questione: i problemi sono classificati come *anomalie* solo guardando indietro al passato; non possono essere così classificati in anticipo – allorché sembrano semplicemente problemi di difficile soluzione. C'è un noto slogan: *quando il gioco si fa duro, i duri cominciano a giocare*.

2.3 Una reazione esistenzialista

Gli anni Trenta, quando Giulio Preti era ancora giovane, furono il tempo in cui sia la fenomenologia di Husserl sia il positivismo logico del Circolo di Vienna andarono incontro alle loro anomalie – viste con occhi odierni! Quel tempo, e non è una semplice coincidenza, vide la nascita del nuovo esistenzialismo. Accanto alla mia diagnosi, secondo cui una crisi radicale è una crisi di auto-riferimento, vorrei affiancare la diagnosi proposta dagli esistenzialisti.

Un punto in cui l'uscita da una situazione problematica si presenta come una decisione che, per sua stessa natura, non può ammettere una giustificazione nei termini precedenti, è un punto in cui tutta quanta la responsabilità dell'esito sta sulle spalle di chi prende la decisione. Non è un punto in cui si possa dire, in tono rubicondo, che tutte le scelte sono ugualmente buone o ugualmente cattive. Al contrario, ogni singola scelta può darsi che abbia conseguenze devastanti e nessuna può far affidamento su una giustificazione in termini precedenti e tanto meno è avvalorata dal fatto che le scelte alternative difettano di giustificazioni. Quando ci si trova in un punto simile, qualsiasi decisione ci lascia con "le mani sporche", per citare il titolo di un dramma di Sartre.

Finora ho ragionato in un modo che alcuni prendono come inevitabile, ma non tutti la pensano così. L'asse della tradizione filosofica occidentale rifugge da dilemmi esistenziali e ospita molte argomentazioni finalizzate ad asserire che tutti i conflitti sono risolvibili con la ragione. Alla luce di ciò, l'interrogativo cui ho cercato di dare risposta, ma che per molti resterà ancora senza risposta, diventa: il quadro offerto della situazione è davvero inevitabile, come gli esistenzialisti, da Pascal a Sartre, hanno sostenuto?

Mi sia concesso di affrontare la questione procedendo per una via un po' indiretta. Mettiamo per un momento da parte l'interrogativo circa la razionalità delle rivoluzioni concettuali e spostiamo invece l'attenzione su quello che a un primo sguardo sembra essere un ambito intellettuale molto distante. Mi riferisco all'ambito dei logici. È qui, infatti, che incontriamo *la seconda crisi radicale nel pensiero occidentale*.

3. La logica e l'io

Mentre le grandi rivoluzioni scientifiche dei decenni intorno al 1900 stavano sostituendo intere immagini del mondo, l'attenzione dei filosofi scivolava di pari passo verso la soggettività, nella dimensione dell'individuo, e verso il linguaggio entro il quale l'individuo s'impegna a relarsi con il mondo.

In maniera sorprendente, fu fatto ogni tipo di sforzo per eliminare il soggetto dalla teoria del linguaggio e astrarre dai caratteri inerenti a chi usa il linguaggio e al suo impegno nei confronti del mondo. Non si trattò di uno sforzo universalmente condiviso. Tanto in Europa quanto in America ci furono piccoli gruppi – come il circolo di Lady Welby a Londra e il gruppo della *significs* in Olanda – che misero in risalto lo speciale ruolo del discorso in prima persona, come pure delle espressioni indicali e dell'auto-riferimento.⁶ Tuttavia – e la cosa è rivelatrice –, laddove tali idee si annunciarono, furono rimosse in vario modo.

La forma assunta da quegli sforzi consisteva nella costruzione di linguaggi-modello che avrebbero dovuto fedelmente corrispondere alle risorse del linguaggio scientifico. Il fatto cruciale era che tale costruzione si doveva effettuare sfruttando quelle stesse risorse. Fu allora che i famosi paradossi di quel periodo riscossero il loro pedaggio.

3.1 I principali risultati

Il più famoso risultato fu il Teorema di Gödel, [6]. Da allora questo risultato è stato abusato e frainteso fin troppo spesso, ma la lezione che vi è racchiusa conserva la sua forza a dispetto delle volgarizzazioni. Dal Teorema di Gödel usciva letteralmente distrutta l'idea di poter mantenere una concezione quasi divina della matematica all'interno di un quadro puramente finitistico. Il libro della natura, come recita il famoso detto di Galileo, è scritto in linguaggio matematico, ma adesso sappiamo che, se lo scienziato si trova a dover leggere il libro della natura, dovrà parlare e leggere il linguaggio in cui è scritto come un parlante madrelingua, dunque come un bambino l'impara in collo alla mamma, non come uno studioso che padroneggi una rappresentazione *di* quel linguaggio. La suprema ambizione, implicita nell'immagine di un simile studioso, distaccato e onnicomprensivo ad un tempo, venne alla luce e trovò espressione con il Teorema di Gödel. Un'ambizione che era sembrata rientrare nei nostri diritti si rivelava un'altra Illusione della Ragione.

Lo descrivo come un paradosso perché nulla pare più naturale dell'idea di poter avere o di avere in effetti un linguaggio che riesca ad esprimere tutto quanto è esprimibile ed entro il quale si possa costruire un'adeguata rappresentazione di tutto quanto è rappresentabile. È un vero shock venir a sapere che quest'idea, nella sua semplicità e apparente naturalezza, ci metteva nei panni di poveri apprendisti stregoni, ignari dell'abisso che era lì a un passo, che si trastullavano con ideali irraggiungibili e perfino incoerenti.

Negli anni del giovane Preti, si aggiunsero altri shock del genere. Viviamo nel nostro linguaggio naturale ma ne facciamo pure un oggetto di studio – e com'è possibile se questo studio dev'esser condotto usando lo stesso mezzo espressivo che è oggetto di studio? Fin dagli albori della filosofia ci si è messi a cercare il criterio della verità, nell'idea di tracciare la linea di demarcazione tra ciò che è vero e ciò che è falso. Ed ecco che arriva il risultato di Tarski, complementare al Teorema di Gödel: ogni proposta che tenda a formulare un simile criterio, da applicarsi allo stesso linguaggio in cui viviamo, va incontro a una riduzione all'assurdo, [23].

3.2 Colpi inferti al realismo metafisico, non meno che all'ideale di una scienza cognitiva

Qualche decennio dopo, il filosofo americano Hilary Putnam si è servito dei risultati di quegli anni per imbastire un'argomentazione contro il realismo metafisico.⁷ Se ipotizziamo che ci sia un linguaggio in cui rappresentare tutto quanto è rappresentabile e se ipotizziamo che un simile linguaggio ospiti l'Unica Descrizione Vera del Mondo, finiamo per bruciarci con le nostre stesse mani, perché tali ipotesi implicano la loro stessa negazione.

Benché tutto ciò sia ben noto alla comunità filosofica, non si riscontra più alcun senso di crisi nel solco principale della filosofia odierna, come se, in fondo, quei paradossi riguardassero un ambito quanto mai astratto, per non dire astruso: benché si applichino allo stesso linguaggio di cui ci serviamo ogni giorno, sembrano remoti da quel che ci interessa. Eppure, quei paradossi hanno corollari che recentemente hanno investito questioni che ci toccano da vicino. Mi riferisco a risultati che, avendo come base i famosi teoremi di Gödel e di Tarski, hanno a che fare con l'immagine che ci formiamo di noi stessi come *soggetti della scienza cognitiva*.⁸

Diciamolo subito: non possiamo far finta, spavalidamente, di sapere che in nostro possesso ci sono risorse che trascendono tutto quanto un computer possa simulare. Riconoscendo questo, abbiamo anche un vincolo sul modo in cui poter rappresentare noi stessi e, più specificamente, ne risulta vincolato ciò che gli scienziati possono mettere insieme come modello in grado di rappresentare i nostri stati e processi cognitivi. Anche ammettendo di non esser stati prudenti ad avanzare certe pretese in materia, il naturalismo è negli attuali circoli filosofici una tendenza così forte che gli scienziati cognitivi sarebbero immediatamente contestati se non rispettassero questo vincolo. Ma il punto è – e qui si ripresenta il paradosso – che un simile vincolo colloca le immagini scientifiche della cognizione nel raggio d'azione dei teoremi limitativi e dunque espone le stesse immagini alla portata devastante di quei risultati.

Francamente, se uno scienziato potesse offrire un'immagine adeguata e completa della cognizione e poi se ne servisse per applicarla a se stesso, si renderebbe conto di esser caduto in contraddizione. Tutto il suo accurato e umile resoconto di come pensiamo risulta inutile non appena lo scienziato cognitivo considera le sue stesse costruzioni intellettuali, le sue teorie e i relativi modelli, come oggetti che rientrano nel campo della sua scienza.

Circa il problema della razionalità del cambiamento concettuale, ho in precedenza diagnosticato che esso dipende essenzialmente dall'auto-riferimento. I logici offrono una rigorosa dimostrazione del fatto che l'idea di comprendere se stessi mediante un modello scientifico univoco e non meno rigoroso è una Torre di Babele, destinata a crollare sotto il suo stesso peso.

4. Alla base del problema

C'è un filo comune che attraversa queste difficoltà concettuali. Tanto nella teoria delle decisioni quanto nella teoria del linguaggio e del significato, notiamo che è perfetta-

mente possibile costruire, e di fatto si costruiscono, rappresentazioni funzionanti di situazioni *locali*.

Quando si tratta di prendere una decisione in uno specifico prefissato contesto, ove le assegnazioni di valori e di probabilità sono già stabilite per noi, o da noi, lo schema di fondo da seguire è chiaro e, in effetti, obbligato dall'adozione di una prospettiva razionale. Può non esser facile decidere, ma i problemi da risolvere hanno una forma precisa e pienamente compresa.

Quando si ha a che fare con una forma di discorso che ha un predefinito argomento, un predefinito vocabolario, una predefinita grammatica, e ha anche una data collocazione storica o i suoi confini ben marcati, il compito di elaborarne una rappresentazione non sarà facile ma pone un problema che è, in linea di principio, solubile. Si tratta di un problema che ha la tipica forma dei problemi scientifici, non così lontana da come si procede nelle scienze naturali.

La situazione è analoga nell'ambito delle indagini sulla cognizione, quando si focalizza l'attenzione su specifiche abilità e risorse cognitive sullo sfondo di una cornice pretracciata: i modelli che possono essere costruiti per risolvere i problemi attuali, per quanto difficili, sono analoghi a quelli costruiti per affrontare i problemi emersi nel corso della storia delle scienze naturali – e analoghe sono le difficoltà.

Ma in entrambi i casi il tentativo di applicare quella determinata forma di rappresentazione alla *nostra* situazione, auto-referenziale e presa come un tutto, nella sua integrale completezza, finisce per condurre a impossibilità logiche in senso stretto. Il tentativo si riduce all'assurdo e si rivela un esempio delle kantiane Illusioni della Ragione.

Possiamo riassumere la questione, seppure in termini metaforici, con le parole usate nel 1907 da Gerrit Mannoury in un suo commento critico alla dissertazione di Brouwer, che inaugurò il movimento intuizionista agli inizi del Novecento: *Un pesce si può fare a fettine, non l'universo intero.*

5. A che punto siamo oggi?

Ho esordito manifestando il mio sconcerto nel riflettere sulla storia della filosofia negli ultimi cento anni. Se c'era un senso di crisi nel pensiero occidentale di quasi un secolo fa, ai tempi del giovane Giulio Preti, e non è dato trovare più lo stesso senso di crisi nella filosofia che va per la maggiore negli ultimi decenni, cos'è successo?

La crisi fu superata in maniera originale, con uno scopo preciso in testa e una chiara idea della sua soluzione o ri-soluzione? Oppure si era partiti male fin dall'inizio, identificando erroneamente una crisi che non c'era? Si trattò forse di angosce relative all'ambito sociale e politico che si trasferivano all'ambito intellettuale, come una disperazione individuale o sociale in tempi di crisi che si proiettava la sua ombra sul firmamento della filosofia?

Rivolgendo lo sguardo alla storia, alcuni autori hanno condannato questo secondo Medioevo per aver drenato la vitalità delle grandi filosofie, il cui lascito ci giungeva fin dai tempi antichi, attraverso lo smercio di logica e linguaggio, nella loro aridità e

scolasticismo. Forse avevano in mente il verdetto emesso da Nietzsche, nel testo che s'intitola *La filosofia nell'epoca tragica dei greci*, sul destino della filosofia greca, che analogamente sarebbe passata, nella tarda antichità, dal salutare realismo all'arida logica dello scetticismo. Altri, però, vedono nei nominalisti del tardo Medioevo la vera incubatrice della scienza e della filosofia moderne, come qualcosa di necessario alla nascita dell'Era Moderna tanto quanto gli splendidi eccessi del Rinascimento.

Potremmo esser tentati di vedere, nel secolo che ci siamo lasciati alle spalle, la rapida transizione da un esuberante rinnovamento in filosofia a un decadimento scolastico. Oppure, potremmo anche congetturare che questa svolta verso una più profonda riflessione sul linguaggio sia necessario preludio a una rinascita.

Lo spettro più inquietante che tormenta i filosofi è, indubbiamente, la terza opzione che ho indicato fra quelle possibili; cioè, che la crisi è stata ed è reale, che non è stata risolta né scongiurata, che è diventata troppo ardua da affrontare per i filosofi e che alla fine ci siamo rassegnati alla sua rimozione, nel senso clinico del termine.

Quest'ultima risposta fu avanzata, forse in modo imbarazzante o in circostanze ancora premature, dagli esistenzialisti. Se i paradossi ci insegnano che non possiamo avere il pieno controllo concettuale o intellettuale del nostro stare al mondo, esattamente come non possiamo avere il pieno controllo della nostra sorte, o del nostro futuro, allora saremo portati a cadere in una falsa coscienza, perché troppo grande è il peso di vivere senza poter trovare da nessuna parte un terreno solido su cui poggiare.

Tuttavia, l'esistenzialismo ha sempre offerto alla nostra scelta due opzioni: o la disperazione esistenziale o l'accettazione ("dire sì"). La mia speranza è che si scelga la seconda opzione. Sono pronto ad ammettere che soluzioni soddisfacenti a problemi locali – logici, semantici o epistemologici – non possono fornirci una guida per capire integralmente noi stessi e il nostro situarci nel mondo. Sono anche pronto ad ammettere di aver preferito, così come forse ha fatto la maggioranza dei filosofi del mio tempo, lavorare su problemi che ammettono una soluzione dandomi a credere che stavo ancora continuando ad affrontare le grandi domande della filosofia, benché ci fosse già la dimostrazione che questo è un ideale che entra in contraddizione con se stesso. Ma vivo nella speranza ... che, se riusciamo a portare alla luce la spaventosa insicurezza che sta al cuore del nostro lavoro intellettuale e se riusciamo a mantenerla nitida davanti ai nostri occhi, almeno i filosofi che ci seguiranno – riescano – e forse potremmo riuscirci anche a noi! – a trovare un modo per convivere con quella nitidezza che ancora ci spaventa.

NOTE

¹ Cfr. [9], [12], [21]. Un'ottima fonte di notizie è costituita da [13], anche se sfortunatamente non l'ho consultata prima di questa occasione in cui viene assegnato il Premio Giulio Preti.

