



REGIONE TOSCANA  
Consiglio Regionale

# PIANETA GALILEO

2012

A cura di Stefano Campi e Lucia Sarti

Si ringrazia il Comitato Scientifico di Pianeta Galileo 2012

---

**Pianeta Galileo : 2012** / Regione Toscana, Consiglio regionale ; a cura di Stefano Campi e Lucia Sarti. – Firenze : Consiglio regionale della Toscana, 2014

1. Toscana. Consiglio regionale 2. Campi, Stefano 3. Sarti Lucia

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

Settore Rappresentanza e relazioni istituzionali. Assistenza generale alla CPO

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

Pubblicazione realizzata dalla tipografia del Consiglio regionale, ai sensi della l.r. 4/2009  
Marzo 2014

ISBN 978-88-89365-36-6

## SOMMARIO

|   |     |
|---|-----|
| <b>Presentazione</b> - <i>Alberto Monaci</i>  | 5   |
| <b>Introduzione</b> - <i>Stefano Campi, Lucia Sarti</i>   | 7   |
| <b>PREMIO GIULIO PRETI</b>  |     |
| <b>Motivazione per il conferimento del Premio Giulio Preti<br/>a Maria Luisa Dalla Chiara</b> - <i>Elena Castellani</i>   | 7   |
| <b>Dalla teoria dell'informazione quantistica alla semantica della musica</b> -<br><i>Maria Luisa Dalla Chiara</i>  | 13  |
| <b>LEZIONI-INCONTRO</b>   |     |
| <b>AREA CHIMICO-FISICA</b>  |     |
| <b>I mini Big Bang del "Large Hadron Collider" (alla scoperta delle leggi<br/>che governano l'Universo)</b> - <i>Rino Castaldi</i>  | 31  |
| <b>Energia nucleare e sviluppo sostenibile</b> - <i>Fabio Fineschi</i>  | 41  |
| <b>La fisica di tutti i giorni per Pianeta Galileo: immersioni, gavettoni, aerei<br/>e dintorni e il tempo da Galileo alla fisica quantistica</b> - <i>Maria Luisa Chiofalo,<br/>Massimiliano Labardi</i> | 51  |
| <b>Fare chimica con la luce: la spettroscopia</b> - <i>Valentina Domenici</i>   | 57  |
| <b>Enrico Fermi, la scienza tra genio e caso</b> - <i>Marco M. Massai</i>   | 63  |
| <b>Il concetto di sistema in fisica, chimica e biologia</b> - <i>Giovanni Villani</i>   | 75  |
| <b>AREA MATEMATICO-INFORMATICA</b>  |     |
| <b>Matematica e coincidenze</b> - <i>Giuseppe Anichini</i>  | 83  |
| <b>La matematica delle scale musicali</b> - <i>Fabio Bellissima</i>   | 91  |
| <b>Probabilità e azzardo, azzardo e dipendenza</b> - <i>Stefano Campi,<br/>Mario Antonio Reda</i>   | 97  |
| <b>Le conseguenze di un twitt</b> - <i>Linda Pagli</i>  | 103 |
| <b>AREA DELLE SCIENZE GEOLOGICHE E AMBIENTE</b>   |     |
| <b>I bioindicatori della qualità ambientale</b> - <i>