² Il saggio di Husserl riconduceva la crisi in oggetto al Seicento, attribuendola a un atteggiamento alienante nei confronti della natura, per certi aspetti esemplificato nel metodo scientifico di Galileo. Come altri nello stesso periodo, anche Husserl avanzò una proposta costruttiva per uscire dalla crisi. È stato solo con l'opera degli esistenzialisti e dei logici che sono venute alla luce precise impossibilità nell'immagine che ci facciamo di noi stessi.

³ Galison [4] descrive la ricorrente frequenza del termine *Aufbau* nei titoli di pubblicazioni accademiche, in lingua tedesca, nel periodo fra le due guerre mondiali.

⁴ Questo tema è trattato ampiamente nei capp. 3 e 4 di [28]

⁵ Cfr. [20] e la cospicua letteratura relativa a probabilità bayesiana e teoria delle decisioni.

⁶ Cfr. [11] e [22].

⁷ Cfr. [15], [16] e [27].

⁸ Cfr. [25] e [26].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Arnauld, A., Pierre, N., *The Port-Royal logic*. Reprint Services Corp., 1851.
- [2] Coxeter, H. S. M., Gauss as a geometer, *Historia Mathematica*, Vol. 4, 1977, pp. 379-396.
- [3] Cross, C. B., A theorem concerning syntactical treatments of nonidealized belief, *Synthese*, 129, 2001, pp. 335-341.
- [4] Galison, P., Aufbau/Bauhaus. Logical positivism and architectural modernism, *Critical Inquiry*, 16, 1990, pp. 709-752.
- [5] Gauss, C. F., Disquisitiones generales circa superficies curvas [1827], *Werke*, Kaestner, Göttingen 1870, Bd. IV, pp. 219-258.
- [6] Goedel, K., Über formal unentscheidbare sätze der Principia Mathematica und verwandter systeme, I, *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38, 1931, pp. 173-198 (trad. it. di P. Pagli: Sulle proposizioni formalmente indecidibili dei Principia Mathematica e di sistemi affini I, in *Il teorema di Gödel*, a cura di S. G. Shanker, Muzzio, Padova 1991).
- [7] Husserl, E., *The Crisis of the european sciences and transcendental phenomenology*, Northwestern University Press, Evanston 1970 (*La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale*, a cura di W. Biemel, trad. it. di E. Filippini, Il Saggiatore, Milano 1961).
- [8] Mannoury, G., Review of L. E. J. Brouwer. Over de grondslagen der wiskunde, *Wiskundig Tijdschrift*, 4, 1907, pp. 33-35.
- [9] Mari, G., Language and history in the pragmatism of Giulio Preti, *Italian Culture*, 23, 2005, pp. 125-134.
- [10] Nietzsche, F., *Philosophy in the Tragic Age of the Greeks*, trad. M. Cowan, Henry Regner Co., Chicago 1962 (*La filosofia nell'età tragica dei greci*, cura e trad. it. di F. Masini, Newton Compton, Roma).
- [11] Peirce, C. S., Welby-Gregory, V., *Semiotic and significs. The correspondence between C. S. Peirce and Victoria Lady Welby*, a cura di C. S. Hardwick, J. Cook, Indiana University Press, Bloomington e Indianapolis 1977.
- [12] Peruzzi, A., Beyond a division. Giulio Preti and the dispute between analytic and continental philosophy, *Diogenes*, 54, 2007, pp. 47-58.
- [13] Petitot, J., Scarantino, L. M. (a cura di), *Science et philosophie en France et en Italie entre les deux guerres*, Vivarium, Napoli 2001.
- [14] Putnam, H., *Meaning and the Moral Sciences*, Routledge, New York 1978 (*Verità e etica*, note e trad. it. di A. La Porta, Il Saggiatore, Milano 1982).
- [15] Putnam, H., Models and reality. Presidential address to the Association of Symbolic Logic, dicembre 1977, *Journal of Symbolic Logic*, 45, 1980, pp. 464-482.
- [16] Putnam, H., Realism and reason, *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 50, 1977, pp. 483-498.

- [17] Putnam, H., *Realism and reason. Philosophical papers*, Vol. 3, Cambridge University Press, Cambridge MA 1983.
- [18] Putnam, H., Reflexive reflections, *Erkenntnis*, 22, 1985, pp. 143-153.
- [19] Putnam, H., *The Gödel theorem and human nature*, Lezione tenuta al Gödel Centenary, Università di Vienna, 2006.
- [20] Savage, L., *The Foundations of Statistics*, Wiley, New York 1954.
- [21] Scarantino, L. M., Giulio Preti (Pavia 1911 - Djerba 1972). A critical rationalist, *Diogenes*, 51, 2004, pp. 141-147.
- [22] Schmitz, H. W. (a cura di), *Essays on signification. Papers presented on the occasion of the 150th anniversary of the birth of Victoria Lady Welby*, John Benjamins Pub Company, Amsterdam 1990.
- [23] Tarski, A., The concept of truth in the languages of the deductive sciences, Expanded English translation in Tarski 1983, pp. 152-278
- [24] Tarski, A., *Logic, semantics, metamathematics. Papers from 1923 to 1938*, a cura di J. Corcoran, Hackett Publishing Company, Indianapolis 1983.
- [25] Thomason, R., Some limitations to the psychological orientation, in *Semantic Theory*, bozza on line del 22 giugno 1995.
- [26] Thomason, R., A note on syntactical treatments of modality, *Synthese*, 44, 1980, pp. 391-395.
- [27] van Fraassen, B. C., Putnam's paradox. Metaphysical realism revamped and evaded, *Philosophical Perspectives*, 11, 1997, pp. 17-42.
- [28] van Fraassen, B. C., *The empirical stance*, Yale University Press, New Haven 2002.

MOTIVAZIONE PER IL CONFERIMENTO DEL PREMIO

A ETTORE CASARI

Nella prima metà del Novecento la logica ha ricevuto scarsa attenzione in Italia, mentre in Germania, così come in altri paesi europei e negli Stati Uniti, gli studi logici crescevano in ampiezza e profondità. Nel nostro paese, il significato del termine “logica” era quello corrente nell’alveo della tradizione idealistica.

Pochi furono i filosofi e i matematici italiani in grado di comprendere la nuova logica, definita come “simbolica”, “formale” o “matematica”, che aveva progressivamente acquisito una sua identità, costituendosi in *corpus* disciplinare autonomo, grazie soprattutto all’opera pionieristica di Frege, Russell e, successivamente, di Hilbert e della sua scuola; e pochi furono coloro che ne compresero l’importanza per la filosofia e per la scienza. Di questo sparuto gruppo fecero parte Giulio Preti e Ludovico Geymonat. Allievo di Peano, Geymonat considerava la logica soprattutto per il suo contributo alla filosofia della scienza, così come si era configurata nel neopositivismo. Preti scorreva nella logica non solo il formato ideale del linguaggio scientifico ma, sviluppando un’idea basilare della filosofia analitica, la considerava anche strumento primario per l’analisi di qualunque tipo di discorso.

Non è a Geymonat né a Preti che si deve la rinascita degli studi di logica in Italia. Questa rinascita è principalmente merito di un allievo di Preti e Geymonat: Ettore Casari. Oltre ad aver contribuito in misura sostanziale alla diffusione della logica nel nostro paese, Casari ha portato la logica italiana al livello più alto in campo internazionale, unendo a un’ineguagliabile lezione di rigore una nitida riflessione, allo stesso tempo storica e teorica, sui fondamenti della matematica.

Nato a Smarano, in provincia di Trento, nel 1933, Casari si è formato a Pavia, ove si è laureato nel 1955 prima di specializzarsi all’Istituto per la logica matematica e l’indagine sui fondamenti di Münster in Westfalia. Come libero docente, nei primi anni sessanta ha tenuto corsi di Filosofia della scienza e di Logica nelle Università di Pavia e di Milano. Nel 1966 è stato chiamato alla cattedra di Filosofia della scienza a Cagliari e dall’anno successivo ha insegnato presso l’Università di Firenze fino al 1998, anno in cui è passato alla Scuola Normale di Pisa, andando in congedo nel 2006. Professore emerito dell’Università di Firenze, Casari è anche membro di prestigiose accademie nazionali e internazionali.

Una delle caratteristiche di maggior spicco dell’opera di Casari risiede nella feconda integrazione fra pura dimensione teorico-formale, dimensione storica e dimensione propriamente filosofica. Se le sue pagine sulla logica megarico-storica, su Brentano, Bolzano, Husserl, restano contributi fondamentali, Casari è anche riuscito a precisare con grande finezza sistemi di logica comparativa (*Comparative logics*, 1987) e una teoria degli interi e delle parti (*On Husserl’s theory of wholes and parts*, 2000).

Quanto alla dimensione filosofica, a Casari va il merito di aver pubblicato il primo

testo in lingua italiana che fornisse un quadro della riflessione novecentesca sui fondamenti (*Questioni di filosofia della matematica*, 1964) e a questa riflessione ha contribuito poi con numerose ricostruzioni e studi originali, apparsi in italiano, inglese e tedesco.

Accanto a saggi teorici nei quali Casari ha introdotto nuovi concetti (come nel caso dei sistemi di logica su pre-gruppi), di grande pregio sono i suoi testi di carattere manualistico-istituzionale, dai *Lineamenti di logica matematica* (1959) alla *Introduzione alla logica* (1997) fino al recente *La matematica della verità* (2006), dai quali risalta l'importanza che Casari ha sempre attribuito alla presentazione sistematica degli argomenti e alla funzione didattica. Se c'è un'etica nella chiarezza e nel rigore scientifico, essa di generazione in generazione si trasmette *in primis* attraverso l'insegnamento; e gli allievi di Casari possono testimoniare di aver visto quest'etica realizzarsi nel suo magistero.

Per i motivi qui sinteticamente espressi, il comitato scientifico di Pianeta Galileo è stato unanime nell'attribuire a Ettore Casari il Premio Giulio Preti.

UN AUT-AUT INSOSPETTATO FRA IL DEFINIRE E IL DIMOSTRARE ADEGUATAMENTE*

ETTORE CASARI

Scuola Normale Superiore, Pisa

Vorrei innanzi tutto esprimere alla Consigliera regionale Fuscagni e, per suo tramite, all'intero Consiglio Regionale della Toscana così come al Comitato scientifico di Pianeta Galileo, il mio ringraziamento più sincero per l'onore che mi si è voluto fare conferendomi il premio Giulio Preti. A questo proposito vorrei aggiungere che trovo davvero straordinario il fatto che, avviandomi ormai verso la conclusione dei molti decenni trascorsi in compagnia della logica, io mi trovi nuovamente associato a colui che è all'origine di tutta quella frequentazione. E, a riprova del fatto che queste parole non sono dettate dalla circostanza, mi permetto di rileggere quanto ebbi a dire tre anni fa, nella mia lezione di congedo dall'insegnamento presso la Scuola Normale Superiore di Pisa.

Ero un giovane aspirante grecista che, oltre ai propri corsi, seguiva, sempre più affascinato, quello di Filosofia Morale tenuto dal professore 'incaricato' Giulio Preti. Un giorno, dev'essere stato nella primavera del 1952, nel bel mezzo di una lezione sui *Principia Ethica* di Moore, il 'Giulietto', come lo chiamavamo noi, scrisse sulla lavagna una parentesi aperta, una E maiuscola capovolta, una x , una parentesi chiusa e dei puntini in mezzo ai quali c'era ancora la x e, dicendo che oggi giorno il fatto che esistesse un oggetto con una certa proprietà lo si scriveva così, cambiò completamente il corso della mia vita.

Richiesto del come ci si potesse informare su quei curiosi modi di scrivere, il Giulietto mi suggerì la lettura delle *Nove lezioni di logica simbolica* di Bocheński da cui appresi i primi rudimenti.

Poco più avanti aggiungevo:

Preti conosceva l'*Ancient Formal Logic* di Bocheński uscita l'anno prima, nella quale veniva succintamente presentata la nuova ricostruzione della logica megarico-stoica che stava elaborando Benson Mates e intercedette presso il grecista Barigazzi affinché mi consentisse di laurearmi con una tesi sui frammenti di quella logica, permettendomi così di rendere compatibili il mio nascente interesse e la mia posizione di borsista presso il Collegio Borromeo di Pavia.

Venendo ora al tema di questa *lectio*, mi riprometto di illustrare brevemente la mes-

* *Lectio magistralis* tenuta a Firenze il 21 Novembre 2008, nella Sala Gonfalone del Consiglio regionale della Toscana, in occasione della consegna del Premio Giulio Preti 2009.

sa in luce, nel secolo scorso, di una strana e del tutto insospettata limitazione reciproca fra le nostre capacità di *definire* e le nostre capacità di *dimostrare*; scoperta questa che mi sembra di considerevole rilevanza sia per la filosofia sia per la matematica, ma di cui mi pare non si sia ancora preso davvero nota, al di fuori della cerchia dei logici, di quelle persone cioè che si occupano di una disciplina che non pochi filosofi considerano troppo difficile e troppo matematica, mentre non pochi matematici considerano troppo facile e troppo filosofica.

Prendendo le mosse dalle premesse di questa scoperta comincerei con il ricordare che la prima testimonianza della consapevolezza dell'esistenza di una radicale distinzione fra *concetto* e *proposizione* la si incontra nel *Sofista* di Platone. In quel dialogo questa differenza è discussa al livello linguistico e viene presentata come contrapposizione fra quelle parti del linguaggio – i *nomi* e i *verbi* – che *indicano*, *significano*, *nominano* o *denotano* qualcosa (e precisamente i nomi cose o agenti e i verbi azioni), e quelle parti del linguaggio – gli *enunciati* – che, nel caso più semplice, risultano da una opportuna composizione dei primi due e che, a differenza di quelli, non si limitano a nominare o indicare ma, come dice Platone, *circoscrivono*, *determinano* qualcosa e che, a differenza dei primi, possono essere veri o falsi, essere cioè, come anche si dice, delle *verità* o delle *falsità*.

Alla distinzione fra concetti e proposizioni (in particolare alle proposizioni vere) si agganciano due altre fondamentali distinzioni. La prima è quella *logica* fra il *definire* e il *dimostrare* i concetti si definiscono e le verità si dimostrano. La seconda è quella *epistemologica* fra l'*intelligere* e il *conoscere*: i concetti si intelligono, si comprendono, le proposizioni vere si conoscono.

È precisamente sulla base di queste articolazioni concettuali che fra il 450 e il 300 a.C. viene creato in Grecia quel modello ideale di organizzazione razionale di una teoria che, sotto il nome di “metodo assiomatico”, rimarrà a lungo paradigmatico nella matematica e non solo in essa.

I tratti essenziali di tale modello sono, com'è noto, i seguenti:

- al problema dell'intelligibilità dei concetti si fa fronte accettandola, sulla base dell'intuizione, per alcuni, possibilmente pochi, fra essi – i *concetti primitivi* – e si affida alla procedura logica della definizione il compito di *trasmettere* tale intelligibilità ai rimanenti, ai *concetti derivati*;
- a quello della conoscenza delle verità si fa invece fronte accettando sulla base della loro evidenza intuitiva alcune, possibilmente poche, fra esse – gli *assiomi* – e si affida alla procedura logica della dimostrazione il compito di *trasmettere* tale evidenza alle rimanenti, ai *teoremi*.

Orbene, nel corso dell'Ottocento questo ideale subisce un profondo ripensamento sia per quanto riguarda la sua valenza epistemologica, sia per quanto riguarda la sua dimensione logica. Sono moltissimi i fatti che concorrono a determinare tale ripensamento ma fra essi due vanno qui almeno accennati.

Il primo è notoriamente costituito dalla scoperta e dal graduale consolidamento delle geometrie non-euclidee. A parte ogni altro aspetto, questo fenomeno mette in discussione proprio la valenza epistemologica di quel modello. Il riconoscimento della possibilità di letture diverse dell'esperienza spaziale, infatti, scuote la fiducia nell'evidenza intuitiva, quella che assicurava sia l'intelligibilità dei concetti primitivi sia la verità degli assiomi e solleva di riflesso anche la domanda di che cosa mai trasmettano davvero le definizioni e le dimostrazioni.

Il secondo va ravvisato nell'emergere di quella che più tardi verrà chiamata l' "algebra astratta". Un tratto logico caratteristico di questa nuova branca della matematica può individuarsi in un ampliamento dell'idea e dell'uso delle definizioni. Queste non vengono più usate soltanto per definire concetti, per così dire di un primo livello, concetti cioè che esprimono o proprietà degli enti di cui si sta parlando o relazioni fra essi o operazioni su di essi – cos'è un quadrato; cos'è un cerchio; cos'è un numero primo; cos'è un numero trascendente; quando sono perpendicolari due rette; cos'è la radice quadrata di un numero; ecc. – ma per definire concetti in qualche modo di un più alto livello, concetti cioè che determinano *sistemi* di enti. Come primo esempio esplicito in tal senso viene solitamente ricordata la definizione di gruppo data da Arthur Cayley nel 1854 ma si tratta di fatto solo di un riferimento di comodo, dato che tale esempio è preceduto e accompagnato da un gran numero di altri, tutti più o meno raccordabili all'idea di fondo del definire un sistema di enti, dello statuire cioè delle condizioni cui non un certo ente, ma un certo sistema di enti, deve sottostare per poter rientrare sotto un certo concetto.

Uno degli aspetti fondamentali e rivoluzionari di questo nuovo modo di procedere è la capacità che così si ottiene di trattare unitariamente sistemi di enti assolutamente diversi dal punto di vista ontologico – per esempio, permutazioni di un insieme, trasformazioni di uno spazio, somme o prodotti di numeri, ecc. – esaltare cioè quell'aspetto che una volta fece dire a Poincaré che «la matematica è l'arte di dare lo stesso nome a cose diverse».

A un certo punto, nell'ultimo quarto dell'Ottocento, e non a caso da parte di uno che proprio alla maturazione dell'algebra in questo nuovo senso aveva dato e stava dando alcuni fondamentali contributi – il tedesco Richard Dedekind – questo nuovo modo di pensare viene indirizzato verso il più antico e concreto sistema di enti matematici: quello dei numeri naturali, nella convinzione che invece di cercare, forse vanamente, una risposta convincente alla plurimillenaria domanda: cos'è *un numero naturale*? Si può sensatamente cercare di dare una risposta precisa alla domanda: cos'è *un sistema di numeri naturali*?

È ben noto che invece a una risposta all'antica domanda stava proprio in quel tempo lavorando anche un altro matematico tedesco, Gottlob Frege. Questi, collocandosi al termine del cosiddetto "processo di aritmetizzazione dell'analisi", un momento essenziale del quale era consistito nella definizione, a partire dal concetto di numero naturale, delle sue varie estensioni (numeri interi, razionali, reali, complessi), compie

due passi fondamentali. In primo luogo, esplicita la logica che sovrintendeva a quel processo di aritmetizzazione; in secondo luogo tenta di eliminare l'ultimo residuo non logico di quel processo – i numeri naturali, appunto – fornendo nei termini della logica così individuata una definizione del concetto di numero naturale. Frege tenta cioè, come anche si disse, di “logicizzare l'aritmetica”. Com'è pure altrettanto noto, questo tentativo fu ripreso nei primi decenni del secolo scorso da Bertrand Russell che cercò di purificarlo dalle contraddizioni che egli stesso aveva rilevato nel sistema logico fregeano. Questo e quanto ne seguì non è però rilevante per il nostro tema.

Tornando quindi a Dedekind, collocandosi anch'egli al termine del processo di aritmetizzazione dell'analisi, di cui era anzi stato uno dei grandi protagonisti, affronta nella nuova ottica il problema dei numeri naturali e nel 1888 in un celebre opuscolo su *Cosa sono e a cosa servono i numeri* presenta una definizione del concetto di sistema di numeri naturali.

Tre anni dopo il nostro Giuseppe Peano, in un non meno celebre opuscolo in latino su *I principi dell'aritmetica esposti secondo un nuovo metodo*, giunge, attraverso una sistematizzazione assiomatica divenuta standard, alla determinazione di un concetto di sistema di numeri naturali non molto dissimile da quello di Dedekind, tanto è vero che in una memoria di poco successiva, egli, dopo aver osservato che

Fra quanto precede, e quanto dice il Dedekind, vi ha una contraddizione apparente, che conviene subito rilevare. Qui non si definisce il numero, ma se ne enunciano le proprietà fondamentali. Invece il Dedekind definisce il numero, e precisamente chiama numero ciò che soddisfa alle condizioni predette», aggiunge: «Evidentemente le due cose coincidono.

Due cose meritano di essere sottolineate.

La prima è che a Dedekind e a Peano era anche comune la convinzione che le loro definizioni *caratterizzassero* il sistema dei numeri naturali, ossia che pur nella loro astrattezza, che comportava inevitabilmente la molteplicità dei sistemi di enti che sottostavano ad esse, le loro definizioni fissassero univocamente la *struttura* del sistema, nel senso che tutti questi sistemi, a prescindere dalla loro natura, fossero *isomorfi*, ossia strutturalmente indiscernibili.

La seconda è che, malgrado la convinzione di Peano, le due proposte non erano affatto la stessa cosa: la *strumentazione concettuale* usata nelle due definizioni era profondamente diversa. In quella di Dedekind si faceva esclusivamente uso di concetti che oggi chiamiamo “*insiemistici*”: sistemi di enti, operazioni su questi enti, proprietà di questi enti e di queste operazioni; in quella di Peano erano invece coinvolti, come fu ben presto esplicitato, anche *altri due*, ben diversi, concetti: quello di *linguaggio formale* e quello di *soddisfacimento*, da parte di una struttura insiemistica, di espressioni di un linguaggio di questo tipo. Il concetto di sistema di numeri naturali veniva così a *dipendere* da questi due nuovi concetti e sarebbe quindi potenzialmente mutato al variare di essi.

Ci volle però quasi mezzo secolo perché ci si rendesse conto dell'importanza e delle implicazioni di questa dipendenza e in particolare della dipendenza dalla scelta del linguaggio. Decisiva fu a questo riguardo la distinzione maturata negli anni Venti fra linguaggi cosiddetti 'elementari' o 'del primo ordine' e linguaggi di 'ordine superiore'. Per i non addetti ai lavori, mi permetto di ricordare che 'elementari' sono detti quei linguaggi nei quali si parla di certi oggetti, per esempio degli uomini o dei numeri, di certe loro proprietà, o relazioni fra essi, o operazioni su di essi, facendo anche tranquillamente riferimento alla totalità di questi oggetti, mai però alle totalità delle loro possibili proprietà o delle loro possibili relazioni o delle possibili operazioni su di essi. Il termine "elementare", però, non inganni: la *teoria degli insiemi*, nella quale, com'è noto, è possibile ricostruire la massima parte delle teorie matematiche correnti, è formulata in un linguaggio elementare.

Il primo ad accorgersi delle conseguenze della dipendenza del concetto di sistema di numeri naturali dalla scelta del linguaggio fu il norvegese Thoralf Skolem che attraverso vari passaggi giunse nel 1934 alla conclusione ben illustrata nel titolo della memoria in cui la presentò: *Sulla noncaratterizzabilità della serie numerica mediante un numero finito o numerabile di proposizioni con solo variabili numeriche* (cioè, secondo la nostra terminologia, con proposizioni elementari). Questo risultato non attrasse nell'immediato un grande interesse, che maturò invece soltanto a partire dagli anni Cinquanta anche in conseguenza del fatto segnalato nel 1950 da Leon Henkin che quest'impossibilità di definire elementarmente il sistema dei numeri naturali (e non solo quello) è già una conseguenza quasi immediata del cosiddetto "Teorema di compattezza della logica elementare", dimostrato alla fine degli anni Venti dall'austriaco Kurt Gödel e generalizzato qualche anno dopo dal russo Anatolji Malcev.

Dunque il primo fatto accertato è questo: non esiste la possibilità di *definire elementarmente* il sistema dei numeri naturali, ossia, non esiste alcun insieme di proposizioni elementari che siano soddisfatte soltanto da sistemi di enti fra loro strutturalmente indiscernibili e corrispondenti a quelli che siamo da tempo abituati a considerare i numeri naturali: 1, 2, 3, 4, ecc.; ogni insieme di proposizioni elementari, cioè che sia soddisfatto dal sistema dei familiari 1, 2, 3, 4, ecc. è soddisfatto anche da sistemi di enti strutturalmente assai diversi da questo.

Detto un po' coloritamente: quando parliamo dei numeri naturali al livello elementare non sappiamo bene di che cosa stiamo parlando.

Ma, si dirà, rielaborando il lavoro di Dedekind si è pur dimostrata la *categoricità* degli assiomi di Peano, il fatto cioè che essi hanno appunto, a meno di isomorfismi, un solo modello, tanto è vero che una corretta dimostrazione di questo fatto si trova anche spesso esposta nei buoni manuali di matematica. Il fatto importante è però che questa dimostrazione fa riferimento a un linguaggio non più elementare, ma del 'secondo ordine'. Apparentemente, quindi, niente di drammatico: per essere sicuro che, volendo parlare del sistema dei numeri naturali in modo da sapere di che cosa sto parlando, non posso limitarmi a parlarne al livello elementare, ma devo spostarmi su un livello supe-

riore; anzi, come si è anche visto successivamente, non è nemmeno necessario spostarsi proprio sul secondo ordine, basta qualche opportuno potenziamento intermedio del livello elementare.

E quindi dove sta il problema? Lo si scopre quando alle domande circa la *definibilità* aggiungiamo quelle circa la *dimostrabilità*, perché qui i rapporti di forza si invertono: all'insufficienza espressiva del livello elementare fa da contrappeso la sua potenza dimostrativa, mentre alla potenza espressiva dei livelli sufficienti per una caratterizzazione soddisfacente dei numeri naturali si contrappone la loro insufficienza dimostrativa.

Questi due dati di fatto circa la dimostrabilità trovano le loro radici in due fondamentali risultati ottenuti alla fine degli anni Venti da Gödel.

Dal primo di questi risultati, noto come "Teorema di completezza della logica elementare", ricaviamo in particolare che, data una qualsiasi sistemazione assiomatica elementare della teoria dei numeri naturali, sappiamo con certezza che potremo dimostrare ogni proposizione elementare che sia vera in tutti i sistemi di enti che soddisfano i nostri assiomi; d'altra parte, come si è detto, sappiamo con non minore certezza che a questo livello non stiamo veramente parlando soltanto dei sistemi di enti che si comportano come quei numeri che ci si sono da sempre familiari, ma anche di altri, addirittura di un'infinità più che numerabile di altri sistemi di cose, tutti strutturalmente diversi fra loro.

Dal secondo di quei risultati, il celeberrimo "Teorema di Gödel" per antonomasia, ricaviamo invece che uscendo dal livello elementare disponiamo sì, come si è detto, di sistemi assiomatici – per esempio appunto quello di Peano – che fissano univocamente la struttura del sistema dei numeri naturali così come suggeritaci dalla nostra intuizione, ma che tuttavia ci sono sempre proposizioni che in tale struttura sono vere ma che non si possono dimostrare.

Riassumendo (un po' coloritamente): se ho delle fondate ragioni per ritenere di essere riuscito a fissare in maniera univoca la struttura del sistema dei numeri naturali, se cioè so che sto veramente parlando, a meno di isomorfismi, dei miei cari numeri naturali, so con assoluta certezza che ci saranno sempre delle verità che li concernono ma che io non potrò mai dimostrare; se invece ho la certezza di poter dimostrare tutte le verità che vigono per gli enti di cui sto parlando, so con altrettanta certezza che sto sempre anche parlando di cose che sono sì in corrispondenza biunivoca con i numeri naturali, ma hanno una struttura assai diversa.

Questa importante e del tutto inaspettata acquisizione intorno alle nostre capacità di dominare la più semplice delle infinità con cui da sempre si sono cimentate la riflessione filosofica e quella matematica non sembra essere ancora diventata patrimonio comune di epistemologi e matematici. Ancor oggi, per esempio, non è difficile incontrare in testi matematici l'idea che la sistemazione assiomatica di Peano costituisca la risposta conclusiva alla plurimillennaria questione: *cosa sono i numeri naturali?* Come ho cercato di dire, questo poteva considerarsi vero nei primi decenni del secolo scorso; oggi non lo si può proprio più fare.

Naturalmente però questa 'demolizione di una credenza', questa conclusione per

tanti versi negativa si è trasformata, com'è del resto sovente accaduto nella storia del pensiero e quasi regolarmente in quella del pensiero matematico – a partire dalla scoperta pitagorica dell'incommensurabilità del lato e della diagonale del quadrato – in una apertura di nuovi orizzonti e terreni di indagine.

Riformuliamo infatti la cosa in questo modo: già con Dedekind e Peano avevamo imparato che l'idea di 'sistema dei numeri naturali', sottoposta ad analisi, risultava essere non un concetto 'concreto', ma solo uno 'semiconcreto', identificante cioè i propri elementi a meno di isomorfismi; ora essa ci è diventato un concetto 'astratto', non dissimile, in linea di principio, da concetti come quelli di gruppo o di anello.

Sorge allora in modo naturale la domanda: va bene, ma come sono fatti questi altri sistemi di enti di cui parliamo, per così dire, inconsapevolmente quando ragioniamo elementarmente sui numeri naturali?

Ebbene, lo studio di questi sistemi, di questi cosiddetti 'modelli nonstandard dell'aritmetica' è divenuta una branca significativa della ricerca logico-matematica contemporanea. Tanto per citare un esempio recente: nel 2006 è uscito per i tipi della Oxford un volume di ben 328 pagine dedicato alla *Struttura dei modelli nonstandard dell'aritmetica*.

Vi ringrazio dell'attenzione.

The background features a complex, abstract design. It consists of numerous thin, light blue lines that form a dense, circular web of overlapping loops and spirals. Interspersed among these lines are several semi-transparent grey circles of varying sizes, some of which are positioned near the center and others further out, creating a sense of depth and movement. The overall effect is that of a dynamic, interconnected network or a stylized sunburst.

**BIBLIOGRAFIA
E SITOGRAFIA
PER AREE TEMATICHE**

LOGICA E INFORMATICA

1. Bagni, G. T., Gorla, D., Labella, A., *Introduzione alla logica e al linguaggio matematico*, McGraw-Hill Companies, Milano 2010.
2. Battaglia, P., *Intelligenza artificiale: dagli automi ai robot "intelligenti"*, prefazione di M. Hack, UTET, Torino 2008.
3. Bellissima, F., Pagli, P., *Consequentia mirabilis: una regola logica tra matematica e filosofia*, Olschki, Firenze 1996.
4. Bencivenga, E., *Il primo libro di logica*, Bollati Boringhieri, Torino 1985.
5. Bishop, P., *L'informatica*, trad. it. di G. Seniga e E. Castagnoli, Jackson Libri, Milano 1995.
6. Cantini, A., Minari, P. L., *Introduzione alla logica. Linguaggio, significato, argomentazione*, Mondadori, Milano 2009.
7. Casari, E., *La logica del Novecento*, Loescher, Torino 1981.
8. Casari, E., *Introduzione alla logica*, UTET, Torino 1997.
9. Clark, M., *I paradossi dalla A alla Z*, trad. it. di A. Pedefferri, Cortina, Milano 2004.
10. Copi I. M., Cohen C., *Introduzione alla logica*, a cura di G. Lolli, trad. it. di R. Lupacchini, Il Mulino, Bologna 1999.
11. Dalla Chiara, M. L., Giuntini, R., Paoli, F., *Sperimentare la logica*, Liguori, Napoli 2004.
12. Dani, F. (a cura di), *La storia del computer: dalle origini del calcolo all'intelligenza artificiale*, contributi di E. Pentiraro e C. Protetti, Sarin, Pomezia 1990.
13. Davis, M., *Computabilità e insolubilità: introduzione alla teoria della computabilità e alla teoria delle funzioni*, a cura di M. Bianca, ABETE, Roma 1975.
14. Davis M., *Il calcolatore universale. Da Leibniz a Turing*, trad. it. di G. Rigamonti, Adelphi, Milano 2003.
15. Dreyfus, H. L., *Che cosa non possono fare i computer: i limiti dell'intelligenza artificiale*, Armando Editore, Roma 1988.
16. Harel, D., *Computer a responsabilità limitata. Dove le macchine non riescono ad arrivare*, trad. it. di L. Civalleri, Einaudi, Torino 2002.
17. Hofstadter, D. R., *Gödel, Escher, Bach. Un'eterna ghirlanda brillante. Una fuga metaforica su menti e macchine nello spirito di Lewis Carroll*, a cura di G. Trautner, Adelphi, Milano 1990.
18. Guerrierio, G., *Kurt Gödel: paradossi logici e verità matematica*, Le scienze. I grandi della scienza, 19, 2001.
19. Lemmon, E. J., *Elementi di logica. Con gli esercizi risolti*, trad. it. di M. Prampolini, Laterza, Roma-Bari 2008.

20. Lolli, G., *Lezioni di logica matematica*, Bollati Boringhieri, Torino 1978.
21. Lolli, G., *La macchina e le dimostrazioni: matematica, logica e informatica*, Il Mulino, Bologna 1987.
22. Lolli, G., *Introduzione alla logica formale*, Il Mulino, Bologna 1991.
23. Lolli, G., *Da Euclide a Gödel*, Il Mulino, Bologna 2004.
24. Lolli, G., *QED. Fenomenologia della dimostrazione*, Bollati Boringhieri, Torino 2005.
25. Longo, G. O. (a cura di), *Intelligenza artificiale*, Le Scienze, Quaderni, 25, 1985.
26. Magari, R. (a cura di), *Numeri, caso e sequenze*, Le Scienze, Quaderni, 45, 1988.
27. Mangione, C. (a cura di), *Logica*, Le Scienze, Quaderni, 60, 1991.
28. Mangione, C., Bozzi, S., *Storia della logica: da Boole ai nostri giorni*, Garzanti, Milano 1993.
29. Maracchia, S., *Breve storia della logica antica*, Euroma La Goliardica, Roma 1987.
30. McCorduck, P., *Storia dell'intelligenza artificiale: gli uomini, le idee, le prospettive*, Muzzio Editore, Padova 1987.
31. Mondadori, M., D'Agostino, M., *Logica*, Mondadori, Milano 1997.
32. Odifreddi, P., *Divertimento geometrico. Le origini geometriche della logica da Euclide a Hilbert*, Bollati Boringhieri, Torino 2003.
33. Odifreddi, P., *Il diavolo in cattedra. La logica da Aristotele a Gödel*, Einaudi, Torino 2006.
34. Odifreddi, P., *Le menzogne di Ulisse. L'avventura della logica da Parmenide ad Amartya Sen*, TEA, Milano 2006.
35. Palladino, D., Palladino, C., *Breve dizionario di logica*, Carocci, Roma 2005.
36. Peruzzi, A., *Definizione*, La Nuova Italia, Firenze 1997.
37. Smullyan, R., *Qual è il titolo di questo libro?*, trad. it. di M. Evangelisti, Zanichelli, Bologna 1981.
38. Smullyan, R., *Donna o tigre?... e altri indovinelli logici, compreso un racconto matematico sul teorema di Gödel*, trad. it. di S. Evangelisti, Zanichelli, Bologna 1985.
39. Smullyan, R., *Satana, Cantor e l'infinito*, trad. it. di P. Casalegno, Bompiani, Milano 1994.
40. Somenzi, V., Cordeschi, R., *La filosofia degli automi. Origini dell'intelligenza artificiale*, Bollati Boringhieri, Torino 1994.
41. Turing, A. M., *Intelligenza meccanica*, a cura di G. Lolli, trad. it. di G. Lolli e N. Dazzi, Bollati Boringhieri, Torino 1994.
42. Varzi, A. C., Nolt, J., Rohatyn, D., *Logica*, McGraw-Hill Companies, Milano 2007.

Siti:

<http://dinamico2.unibg.it/silfs/>

(Società Italiana di Logica e Filosofia della Scienza)

<http://www.ailalogica.it/>

(Associazione Italiana di Logica e sue Applicazioni)

<http://it.wikipedia.org/wiki/Logica>

(Wikipedia. Voce: Logica)

<http://www.dif.unige.it/epi/did/abc.htm>

(Manuale di pronto soccorso, scritto da studenti per studenti che non hanno studiato logica)

<http://www.aicanet.it/>

(Associazione Italiana per l'Informatica e il Calcolo Automatico)

<http://www.aisi.it/>

(Associazione Italiana Scuola Informatica)

<http://sites.google.com/a/aixia.it/www/>

(Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale, AI*IA)

<http://ia.di.uniba.it/>

(Rivista trimestrale dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale)

http://it.wikipedia.org/wiki/Intelligenza_artificiale

(Wikipedia. Voce: Intelligenza artificiale)

Presso gli atenei toscani:

<http://www.philos.unifi.it/CMpro-v-p-96.html>

<http://www.flis.unipi.it/>

<http://www.sns.it/it/lettere/filosofia/storialogica/>

www.lett.unisi.it/

<http://www.di.unipi.it/>

MATEMATICA

1. Abbott, E. A., *Flatlandia* [1966], trad. it. di C. D'Amico, Bollati Boringhieri, Torino 2008.
2. Alder, K., *La misura di tutte le cose. L'avventurosa storia dell'invenzione del sistema metrico decimale*, trad. it. di M. Vallone, Rizzoli, Milano 2002.
3. Ambrosetti, A., *Il fascino della matematica. Un viaggio attraverso i teoremi*, Bollati Boringhieri, Torino 2009.
4. Barrow, J. D., *Perché il mondo è matematico?* [1992], trad. it. di B. Tortorella, Laterza, Roma-Bari 2009.
5. Barrow, J. D., *Da zero a infinito. La grande storia del nulla* [2001], trad. it. di T. Cannello, Mondadori, Milano 2005.
6. Bartocci, C. (a cura di), *Racconti matematici*, Einaudi, Torino 2007.
7. Berlinski, D., *I numeri e le cose. Un viaggio nel calcolo infinitesimale*, trad. it. di E. Diana, Rizzoli, Milano 2003.
8. Castelnuovo, E., *Insegnare matematica. Lectio magistralis (Roma, 15 marzo 2007)*, a cura di E. Peres e S. Serafini, Iacobelli, Pavona-Albano Laziale 2008.
9. Cresci, L., *I numeri celebri*, Bollati Boringhieri, Torino 2000.
10. Courant, R., Robbins, H., *Che cos'è la matematica?* [1950], nuova ed. a cura di I. Stewart, trad. it. di L. Ragusa Gilli, Bollati Boringhieri, Torino 2000.
11. De Finetti, B., *Teoria delle probabilità. Sintesi introduttiva con appendice critica*, Giuffrè, Milano 2005.
12. Du Sautoy, M., *Il disordine perfetto. L'avventura di un matematico nei segreti della simmetria*, trad. it. di D. Didero, M. Scaglione, R. Zuppet, Rizzoli, Milano 2007.
13. Devlin, K., *Dove va la matematica* [1994], trad. it. di A. Giannetti e A. Manassero, Bollati Boringhieri, Torino 2001.
14. Devlin, K., *La lettera di Pascal. Storia dell'equazione che ha fondato la teoria della probabilità*, trad. it. di D. Didero, Rizzoli, Milano 2008.
15. Devlin, K., Lorden, G., *Il matematico e il detective. Come i numeri possono risolvere un caso poliziesco*, trad. it. di E. Faravelli, Longanesi, Milano 2008.
16. Doxiadis, A., *Zio Petros e la congettura di Goldbach*, trad. it. di E. Capriolo, Bompiani, Milano 2001.
17. Emmer, M. (a cura di), *Matematica e cultura. Atti del Convegno di Venezia 1998*, Centro Elusi, Università Bocconi, Springer, Milano 1999.
18. Enzensberger, H. M., *Il mago dei numeri*, trad. it. di E. Ganni, Einaudi, Torino 1997.

19. Ferragina, P., Luccio, F., *Crittografia. Principi, algoritmi, applicazioni*, Bollati Boringhieri, Torino 2001.
20. Giusti, E., *Ipotesi sulla natura degli oggetti matematici*, Bollati Boringhieri, Torino 1999.
21. Giusti, E., *La matematica in cucina*, Bollati Boringhieri, Torino 2004.
22. Guedj, D., *Il teorema del pappagallo*, trad. it. di L. Perria, TEA, Milano 2003.
23. Guedj, D., *Il metro del mondo*, trad. it. di M. Raggini, TEA, Milano 2007.
24. Haddon, M., *Lo strano caso del cane ucciso a mezzanotte*, trad. it. di P. Novarese, Einaudi, Torino 2003.
25. Hardy, G. H., *Apologia di un matematico* [1969], trad. it. di L. Saraval, Garzanti, Milano 2002.
26. Hersh, R., *Cos'è davvero la matematica*, trad. it. di R. Giomi, Baldini Castoldi Dalai, Milano 2003.
27. Hesse, M. B., *Modelli e analogie nella scienza*, introduzione e trad. it. di C. Bicchieri, Feltrinelli, Milano 1980.
28. Hilbert, D., *Fondamenti della geometria. Con i supplementi di Paul Bernays* [1970], trad. it. di P. Canetta, Franco Angeli, Milano 2009.
29. Hodges, A., *Il curioso dei numeri. Stranezze matematiche, controversie scientifiche, divagazioni da 1 a 9*, trad. it. di T. Cannello, Mondadori, Milano 2008.
30. Hoffman, P., *L'uomo che amava solo i numeri*, trad. it. di M. Parizzi, Mondadori, Milano 2000.
31. Kanigel, R., *L'uomo che vide l'infinito. La vita breve di Srinivasa Ramanujan, genio della matematica*, trad. it. di M. Mendolicchio, Rizzoli, Milano 2003.
32. Israel, G., *La visione matematica della realtà*, Laterza, Roma-Bari 2003.
33. Leonesi, S., Toffalori, C., *Numeri e crittografia*, Springer Verlag, Milano 2006.
34. Leonesi, S., Toffalori, C., *Matematica, miracoli e paradossi. Storie di cardinali da Cantor a Gödel*, Mondadori, Milano 2007.
35. Lolli, G., *Il riso di Talete. Matematica e umorismo*, Bollati Boringhieri, Torino 1998.
36. Luccio, F., Pagli, L., *Algoritmi, divinità e gente comune*, ETS, Pisa 1999.
37. Odifreddi, P., *La repubblica dei numeri*, Cortina, Milano 2002.
38. Singh, S., *Codici & segreti. La storia affascinante dei messaggi cifrati dall'antico Egitto a Internet*, a cura di S. Galli, Rizzoli, Milano 1999.
39. Singh, S., *L'ultimo teorema di Fermat*, trad. it. di C. Capararo e B. Lotti, Rizzoli, Milano 1999.
40. Steinhaus, H., *Matematica per istantanee*, trad. it. di G. Menegazzo, Zanichelli, Bologna 1994.

41. Ulam, S. M., *Avventure di un matematico*, trad. it. di T. R. Sportelli, Sellerio Editore, Palermo 1995.

Siti:

www.math.it/

(Didattica e divulgazione della matematica)

<http://umi.dm.unibo.it/>

(Unione Matematica Italiana)

<http://www.mathesisnazionale.it/>

(Società Italiana di Scienze Matematiche e Fisiche, con annali del *Periodico di Matematiche*)

<http://areeweb.polito.it/didattica/polymath/>

(Progetto Polymath - Politecnico di Torino e Istituto Superiore Mario Boella)

<http://web.math.unifi.it/archimede/archimede/>

(Il Giardino di Archimede – Museo per la matematica)

www.matematicamente.it

(Risorse per studenti, insegnanti e appassionati. Storia della matematica, recensioni di libri, bibliografia, giochi, assistenza online)

<http://www.siscas.net/matabel/>

(Progetto “m@t.abel” per la formazione dei docenti di matematica italiani)

Presso gli atenei toscani:

<http://www.math.unifi.it>

<http://www.dm.unipi.it>

<http://www.mat.unisi.it>

FISICA, ASTRONOMIA E COSMOLOGIA

1. Barrow, J., *Le origini dell'universo* [1996], trad. it. di A. Serafini, Rizzoli, Milano 2001.
2. Bellone, E., *La stella nuova. L'evoluzione e il caso Galilei*, Einaudi, Torino 2003.
3. Bellone, E., *Galilei e l'abisso. Un racconto*, Codice, Torino 2009.
4. Bernardini, F., *Prima lezione di fisica*, Laterza, Roma-Bari, 2010.
5. Bohr, N., *I quanti e la vita*, trad. it. di P. Gulmanelli, Bollati Boringhieri, Torino 1969.
6. Brahic, A., *Figli del tempo e delle stelle. Storia delle nostre origini*, trad. it. di G. Preti, Bollati Boringhieri, Torino 2001.
7. Braccesi, A., *Eplorando l'universo. Dalle conquiste degli antichi greci all'astronomia dei nostri giorni*, Zanichelli, Bologna 1988.
8. Braccesi, A., *Dalle stelle all'universo. Lezioni di astrofisica*, Zanichelli, Bologna 2000.
9. Brown, J., *Menti, macchine e multiverso. Alla ricerca del computer quantistico*, trad. it. di S. Frediani, Einaudi, Torino 2003.
10. Bruce, C., *I conigli di Schrödinger. Fisica quantistica e universi paralleli*, trad. it. di L. Guzzardi, Cortina, Milano 2006.
11. Castellani, E. (a cura di), *Simmetria e realtà*, Le Scienze, Quaderni, 2001.
12. Castellani, E., *Simmetria e natura: dalle armonie delle figure alle invarianze delle leggi*, Laterza, Roma-Bari 2000.
13. Dalla Chiara, M. L., Toraldo Di Francia, G., *Le teorie fisiche: un'analisi formale*, Bollati Boringhieri, Torino 1981.
14. Damour, T., *Albert Einstein. La rivoluzione della fisica contemporanea*, trad. it. di A. Fabbri, Einaudi, Torino 2009.
15. Feynman, R. P., *Sei pezzi facili*, trad. it. di L. Servirei, Adelphi, Milano 2000.
16. Frova, A., *Se l'uomo avesse le ali. Segreti e misteri della fisica*, Rizzoli, Milano 2007.
17. Frova, A., *Il cosmo e il buondio. Dialogo su astronomia, evoluzione e mito*, Rizzoli, Milano 2009.
18. Gasperini, M., *L'universo prima del Big Bang. Cosmologia e teoria delle stringhe*, Muzzio Editore, Padova 2002.
19. Gilmore, R., *Alice nel paese dei quanti. Le avventure della fisica*, trad. it. di P. D. Napoletani, Cortina, Milano 1996.
20. Greene, B., *L'universo elegante. Superstringhe, dimensioni nascoste e la ricerca della teoria ultima* [2001], trad. it. di L. Civalleri e C. Bartocci, Einaudi, Torino 2005.

21. Hack, M., *Alla scoperta del sistema solare*, Mondadori, Milano 2003.
22. Hack, M., *Vi racconto l'astronomia*, Laterza, Roma-Bari 2007.
23. Hack, M., *Che cos'è l'universo?* (con CD Audio), Luca Sossella Editore, Bologna 2008.
24. Hack, M., *Dove nascono le stelle*, Sperling & Kupfer, Milano 2008.
25. Hawking, S., *Dal Big Bang ai buchi neri. Breve storia del tempo* [1988], trad. it. di L. Sosio, Rizzoli, Milano 2007.
26. Hawking, S., *L'universo in un guscio di noce* [2002], trad. it. di P. Siena, Mondadori, Milano 2008.
27. Hawking, S., *La teoria del tutto. Origine e destino dell'universo*, trad. it. di D. Didero, Rizzoli, Milano 2003.
28. Hawking, S., *Quattro lezioni sullo spazio e sul tempo*, trad. it. di L. Sosio, Rizzoli, Milano 2009.
29. Heisenberg, W., *Fisica e filosofia* [1994], introduzione di F. S. C. Northrop, trad. it. di G. Gnoli, Il Saggiatore, Milano 2008.
30. Isaacson, W., *Einstein. La sua vita, il suo universo*, trad. it. di T. Cannello, Mondadori, Milano 2010.
31. Pacini, F., Albanese, L., *Viaggio nell'universo. Verso le lontane galassie. In giro fra le stelle. Visitiamo i pianeti. Il nostro amico E.T.*, 4 voll., Jaca Book, Milano 2004.
32. Polkinghorne, J. C., *Il mondo dei quanti*, trad. it. di G. Barile, Garzanti, Milano 1986.
33. Rees, M., *I sei numeri dell'universo. Le forze profonde che spiegano il cosmo*, trad. it. E. Diana, Rizzoli, Milano 2002.
34. Rees, M., *Il nostro ambiente cosmico*, trad. it. di G. Rigamonti, Adelphi, Milano 2004.
35. Regge, T. (con Polidoro, M.), *L'universo senza fine: breve storia del tutto. Passato e futuro del cosmo*, Mondadori, Milano 1999.
36. Regge, T., Peruzzi, G., *Spazio, tempo e universo. Passato, presente e futuro della teoria della relatività*, UTET, Torino 2003.
37. Rigutti, M., *Cento miliardi di stelle. Il mestiere dell'astronomo*, Giunti Editore, Firenze 1995.
38. Rigutti, M., *Comete, meteoriti e stelle cadenti. I corpi minori del sistema solare*, Giunti Editore, Firenze 1995.
39. Romano, G., *Introduzione all'astronomia. Esercitazioni e problemi per lo studio dei fenomeni celesti*, Muzzio Editore, Padova 2006.
40. Rovelli, C., *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?*, Di Renzo Editore, Roma 2004.
41. Smolin, L., *La vita del cosmo*, trad. it. di P. D. Napolitano, Einaudi, Torino 1998.

42. Smolin, L., *L'universo senza stringhe. Fortuna di una teoria e turbamenti della scienza*, trad. it. di S. Frediani, Einaudi, Torino 2007.
43. Susskind, L., *Il paesaggio cosmico. Dalla teoria delle stringhe al megaverso*, trad. it. di F. Ligabue, Adelphi, Milano 2007.
44. Toraldo di Francia, G., *L'indagine del mondo fisico*, Einaudi, Torino 1976.
45. Toraldo di Francia, G., *Un universo troppo semplice. La visione storica e la visione scientifica del mondo*, Feltrinelli, Milano 1990.
46. Woit, P., *Neanche sbagliata. Il fallimento della teoria delle stringhe e la corsa all'unificazione delle leggi della fisica*, trad. it. di A. Migliori e F. Longro, Codice Edizioni, Torino 2007.

Siti:

<http://www.astronomia.com/>

(Portale italiano di Astronomia)

<http://www.coelum.com/>

(Portale della Rivista Italiana di Astronomia)

<http://www.arcetri.astro.it/>

(INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri)

<http://www.planetario.fi.it/ita/index.asp>

(Planetario di Firenze)

<http://www.mspo.it/>

(Museo di Scienze Planetarie, Prato)

<http://www.astrofilitrentini.it/>

(Associazione Astrofili Trentini)

<http://www.polare.it/>

(Didattica dell'astronomia)

<http://lescienze.espresso.repubblica.it/>

(Edizione italiana di *Scientific American*, con link ad altri periodici di divulgazione scientifica, non solo d'interesse per la fisica)

<http://www.galileonet.it/>

(Periodico di informazione scientifica)

<http://www.fisicamente.net/>

(Rivista di fisica, didattica della fisica, storia della fisica, fisica e filosofia)

<http://www.sif.it>

(Società Italiana di Fisica)

Presso gli Atenei toscani:

<http://www.fisica.unifi.it>

<http://www.lens.unifi.it/>

<http://www.df.unipi.it/cms/>

<http://www.sns.it/it/scienze/fisiche/>

<http://www.unisi.it/fisica/>

CHIMICA E BIOLOGIA

1. Asimov, I., *Breve storia della chimica. Introduzione alle idee della chimica*, Zanichelli, Bologna 1990.
2. Atkins, P., *Molecole*, trad. it. di M. Armenzoni e F. Bracco, Zanichelli, Bologna 1992.
3. Barsanti, G., *Una lunga pazienza cieca. Storia dell'evoluzionismo*, Einaudi, Torino 2005.
4. Barsanti, G., *L'uomo dei boschi. Piccola storia delle grandi scimmie*, Università La Sapienza, Roma 2009.
5. Barsanti, G., Gori Savellini, S., Guarnieri, P., Pogliano, C. (a cura di), *Misura d'uomo. Strumenti, teorie e pratiche dell'antropometria e della psicologia sperimentale fra Otto e Novecento*, Giunti Editore, Firenze 1986.
6. Brown, W. H., Poon, T., *Introduzione alla chimica organica*. Con CD-rom, a cura di L. Mayol e L. De Napoli, Edises, Napoli 2005.
7. Buiatti, M., *Le biotecnologie*, Il Mulino, Bologna 2004.
8. Buiatti, M., *La biodiversità*, Il Mulino, Bologna 2007.
9. Cerruti, L., *Bella e potente. La chimica del Novecento fra scienza e società*, Editori Riuniti, Roma 2003.
10. Capanna, E., *Il tempo e la verità. Una breve storia della biologia*, Università La Sapienza, Roma 2008.
11. Cardone, F., *Atomi, elementi, molecole. Storia della chimica da Dalton alle nanostrutture*, Laruffa, Reggio Calabria 2009.
12. Corbellini, G., *Le grammatiche del vivente. Storia della biologia molecolare*, Laterza, Roma-Bari 1999.
13. Darwin, C., *L'origine delle specie per selezione naturale. Abbozzo del 1842. Lettere 1844-1858. Comunicazione del 1858 [1864]*, Einaudi, Torino 2009.
14. Darwin, C., *Viaggio di un naturalista intorno al mondo [1872]*, trad. it. di M. Magistretti, Einaudi, Torino 2005.
15. Darwin, C., *Autobiografia (1809-1882) [1962]*, a cura di N. Barlow, Einaudi, Torino 2006.
16. Darwin, C., *Lettere (1825-1859) [1999]*, a cura di F. Burkhardt, Cortina, Milano 2003.
17. Darwin, C., *Taccuini (1836-1844)*, a cura di T. Pievani, Laterza, Roma-Bari 2008.
18. Dennett, D. C., *L'idea pericolosa di Darwin. L'evoluzione e i significati della vita*, trad. it. di S. Frediani, Bollati Boringhieri, Torino 1997.

19. Dröscher, A., *Biologia. Storia e concetti*, Carocci, Roma 2008.
20. Fochi, G., *Il segreto della chimica*, TEA, Milano 2006.
21. Gould, S. J., *Bravo brontosauo. Riflessioni di storia naturale*, trad. it. di L. Sosio, Feltrinelli, Milano 1992.
22. Gould, S. J., *Il pollice del panda*, trad. it. di S. Cabib, Sosio, Il Saggiatore, Milano 2001.
23. Gould, S. J., *Risplendi grande lucciola. Riflessioni di storia naturale*, trad. it. di L. Sosio, Feltrinelli, Milano 2006.
24. Gould, S. J., *Quando i cavalli avevano le dita. Misteri e stranezze della natura*, trad. it. di L. Sosio, Feltrinelli, Milano 2006.
25. Gould, S. J., *Il sorriso del fenicottero*, trad. it. di L. Maldacea, Feltrinelli, Milano 2007.
26. Lamarck, J. B. P. A., *Opere*, a cura di P. Omodeo, UTET, Torino 1969.
27. Lamarck, J. B. P. A., *Filosofia zoologica*, a cura di G. Barsanti, La Nuova Italia, Firenze 1976.
28. Lamarck, J. B. P. A., *Ricerche sull'organizzazione dei corpi viventi*, trad. it., introduzione e note di R. Carnevali, Riza, Milano 1988.
29. Le Couteur, P., Burreson, J., *I bottoni di Napoleone. Come 17 molecole hanno cambiato la storia* [2006], trad. it. di L. Sosio, TEA, Milano 2008.
30. Mayr, E., *Storia del pensiero biologico. Diversità, evoluzione, eredità* [1990], a cura di P. Corsi, trad. it. di P. Ghisleni, Bollati Boringhieri, Torino 1999.
31. Mayr, E., *L'unicità della biologia. Sull'autonomia di una disciplina scientifica*, trad. it. di C. Serra, Cortina, Milano 2005.
32. Montani, M. C., *Piccola storia della chimica*, Alpha Test, Milano 2007.
33. Montaigne, M. de, *Saggi* [1831], a cura di F. Garavini, Fabbri, Milano 2001.
34. Pievani, T., *Introduzione alla filosofia della biologia*, Laterza, Roma-Bari, 2005.
35. Villani, G., *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, CUEN, Napoli 2001.
36. Villani, G. (a cura di), *Molecole*, CUEN, Napoli 2001.

Siti:

<http://it.wikipedia.org/wiki/Chimica>

(Wikipedia. Voce: Chimica)

<http://www.chimicare.org/>

(Divulgazione, curiosità, formazione e news di chimica)

<http://www.chimica-online.it/>

(video, quiz e giochi su temi della chimica)

- <http://www.ildiogene.it/biologia.php>
(Animazioni utili alla didattica della *biologia* molecolare)
- <http://lescienze.espresso.repubblica.it/>
(Edizione italiana di *Scientific American*, con link ad altri periodici di divulgazione scientifica)
- <http://www.galileonet.it/>
(Periodico di informazione scientifica generale)
- <http://www.lascienzainrete.it/>
(divulgazione e informazione scientifica generale)
- <http://www.soc.chim.it/>
(Società Chimica Italiana)
- http://www.socgeol.it/355/ricerca_e_divulgazione_geologica.html
(Società Geologica Italiana)
- <http://it.wikipedia.org/wiki/Biologia>
(Wikipedia. Voce: Biologia)
- <http://www.biologiamarina.eu/Home.html>
(Biologia ed ecologia marina)
- <http://www.biochimica.it/>
(Società Italiana di Biochimica e Biologia Molecolare)
- <http://www.sibm.it/>
(Società Italiana di Biologia Marina)
- <http://www.sibe-iseb.it/>
(Società Italiana di Biologia Evoluzionistica)
- <http://www.sibbm.org/SIBBMv3.php>
(Società Italiana di Biofisica e Biologia Molecolare)

Presso gli atenei toscani:

- <http://www.chim.unifi.it>
- <http://www.dcci.unipi.it/>
- <http://www.chim.unisi.it/>
- <http://www.dbe.unifi.it/>
- <http://www.unifi.it/dbalan/mdswitch.html>
- <http://www.biologia.unipi.it/>
- http://www.unisi.it/ricerca/dip/bio_evol/sitodbe.htm
- <http://www.biologiamolecolare.unisi.it/>
- <http://www.dsa.unisi.it/index.jsf>

NEUROSCIENZE, SCIENZE COGNITIVE E FILOSOFIA DELLA MENTE

1. Arecchi, F. T., *Coerenza. Complessità. Creatività*, Di Renzo Editore, Roma 2008.
2. Bechtel, W., *Filosofia della scienza e scienza cognitiva* [1995], trad. it. di M. Marraffa, Laterza, Roma-Bari 2006.
3. Boncinelli, E., *Come nascono le idee* Laterza, Roma-Bari 2008.
4. Boncinelli, E., *I nostri geni*, Einaudi, Torino 2008.
5. Cappuccio, M. (a cura di), *Neurofenomenologia. Le scienze della mente e la sfida dell'esperienza cosciente*, Mondadori, Milano 2006.
6. Chalmers, D., *La mente cosciente*, a cura di M. Di Francesco, trad. it. di A. Paternoster e C. Meini, McGraw-Hill, Milano, 1999.
7. Chomsky, N., *Nuovi orizzonti nello studio del linguaggio e della mente. Linguistica, epistemologia e filosofia della scienza*, a cura di D. Delfitto e G. Graffi, Il Saggiatore, Milano 2005.
8. Crane, T., *Fenomeni mentali. Un'introduzione alla filosofia della mente*, trad. it. di C. Nizzo, Cortina, Milano 2003.
9. Crick, F., *La scienza e l'anima*, trad. it. di I. Blum, Rizzoli, Milano 1994.
10. Dennett, D. C., *La mente e le menti* [1997], trad. it. di I. Blum, Rizzoli, Milano 2000.
11. Dennett, D. C., *Dove nascono le idee*, trad. it. di F. Garofoli, Di Renzo Editore, Roma 2005.
12. Dennett, D. C., *Coscienza. Che cosa è*, trad. it. di L. Colasanti, Laterza, Roma-Bari 2009.
13. Enzensberger, H. M., *Nel labirinto dell'intelligenza*, trad. it. di E. Picco, Einaudi, Torino 2008.
14. Freeman, W. J., *Come pensa il cervello*, trad. it. di S. Freudiani, Einaudi, Torino 2000.
15. Fodor, J. A., *La mente modulare. Saggio di psicologia delle facoltà* [1988], trad. it. di R. Luccio, Il Mulino, Bologna 1999.
16. Fodor, J. A., *Mente e linguaggio*, a cura di F. Ferretti, Laterza, Roma-Bari 2001.
17. Fodor, J. A., *La mente non funziona così. La portata e i limiti della psicologia computazionale*, trad. it. di M. Marraffa, Laterza, Roma-Bari 2001.
18. Gardner, H., *La nuova scienza della mente: storia della rivoluzione cognitiva*, trad. it. di L. Sosio, Feltrinelli, Milano 1988.
19. Hofstadter, D. R., Dennett, D. C., *L'io della mente. Fantasie e riflessioni sul sé e sull'anima*, a cura di G. Trautteur, Adelphi, Milano 1988.

20. Hofstadter, D. R., *Anelli nell'io. Che cosa c'è al cuore della coscienza?*, trad. it. di F. Bianchini, M. Codogno e P. Turina, Mondadori, Milano 2010.
21. Jackendoff, R., *Coscienza e mente computazionale*, trad. it. di S. Gozzano, Il Mulino, Bologna 1990.
22. Kanizsa, G., *Grammatica del vedere. Saggi su percezione e Gestalt*, Il Mulino, Bologna 1980.
23. Kanizsa, G., *Vedere e pensare*, Il Mulino, Bologna 1991.
24. Karmiloff Smith, A., *Oltre la mente modulare. Una prospettiva evolutiva sulla scienza cognitiva* [1995], trad. it. di Alberto Peruzzi, Il Mulino, Bologna 2002.
25. Johnson Laird, P. N., *Modelli mentali* [1988], trad. it. di A. Mazzocco, Il Mulino, Bologna 1993.
26. Johnson Laird, P. N., *La mente e il computer. Introduzione alla scienza cognitiva* [1990], trad. it. di P. Tabossi, Il Mulino, Bologna 1997.
27. Johnson Laird, P. N., *Deduzione, induzione creatività. Pensiero umano e pensiero meccanico*, trad. it. di M. Riccucci, Il Mulino, Bologna 1994.
28. Luccio, R., *Psicologia generale. Le frontiere della ricerca*, Laterza, Roma-Bari 2002.
29. Luccio, R., *La psicologia. Un profilo storico*, a cura di S. Gori Savellini, Laterza, Roma-Bari 2009.
30. Marconi, D., *Filosofia e scienza cognitiva*, Laterza, Bari-Roma 2008.
31. Marraffa, M., *Scienza cognitiva: un'introduzione filosofica*, CLUEP, Padova 2002.
32. Maturana, H. R., Varela, F. J., *Autopoiesi e cognizione. La realizzazione del vivente*, Marsilio, Venezia 2001.
33. Mecacci, L., *Storia della psicologia del Novecento*, Laterza, Roma-Bari 2007.
34. Neisser, U., *Conoscenza e realtà. Un esame critico del cognitivismo* [1981], trad. it. di M. Bagassi, Il Mulino, Bologna 1997.
35. Paternoster, A., *Introduzione alla filosofia della mente*, Laterza, Bari-Roma 2003.
36. Pennisi, A., Perconti, P. (a cura di), *Le scienze cognitive del linguaggio*, Il Mulino, Bologna 2006.
37. Penrose, R., *La mente nuova dell'imperatore*, trad. it. di L. Sosio, Rizzoli, Milano 1992.
38. Penfield, W., *Il mistero della mente: studio critico sulla coscienza e sul cervello umano*, trad. di O. Guaita, Vallecchi, Firenze 1991.
39. Peruzzi, A., *Il significato inesistente: lezioni sulla semantica*, Firenze University Press, Firenze 2004.
40. Putnam, H., *Mente, corpo, mondo*, a cura di E. Picardi, Il Mulino, Bologna 2003.
41. Salucci, M., *Materialismo e funzionalismo nella filosofia della mente*, ETS, Pisa 1996.

42. Salucci, M., *Mente/corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.
43. Salucci, M., *La teoria dell'identità. Alle origini della filosofia della mente*, Mondadori Education, Milano, 2005.
44. Searle, J.R., *Menti, cervelli e programmi: un dibattito sull'intelligenza artificiale*, a cura di G. Tonfani, CLUED, Milano 1984.
45. Searle, J. R., *Il mistero della coscienza*, trad. it. di E. Carli, Cortina, Milano 1998.
46. Searle, J. R., *La riscoperta della mente*, trad. it. di S. Ravaioli, Bollati Boringhieri, Torino 2003.
47. Sellars, W., *Empirismo e filosofia della mente*, trad. it. di E. Sacchi, Einaudi, Torino 2004.
48. Somenzi, V., Cordeschi, R., *La filosofia degli automi. Origini dell'intelligenza artificiale*, Bollati Boringhieri, Torino 1994.
49. Young, J. Z., *I filosofi e il cervello*, trad. it. di R. Valla, Bollati Boringhieri, Torino 1988.

Siti:

http://it.wikipedia.org/wiki/Scienze_cognitive

(Wikipedia. Voce: Scienze cognitive)

<http://www.dif.unige.it/cogni/>

(Studiare Scienze cognitive)

<http://www.neuroscienza.it/>

(Portale di Neuroscienza)

<http://www.vision.unibo.it/>

(Neuromatematica e cognizione visiva)

<http://www.neuroscienza.net/>

(Neuroscience International Network)

<http://www.humanamente.eu/>

(Journal of Philosophical Studies)

<http://www.aisc-net.it/it/>

(Associazione Italiana di Scienze Cognitive)

<http://www.aipass.org/>

(Associazione Italiana di Psicologia)

<http://www.sins.it/>

(Società Italiana di Neuroscienze)

Presso gli atenei toscani:

<http://www.dpsico.unifi.it/>

<http://www.neuroscienze.unipi.it/>

http://www.unisi.it/ricerca/dip/fil_sc_soc/dot-sc/default.htm

LINGUISTICA E FILOSOFIA DEL LINGUAGGIO

1. Austin, J. L., *Come fare cose con le parole*, a cura di C. Penco e M. Sbisà, trad. it. di C. Villata, Marietti, Genova 1987.
2. Berruto, G., *Corso elementare di linguistica generale*, UTET, Torino 2006.
3. Bonomi, A. (a cura di), *La struttura logica del linguaggio*, Bompiani, Milano 1973.
4. Bonomi, A., *Le immagini dei nomi*, Garzanti, Milano 1987.
5. Carnap, R., *Significato e necessità* [1947], a cura di A. Pasquinelli, La Nuova Italia, Firenze 1976.
6. Carnap, R., *Filosofia e sintassi logica*, a cura di C. Ferrari, ETS, Pisa 1996.
7. Casalegno, P., *Filosofia del linguaggio. Un'introduzione*, Carocci, Roma 1997.
8. Chomsky, N., *La conoscenza del linguaggio: natura, origine e uso*, a cura di G. Longobardi e M. Piattelli Palmarini, Il Saggiatore, Milano 1989.
9. Chomsky, N., *Linguaggio e problemi della conoscenza*, trad. it. di C. Donati e A. Moro, Il Mulino, Bologna 1998.
10. Coffa, J. A., *La tradizione semantica da Kant a Carnap*, a cura di A. Peruzzi, Il Mulino, Bologna 1998.
11. Cook, V. J., Newson, M., *La grammatica universale: introduzione a Chomsky*, a cura di A. Moro, trad. it. di P. Maturi, Il Mulino, Bologna 1996.
12. Dummett, M., *Filosofia del linguaggio: saggio su Frege*, a cura di C. Penco, Marietti, Casale Monferrato 1983.
13. Dummett, M., *Pensiero e realtà*, a cura di E. Picardi, trad. it. di A. Sereni, Il Mulino, Bologna 2008.
14. Eco, U., *Trattato di semiotica generale*, Bompiani, Milano 1975.
15. Eco, U., *Semiotica e filosofia del linguaggio*, Einaudi, Torino 1997.
16. Frege, G., *Senso, funzione e concetto. Scritti filosofici 1891-1897*, a cura di C. Penco, trad. it. di E. Picardi, Laterza, Roma-Bari 2001.
17. Fodor, J. A., *Mente e linguaggio*, a cura di F. Ferretti, Laterza, Roma-Bari 2001.
18. Handjaras, L., Marinotti, A., Rosso, M., *Linguaggio e forme della filosofia*, Clinamen, Firenze 2008.
19. Grice, P., *Logica e conversazione: saggi su intenzione, significato e comunicazione*, trad. it. di G. Moro, Il Mulino, Bologna 1993.
20. Jackendoff, R., *Semantica e cognizione*, trad. it. di M. G. Tassinari, Il Mulino, Bologna 1989.
21. Jackendoff, R., *Linguaggio e natura umana*, trad. it. di A. Peruzzi, Il Mulino, Bologna 1998.

22. Kripke, S., *Nome e necessità* [1980], trad. it. di M. Santambrogio, Bollati Boringhieri, Torino 1999.
23. Iacona, A., Paganini, E. (a cura di), *Filosofia del linguaggio*, Cortina, Milano 2003.
24. Lakoff, G., *Metafora e vita quotidiana* [1982], a cura di P. Violi, Bompiani, Milano 1998.
25. Lakoff, G., *Elementi di linguistica cognitiva*, a cura di M. Casonato e M. Cervi, ristampa riveduta e corretta, QuattroVenti, Urbino 1998.
26. Lepschy, G. C., *La linguistica del Novecento*, Il Mulino, Bologna 1992.
27. Moro, A., *I confini di Babele. Il cervello e il mistero delle lingue impossibili*, Longanesi, Milano 2006.
28. Peirce, C. S., *Opere*, a cura di M. Bonfantini, Bompiani, Milano 2003.
29. Penco, C., *Introduzione alla filosofia del linguaggio*, Laterza, Roma-Bari 2005.
30. Perissinotto, L., *Wittgenstein. Una guida*, Feltrinelli, Milano 2008.
31. Petitot-Cocorda, J., *Morfogenesi del senso*, a cura di G. Bonerba e M. P. Pozzato, Bompiani, Milano 1990.
32. Piattelli-Palmarini, M., *Linguaggio e apprendimento: il dibattito tra Jean Piaget e Noam Chomsky* [1980], Jaca Book, Milano 1991.
33. Pinker, S., *L'istinto del linguaggio* [1994], trad. it. di G. Origgi, Mondadori, Milano 1998.
34. Pinker, S., *Fatti di parole. La natura umana svelata dal linguaggio*, trad. it. di M. Parizzi, Mondadori, Milano 2009.
35. Putnam, H., *Mente, linguaggio e realtà* [1975], trad. it. di R. Cordeschi, Adelphi, Milano 1987.
36. Putnam, H., *Rappresentazione e realtà* [1988], trad. it. di N. Guicciardini, Garzanti, Milano 1993.
37. Quine, W. V., *Parola e oggetto* [1960], trad. it. di F. Mondadori, Il Saggiatore, Milano 1970.
38. Sapir, E., *Il linguaggio. Introduzione alla linguistica* [1969], a cura di P. Ramat, Einaudi, Torino 2007.
39. Searle J. R., *Atti linguistici. Saggio di filosofia del linguaggio* [1976], trad. it. di G. R. Cardona, Bollati Boringhieri, Torino 1992.
40. Sperber, D., Wilson, D., *La pertinenza*, trad. it. dal francese e dall'inglese di G. Origgi, Anabasi, Milano 1993.
41. Wittgenstein, L., *Ricerche filosofiche* [1953], a cura di M. Trinchero, trad. it. di R. Piovesan, Einaudi, Torino 2009.
42. Wittgenstein, L., *Tractatus logico-philosophicus e Quaderni 1914-1916* [1964], a cura di A. G. Conte, Einaudi, Torino 2009.

Siti:

<http://www.parodos.it/linguisticaintroduzione.htm>

(Per un'introduzione alla filosofia del linguaggio)

<http://www.swif.uniba.it/lei/semiotica/semhp.htm>

(Quaderni di Semiotica. Risorse per lo studio della *semiotica*)

<http://www.swif.uniba.it/lei/filling/homefdl.htm>

(Storia, aree tematiche, riviste, convegni, di semiotica e filosofia del linguaggio)

http://www.accademiadellacrusca.it/la_lingua_in_rete.shtml

(Consulenza linguistica, linguaggi specialistici, neologismi, bibliografia di linguistica italiana)

Presso gli atenei toscani:

<http://www.linguistica.unifi.it/mdswitch.html>

<http://www.humnet.unipi.it/linguistica/>

<http://www.ciscl.unisi.it/>

FILOSOFIA DELLA SCIENZA

1. Arecchi, F. T., Jacopini Arecchi, I., *I simboli e la realtà. Temi e metodi della scienza*, Jaca Book, Milano 1990.
2. Agazzi, E., *Temi e problemi di filosofia della fisica*, Abete, Roma 1974.
3. Agazzi, E., *Cultura scientifica e interdisciplinarietà*, Editore La Scuola, Brescia 1994.
4. Antiseri, D., Cagli, V., *Dialogo sulla diagnosi. Un filosofo e un medico a confronto*, Armando Editore, Roma 2008.
5. Baker Lynn, R., *Persone e corpi. Un'alternativa al dualismo cartesiano e al riduzionismo animalista*, a cura di C. Conni, Mondadori, Milano 2007.
6. Barrotta, P., *La dialettica scientifica per un nuovo razionalismo critico*, UTET, Torino 1998.
7. Bernardini, C., *Che cos'è una legge fisica. Dall'esperienza alla teoria, senso comune, astrazione e realtà*, Editori Riuniti, Milano 2006.
8. Boltzmann, L., *Modelli matematici, fisica e filosofia: scritti divulgativi*, a cura di C. Cercignani, Bollati Boringhieri, Torino 1999.
9. Boniolo, G., Vidali, P., *Introduzione alla filosofia della scienza*, Mondadori, Milano 2003.
10. Bruce, C., *Sherlock Holmes e i misteri della scienza*, trad. it. di M. Poli, Cortina, Milano 1997.
11. Carnap, R., *I fondamenti filosofici della fisica. Introduzione alla filosofia della scienza* [1966], a cura di M. Gardner, trad. it. di C. Mangione e E. Vinassa De Regny, Il Saggiatore, Milano 1971.
12. Casari, E., *La filosofia della matematica del Novecento*, Sansoni, Firenze 1973.
13. Cellucci, C., *Filosofia e matematica*, Laterza, Bari-Roma 2003.
14. Coniglione, F., *Introduzione alla filosofia della scienza. Un approccio storico*, Bonanno, Roma 2004.
15. D'Agostini F., Vassallo, N. (a cura di), *Storia della filosofia analitica*, Einaudi, Torino 2002.
16. Dalla Chiara, M. L., Toraldo di Francia, G., *Introduzione alla filosofia della scienza*, Laterza, Bari-Roma 2000.
17. Dorato, M., *Cosa c'entra l'anima con gli atomi? Introduzione alla filosofia della scienza*, Laterza, Bari-Roma 2007.
18. Enzensberger H. M., *Gli elisir della scienza*, trad. it. di V. Alliaia, A. M. Carpi e U. Gandini, Einaudi, Torino 2004.
19. Feyerabend, P. K., *Contro il metodo* [1973], prefazione di G. Giorello, trad. it. di L. Sosio, Feltrinelli, Milano 2008.

20. Festa, R., *Cambiare opinione. Temi e problemi di epistemologia bayesiana*, CLUEB, Bologna 1996.
21. Ghirardi, G. C., *Un'occhiata alle carte di Dio. Gli interrogativi che la scienza moderna pone all'uomo*, Il Saggiatore, Milano 2009.
22. Gillies, D., Giorello, G., *La filosofia della scienza nel XX secolo*, Laterza, Roma-Bari 2010.
23. Giorello, G., *Introduzione alla filosofia della scienza*, Bompiani, Milano 2006.
24. Glymour, C., *Dimostrare, credere, pensare. Introduzione all'epistemologia*, trad. it. di G. Origgi, Cortina, Milano 1999.
25. Goodman, N., *Vedere e costruire il mondo* [1988], introduzione di A. C. Varzi, trad. it. di C. Marletti, Laterza, Bari-Roma 2008.
26. Hacking, I., *Conoscere e sperimentare*, trad. it. di E. Prodi, Laterza, Bari-Roma 1987.
27. Hacking, I., *La natura della scienza: riflessioni sul costruzionismo*, trad. it. di S. Levi, McGraw-Hill, Milano 2000.
28. Hempel, C. G., *Filosofia delle scienze naturali* [1968], a cura di A. Pasquinelli, trad. it. di A. Berra, Il Mulino, Bologna 1975.
29. Kuhn, T. S., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* [1969], trad. it. di A. Carugo, Einaudi, Torino 2009.
30. Ladyman, J., *Filosofia della scienza: un'introduzione*, a cura di T. Piazza, Carocci, Roma 2007.
31. Lakoff, G., Núñez, R., *Da dove viene la matematica. Metafora e astrazione nel progresso cognitivo*, Bollati Boringhieri, Torino 2004.
32. Latour, B., *La scienza in azione. Introduzione alla sociologia della scienza*, trad. it. di S. Ferraresi, Edizioni di Comunità, Torino 1998.
33. Laudan, L., *Scienza e relativismo. Controversie chiave in filosofia della scienza*, trad. it. di E. Rizza, Armando Editore, Roma 1997.
34. Magnani, L., *Filosofia e geometria. Temi teorici e storici*, Guerini e Associati, Milano 1990.
35. Marsonet, M., *Scienza e analisi linguistica: il distacco tra epistemologi e scienziati*, Feltrinelli, Milano 1994.
36. Mathieu, V., *L'oggettività nella scienza e nella filosofia moderna e contemporanea*, Accademia delle scienze, Torino 1960.
37. Mazur, J., *Achille e la tartaruga. Il paradosso del moto da Zenone a Einstein*, trad. it. di C. Piga, Il Saggiatore, Milano 2009.
38. Moretto, A (a cura di), *Scienza e conoscenza secondo Kant. Influssi, temi, prospettive*, Il Poligrafo, Padova 2004.

39. Okasha, S., *Il primo libro di filosofia della scienza*, trad. it. di M. Di Francesco, Einaudi, Torino 2006.
40. Parravicini, A., *La mente di Darwin. Filosofia ed evoluzione*, Negretto, Mantova 2009.
41. Parrini, P., *L'empirismo logico. Aspetti storici e prospettive teoriche*, Carocci, Roma 2002.
42. Parrini, P., *Filosofia e scienza nell'Italia del Novecento. Figure, correnti, battaglie*, Guerini e Associati, Milano 2004.
43. Pera, M., *Hume, Kant e l'induzione*, Il Mulino, Bologna 1982.
44. Pera, M., *Apologia del metodo*, Laterza, Bari-Roma 1996.
45. Peruzzi, A., *Modelli della spiegazione scientifica*, Firenze University Press, Firenze 2009.
46. Petitot, J., *Per un nuovo illuminismo*, a cura di F. Minazzi, Bompiani 2009.
47. Pickering, A. (a cura di), *La scienza come pratica e cultura*, trad. it. di L. Taglieri, Einaudi, Torino 2001.
48. Polizzi, G. (a cura di), *Einstein e i filosofi*, Milano, Medusa Edizioni, 2009.
49. Popper, K., *Congetture e confutazioni: lo sviluppo della conoscenza scientifica* [1969], trad. it. di G. Pancaldi, Il Mulino, Bologna 1972.
50. Possenti, V. (a cura di), *La questione della verità: filosofia, scienze, teologia*, Armando Editore, Roma 2003.
51. Reichenbach, H., *La nuova filosofia della scienza*, a cura di M. Reichenbach, trad. it. di P. Castaldi, Bompiani, Milano 1968.
52. Salmon, W. C., *40 anni di spiegazione scientifica: scienza e filosofia 1948-1987*, trad. it. di M. C. Di Maio, Editore Muzzio, Padova 1992.
53. Sokal, A., Bricmont, J., *Imposture intellettuali*, trad. it. F. Acerbi, M. Ugaglia, Garzanti, Milano 1999.
54. Thagard, P., *Rivoluzioni concettuali. Copernico, Darwin, Einstein alla prova dell'intelligenza artificiale*, a cura di L. Magnani, trad. it. di E. Giorni, Guerini e Associati, Milano 1994.
55. Vassallo, N. (a cura di), *Filosofie delle scienze*, Einaudi, Torino 2003.
56. Vassallo, N. (a cura di), *Filosofia delle conoscenze*, Editore Codice, Torino 2006.

Siti:

<http://dinamico2.unibg.it/silfs/>

(Società Italiana di Logica e Filosofia della Scienza)

<http://www.swif.uniba.it/lei/universita%27/scienza.htm>

(Elenco delle risorse sulla Filosofia della Scienza e delle cattedre correlate presenti nelle Facoltà umanistiche italiane)

<http://www.tilgher.it/epistemologia.html>

(Rivista italiana di Filosofia della Scienza)

<http://www.galileonet.it/sapere/>

(Rivista italiana di divulgazione scientifica)

<http://www.emsf.rai.it/>

(Enciclopedia Multimediale delle Scienze Filosofiche)

<http://www.humanamente.eu/>

(Rivista on line di filosofia e scienza)

STORIA DEL PENSIERO SCIENTIFICO

1. Agassi, J., Agassi, A., *Dialogo senza fine. Una storia della scienza dai greci ad Einstein*, Armando Editore, Roma 2009.
2. Barsanti, G., *Una lunga pazienza cieca. Storia dell'evoluzionismo*, Einaudi, Torino 2005.
3. Bartocci, C., Odifreddi, P., *La matematica*, 3 voll., Einaudi, Torino 2007-2010.
4. Bechtel, W., Abrahamsen, A., Graham, G., *Menti, cervelli e calcolatori. Storia della scienza cognitiva*, a cura di M. Marraffa, Laterza, Roma-Bari 2004.
5. Bellone, E., *Caos e armonia. Storia della fisica*, UTET, Torino 2007.
6. Bellone, E., *La stella nuova. L'evoluzione e il caso Galilei*, Einaudi, Torino 2003.
7. Bottazzini, U., *Storia della matematica: moderna e contemporanea*, UTET, Torino 1998.
8. Bottazzini, U., *Il flauto di Hilbert. Storia della matematica*, UTET, Torino 2005.
9. Boyer, C. B., *Storia della matematica* [1968], trad. it. di A. Cargo, Mondadori, Milano 1990.
10. Boyer, C. B., *Storia del calcolo*, a cura di A. Guerreggio, Mondadori, Milano 2007.
11. Burke, P., *Storia sociale della conoscenza. Da Gutenberg a Diderot*, trad. it. di M. L. Bassi, Il Mulino, Bologna, 2002.
12. Betti, R., *Lobachevskij. L'invenzione delle geometrie non euclidee*, Mondadori, Milano 2005.
13. Crease, R. P., *Il prisma e il pendolo. I dieci esperimenti più belli nella storia della scienza*, trad. it. di L. Sosio, Longanesi, Milano 2007.
14. Dumas, M., *Breve storia del pensiero scientifico*, trad. it. di P. Casini, Laterza, Roma-Bari, 1978.
15. Drake, S., *Galileo Galilei pioniere della scienza (1609-2009)*, trad. it. di G. Mancuso, Editore Muzzio, Padova 2009.
16. Elkana, Y., *Antropologia della conoscenza* [1989], trad. it. R. Rini, Laterza, Roma-Bari 2000.
17. Galluzzi, P. (a cura di), *Storia delle scienze*, 2 voll., Einaudi, Torino 1991.
18. Galluzzi, P., *Gli ingegneri del Rinascimento. Da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*, Giunti Editore, Torino 1996.
19. Galluzzi, P. (a cura di), *Galileo. Immagini dell'universo dall'antichità al telescopio*, Firenze, Giunti Editore, 2009.
20. Geymonat, L., *Galileo Galilei* [1957], Einaudi, Torino 1981.
21. Geymonat, L., *Riflessioni critiche su Kuhn e Popper*, Dedalo, Bari 1983.

22. Govoni, P., *Che cos'è la storia della scienza*, Carocci, Roma 2004.
23. Hacking, I., *L'emergenza della probabilità. Ricerca filosofica sulle origini delle idee di probabilità*, trad. it. di M. Picone, Il Saggiatore, Milano 1987.
24. Hall, A. R., *La rivoluzione scientifica 1500-1800. La formazione dell'atteggiamento scientifico moderno* [1976], trad. it. di G. Panzieri, Feltrinelli, Milano 1981.
25. Hall, A. R., *Storia della scienza* [1979], trad. it. A. Petroni, Il Mulino, Bologna 1991.
26. Hall, A. R., *Filosofi in guerra. La polemica tra Newton e Leibniz* [1982], trad. it. di D. Panzieri, Il Mulino, Bologna 1988.
27. Ingrao, B., Israel, G., *La mano invisibile. L'equilibrio economico nella storia della scienza*, Laterza, Roma-Bari 2006.
28. Longo, O., *Galileo Galilei. L'uomo che contava le stelle*, Meridiano Zero, Padova 2009.
29. Koyrè, A., *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione* [1967], trad. it. di P. Zimbelli, Einaudi, Torino 1992.
30. Koyrè, A., *Studi galileiani*, trad. it. di M. Torrini, Einaudi, Torino 1976.
31. Kuhn, T. S., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche: come mutano le idee della scienza* [1962], a cura di R. Ciuni, Einaudi, Torino 2006.
32. Kuhn, T. S., *Alle origini della fisica contemporanea. La teoria del corpo nero e la discontinuità quantica*, trad. it. di S. Scotti, Il Mulino, Bologna 1981.
33. Kuhn, T. S., *La tensione essenziale: cambiamenti e continuità nella scienza*, trad. it. di M. Vadacchino, Einaudi, Torino 1985.
34. La Vergata, A., *L'equilibrio e la guerra della natura. Dalla teologia naturale al darwinismo*, Morano, Napoli 1990.
35. Luccio, F., Pagli, L., *Storia matematica della rete. Dagli antichi codici all'era di Internet*, Bollati Boringhieri, Torino 2007.
36. Nasar, S., *Il genio dei numeri. Storia di John Forbes Nash jr, matematico e folle*, trad. it. di C. Capararo, R. Zuppet, e S. Mancini, Rizzoli, Milano 1999.
37. Marcucci, S., *Scienza e filosofia: problemi teorici e di storia del pensiero scientifico*, Giardini editori e stampatori, Pisa 1995.
38. Needham, J., *Scienza e civiltà in Cina*, 3 voll., trad. it. di P. Cagnoni, F. Pansieri ed E. Brambilla, Einaudi, Torino 1983.
39. Perini, G., *Galileo, Newton, Einstein. Il pensiero scientifico moderno*, Liberamente, Ravenna 2009.
40. Preti, G., *Storia del pensiero scientifico*, Mondadori, Milano 1957.
41. Rossi, P., *Clavis universalis: arti della memoria e logica combinatoria da Lullo a Leibniz* [1960], Il Mulino, Bologna 2006.

42. Rossi, P., *Francesco Bacone. Dalla magia alla scienza* [1974], Il Mulino, Bologna 2004.
43. Rossi, P., *I ragni e le formiche: un'apologia della storia della scienza*, Il Mulino, Bologna 1986.
44. Rossi, P. (a cura di), *Storia della scienza moderna e contemporanea* [1988], 5 voll., TEA, Milano 2000.
45. Rossi, P., *La nascita della scienza moderna in Europa* [1997], Laterza, Bari-Roma 2005.
46. Rossi, P., *Il tempo dei maghi. Rinascimento e modernità*, Cortina, Milano 2006.
47. Russo, L., *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Feltrinelli, Milano 2001.
48. Seife, C., *Zero. La storia di un'idea pericolosa*, trad. it. di G. Castellani, Bollati Boringhieri, Torino 2002.
49. Singer, C., *Breve storia del pensiero scientifico*, trad. it di F. Tedeschi Negri, Einaudi, Torino 1961.
50. Sobel, D., *La figlia di Galileo: una storia di scienza, fede e amore*, trad. it. G. Lonza e O. Crosio, Rizzoli, Milano 1999.
51. Tort, P., *Darwin e la filosofia. Religione, morale, materialismo*, trad. it. di G. Chiusura, Meltemi, Roma 2005.
52. Zellini, P., *Breve storia dell'infinito* [1980], Adelphi, Milano 1993.

Siti:

http://it.wikipedia.org/wiki/Storia_della_scienza

(Wikipedia. Voce: Storia della scienza)

<http://www.imss.fi.it/indice.html>

(Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze)

<http://brunelleschi.imss.fi.it/portalegalileo/indice.html>

(Risorse galileiane presso Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze)

<http://www.imss.fi.it/scienza/index.html>

(Società Italiana di Storia della Scienza)

<http://www.ispf.cnr.it/>

(Istituto per la Storia del Pensiero Filosofico e Scientifico Moderno)

<http://www.dm.unito.it/sism/>

(Società Italiana di Storia della Matematica)

Presso gli atenei toscani:

www.dsds.dr.unipi.it

(Dottorato interfacoltà in Storia della Scienza)

SCIENZA, ARTE E LETTERATURA

1. Antonello, P., *Il ménage a quattro. Scienza, filosofia, tecnica nella letteratura italiana del Novecento*, Mondadori, Milano 2005.
2. Baffetti, G., *Retorica e scienza: cultura gesuitica e Seicento italiano. Archivio umanistico rinascimentale bolognese (Dipartimento di Italianistica, Università degli Studi di Bologna)*, CLUEB, Bologna 1997.
3. Baffetti, G., Battistini, A., Rossi, P., *Alambicco e calamaio: scienza e letteratura fra Seicento e Ottocento*, Unicopli, Milano 2002.
4. Barrow, J. D., *Dall'io al cosmo. Arte, scienza, filosofia*, trad. it. di S. Gattei, Cortina, Milano 2000.
5. Battistini, A. (a cura di), *Letteratura e scienza*, Zanichelli, Bologna 1977.
6. Battistini, A., *Galileo e i gesuiti: miti letterari e retorica della scienza*, Vita e pensiero, Milano 2000.
7. Bernardini, C., De Mauro, T., *Contare e raccontare. Dialogo sulle due culture*, Laterza, Roma-Bari 2005.
8. Bresciani Califano, M., *Uno spazio senza miti: scienza e letteratura. Quattro saggi su Italo Calvino*, introduzione di G. Luti, Le Lettere, Firenze 1993.
9. Bresciani Califano, M. (a cura di), *La realtà e i linguaggi: ai confini tra scienza e letteratura*, Le Lettere, Firenze 1998.
10. Bresciani Califano, M. (a cura di), *Paradossi e disarmonie nelle scienze e nelle arti*, Olschki, Firenze 2008.
11. Cabrera, J., *Da Aristotele a Spielberg: capire la filosofia attraverso i film*, a cura di M. Di Sario, Mondadori, Milano 2000.
12. Calvino, I., *Lezioni americane [1988]*, Mondadori, Milano 2000.
13. Calvino, I., *Saggi*, Mondadori, Milano 1995.
14. Camerota, F., *Arte e scienza. Da Leonardo a Galileo*, Giunti, Firenze 2009.
15. Cremante, R., Tega, W. (a cura di), *Scienza e letteratura nella cultura italiana del Settecento*, Il Mulino, Bologna 1984.
16. De Liguori, G. (a cura di), *Positivismo e letteratura*, B. A. graphis, Bari 1996.
17. Della Corte, A., *Giacomo Leopardi: Il pensiero scientifico. Il rapporto con la scienza del poeta di Recanati*, Atheneum, Firenze 2008.
18. Emmer, M., *Visibili armonie. Arte, cinema, teatro e matematica*, Bollati Boringhieri, Torino 2006.
19. Gàbici, F., *Gadda. Il dolore della cognizione: una lettura scientifica dell'opera gaddiana con una sua riflessione dimenticata sull'amore*, Simonelli, Milano 2002.

20. Gentili, V., Boitani, P. (a cura di), *L'età vittoriana: l'immagine dell'uomo fra letteratura e scienza. Atti del IV Congresso dell'Associazione Italiana di Anglistica (Perugia, 9-11 ottobre 1981)*, Edizioni di storia e letteratura, Roma 1982.
21. Greco, P., *L'astro narrante: la luna nella scienza e nella letteratura italiana*, Springer, Milano 2009.
22. Gombrich, E. H., *Arte e illusione. Studio sulla psicologia della rappresentazione pittorica* [1962], trad. it. di R. Federici, Einaudi 1996.
23. Gombrich, E. H., Hochberg, J., Black, M., *Arte, percezione e realtà. Come pensiamo le immagini* [1978], trad. it. di L. Fontana, Einaudi, Torino 2002.
24. Locatelli, A. (a cura di), *La conoscenza della letteratura*, I vol., Bergamo University press, Bergamo 2003.
25. Lucignani, G., Pinotti, A. (a cura di), *Immagini della mente. Neuroscienze, arte, filosofia*, Cortina, Milano 2007.
26. Martinelli, B., *Leopardi tra Leibniz e Locke. Alla ricerca di un orientamento e di un fondamento*, Carocci, Roma 2003.
27. Meroi, F., Pogliano, C. (a cura di), *Immagini per conoscere: dal Rinascimento alla rivoluzione scientifica. Atti della Giornata di studio, Firenze, Palazzo Strozzi, 29 ottobre 1999*, Olschki, Firenze 2001.
28. Odifreddi, P., *Metodi matematici nella letteratura, Nuova Civiltà delle macchine*, 3, 2000, pp. 161-133 (anche *Matematica, cultura e società*, Scuola Normale Superiore di Pisa, 2004, pp. 31-54).
29. Odifreddi, P., *Penna, pennello e bacchetta. Le tre invidie del matematico*, Laterza, Roma-Bari 2006.
30. Petrucciani, M., *Scienza e letteratura nel secondo Novecento: la ricerca letteraria in Italia tra algebra e metafora*, Mursia, Milano 1978.
31. Pirandello, L., *Arte e scienza* [1908], introduzione di S. Costa, Mondadori, Milano 1994.
32. Raimondi, E., *Scienza e letteratura*, Einaudi, Torino 1978.
33. Ribatti, D., *Scienza e letteratura. Storie di un doppio legame*, Stilo, Bari 2008.
34. Romanò, F., Ferri, G. (a cura di), *Letteratura e scienza. Atti del Convegno di Milano (19 e 20 febbraio 1993)*, I Dispari, Milano 1995.
35. Snow, C. P., *Le due culture*, prefazione di L. Geymonat, trad. it. di A. Carugo, Feltrinelli, Milano 1964.
36. Vassalli, P. (a cura di), *Arte e scienza: immagini per conoscere*, Grafis, Casalecchio di Reno 1993.
37. Zublena, P., *L'inquietante simmetria della lingua. Il linguaggio tecnico-scientifico nella narrativa italiana del Novecento*, Edizioni dell'Orso, Alessandria 2002.

Siti:

<http://moro.imss.fi.it/vex/main.asp>

(Bibliografia on-line curata dalla Società Italiana per i rapporti fra Scienza e Letteratura)

<http://www.scienzaearte.it/>

(Scienza e arte)

<http://www.museoartescienza.com/index-ita.htm>

(Museo d'Arte e Scienza, Milano)

DVD

ASTRONOMIA E FISICA

1. *L'universo elegante. La fisica secondo Brian Greene*, Cinehollywood 2005.
2. *Alla scoperta dell'universo:*
 1. *Il sistema solare parte 1*
 2. *Il sistema solare parte 2*
 3. *L'esplorazione spaziale*
 4. *Nascita ed evoluzione del cosmo*
 Cinehollywood 2005.
3. *Il sole come non l'avete mai visto*, Cinehollywood 2008.
4. *Cd-Rom Coelum*, (articoli da 1997-2006. Giugno 2008)
5. *Viaggio nel sistema solare:*
 1. *I segreti del Sole – I pianeti interni: Mercurio e Venere*
 2. *Il pianeta Terra – La Luna*
 3. *Marte il pianeta rosso – Giove il pianeta gigante*
 4. *Saturno: il signore degli anelli – I pianeti più esterni*
 Cinehollywood 2009.
6. *I segreti dell'universo. Dal Big Bang ai buchi neri*, Regia di T. Lucas, Cinehollywood 2009.
7. *Fantasmismi nel cielo. Le comete: storia e scienza*, Regia di S. Nannipieri, La Limonaia Scienza Viva 2009.
8. *Quella Notte sulla Luna*, Coelum 2009.
9. *L'universo*, in *Viaggio nella Scienza*, I dvd, Corriere della Sera-Focus 2009.
10. *Einstein e la relatività*, in *Viaggio nella Scienza*, III dvd, Corriere della Sera-Focus 2009.
11. *Il tempo*, in *Viaggio nella Scienza*, IX dvd, Corriere della Sera-Focus 2009.
12. *Il nuovo sistema solare*, in *Viaggio nella Scienza*, X dvd, Corriere della Sera-Focus, 2009.
13. *I viaggi nello spazio*, in *Viaggio nella Scienza*, XV dvd, Corriere della Sera-Focus 2009.
14. *L'energia, elettricità e magnetismo*, in *Viaggio nella Scienza*, XVIII dvd, Corriere della Sera-Focus 2009.

15. *Buchi neri*, in *Viaggio nella Scienza*, XXIII dvd, Corriere della Sera-Focus, 2010.
16. *A caccia di neutrini*, regia di E. Angioli, CERN, INFN e La Limonaia Scienza Viva.
17. *La meccanica dell'Universo*:
 1. *Introduzione alla meccanica dell'universo. Il problema di Keplero*
 2. *La legge di Newton - Gravità, elettricità, magnetismo*
 3. *La legge della caduta dei corpi - Le derivate*
 4. *Da Keplero ad Einstein - Velocità e tempo*
 5. *Corpi in moto circolare - Il momento angolare*
 6. *La conservazione della quantità di moto - Energia ed eccentricità delle orbite*
 7. *Il moto armonico - La risonanza*
 8. *L'atomo - Particelle e onde*
 9. *Coppie di forze e giroscopi - L'entropia*
 Cinehollywood.
18. *IperAstro*, di R. Bedogni, S. Delli Santi, F. Delpino, F. Zavatti (Dipartimento di Astronomia e Osservatorio Astronomico di Bologna), Coelum.

MATEMATICA

1. *La Matematica vivente della natura*, 2 dischi, L'Arcipelago 2007-2008.
2. *Viaggio nella matematica*:
 1. *Il linguaggio dell'universo*
 2. *Il genio d'Oriente*
 3. *Le frontiere dello spazio*
 4. *Verso l'Infinito e altro*
 Cinehollywood 2009.
3. *L'enigma dei numeri primi*, da un testo a cura di M. du Sautoy, Cinehollywood 2010.
4. *Menti Matematiche. I grandi incontri del Festival della Matematica*:
 1. *Una mente meravigliosa. Piergiorgio Odifreddi intervista John Nash*
 2. *Umberto Eco. Usi perversi della matematica*
 3. *Hans Magnus Enzensberger. La matematica della fortuna*
 4. *Frank Wilczek. La ricetta matematica del mondo*

5. *Thomas Banchoff. La quarta dimensione e Salvador Dalí*
6. *Robert Aumann e John Nash. Giocare con la matematica*
7. *Hendrik Lenstra. Zoomando sui quadri di Escher*
8. *Freeman Dyson. Uccelli e rane: la matematica come metafora*
9. *Amartya Sen. La matematica e le scienze sociali*
10. *Allen Knutson. La matematica dei giocolieri*

Le Scienze, gennaio-ottobre 2009.

CHIMICA E BIOLOGIA

1. *Microcosmos*, regia di M. Pérennou e C. Nuridsany, Medusa 1996.
2. *Pianeta Blu. La grande enciclopedia del mare*, 3 dischi, Cinehollywood 2003.
3. *Scienze. Naked science. Esplora, conosci, impara*, 2 dischi, Eagle dvd 2004.
4. *La Biologia della Percezione. La Psicologia del Cambiamento*, a cura di B. Lipton e B. Williams, L'Arcipelago 2005.
5. *Pianeta terra come non l'avete mai visto*, Cinehollywood 2006.
6. *Genesis. Tutte le storie hanno inizio*, regia di C. Nuridiservy e M. Pèrenou, Lucky Red 2006.
7. *40 anni (1968-2008) di Le scienze su DVD*, Le Scienze, 2008.
8. *Biologia molecolare della cellula*, a cura di A. Bruce, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts e P. Walter, Zanichelli 2009.
9. *Il viaggio perduto di Darwin*, National Geographic 2009.
10. *I misteri del corpo umano*, in *Viaggio nella Scienza*, II dvd, Corriere della Sera-Focus, 2009.
11. *I vulcani*, in *Viaggio nella Scienza*, IV dvd, Corriere della Sera-Focus, 2009.
12. *L'atmosfera e il clima*, in *Viaggio nella Scienza*, VI dvd, Corriere della Sera-Focus, 2009.
13. *L'evoluzione della vita*, in *Viaggio nella Scienza*, VII dvd, Corriere della Sera-Focus, 2009.
14. *La genetica e il dna*, in *Viaggio nella Scienza*, XI dvd, Corriere della Sera-Focus, 2009.
15. *Batteri e virus*, in *Viaggio nella Scienza*, XXIV dvd, Corriere della Sera-Focus, 2010.
16. *Enciclopedia Europea. Scienze: le meraviglie della biologia:*
 1. *Lo studio della vita*

2. *L'evoluzione*
3. *Dalla vita microscopica ai primi passi dell'evoluzione animale*
4. *Le scelte del mondo vegetale*

Enciclopedia Europea, Grandi Opere Garzanti 2009.

STORIA DEL PENSIERO SCIENTIFICO

1. *Scienziati a Pisa. Enrico Fermi*, regia di F. Andreotti, La Limonaia Scienza Viva 2001.
2. *Galileo Galileo tra scienza ed eresia*, regia di P. Jones, Cinehollywood 2002.
3. *Fibonacci. Il Leonardo pisano*, regia di F. Andreotti, La Limonaia Scienza Viva 2003.
4. *Bruno Pontecorvo*, regia di E. Vlasova, Video Mosca e La Limonaia Scienza Viva 2003.
5. *Guglielmo Marconi. Il mago delle onde*, regia di A. Giuponi, Luce 2004.
6. *Antonio Pacinotti e il secolo dell'elettricità*, regia di S. Nannipieri, La Limonaia, 2005.
7. *L'eredità di Vito Volterra*, regia di S. Nannipieri, Alfea Cinematografica e La Limonaia Scienza Viva 2005.
8. *Leonardo da Vinci:*
 1. *Il genio e il suo tempo*
 2. *L'arte e la scienza*Cinehollywood 2006.
9. *Le armonie nascoste. Federigo Enriques nella cultura d'Europa*, regia di F. Andreotti, La Limonaia Scienza Viva.
10. *Novecento: il secolo della scienza:*
 1. *Gli anni dell'ottimismo e il mondo dei quanti*
 2. *La rivoluzione di Einstein e la fine degli imperi*
 3. *La grande guerra e la nascita della genetica*
 4. *La nuova fisica e la depressione degli anni venti*
 5. *La crisi della matematica e l'era nucleare*
 6. *La bomba atomica e la ricostruzione*
 7. *DNA: dalla doppia elica al segreto dei geni*
 8. *La conquista dello spazio e l'uomo sulla luna*

9. *Le biotecnologie e le particelle elementari*
10. *Dall'emergenza ambiente al futuro della scienza*
Le Scienze, 2007-2008.
11. *Beautiful minds:*
 1. *Piergiorgio Odifreddi racconta "Pitagora, Euclide La nascita del pensiero scientifico"*
 2. *Giulio Giorello racconta "Archimede Il primo genio universale"*
 3. *Margherita Hack racconta "Tolomeo e Copernico Dalle stelle la misura dell'uomo"*
 4. *Enrico Bellone racconta "Galileo e Keplero. La nascita del metodo scientifico"*
 5. *Piergiorgio Odifreddi racconta "Isaac Newton. La gravità, la luce e i colori del mondo"*
 6. *Edoardo Boncinelli racconta "Charles Darwin. L'uomo evoluzione di un progetto?"*
 7. *S. Lee Glashow racconta "Maxwell. Elettività, magnetismo e luce, una sola famiglia"*
 8. *Veronesi racconta "Pasteur. Dalla nascita della medicina moderna alla lotta contro il cancro"*
 9. *Harold Kroto racconta "Lavoisier e Mendeleev tra atomi e molecole: nasce la chimica moderna".*
 10. *Bartocci racconta "Gauss e Riemann. La matematica diventa scienza"*
 11. *Giuseppe Bruzzaniti racconta "Marie Curie. La scoperta della radioattività"*
 12. *Enrico Bellone racconta "Albert Einstein. Relativamente a spazio e tempo"*
Gruppo editoriale L'Espresso, marzo-maggio 2010.
12. *La tecnologia e i computer*, in *Viaggio nella Scienza*, XXI, Corriere della Sera-Focus, 2010
13. *Leonardo: ritratto di un genio*, in *La grande storia dell'uomo*, XV dvd, Gruppo editoriale RCS, Focus Storia, Rai Trade, 2009.
14. *Pitagora*, in *Philosophia. Il cammino del pensiero*, II dvd, Gruppo editoriale RCS, Istituto Italiano per gli studi filosofici, Rai Trade, 2010.
15. *Cartesio*, in *Philosophia. Il cammino del pensiero*, XVI, Gruppo editoriale RCS, Istituto Italiano per gli studi filosofici, Rai Trade, 2010 (in uscita).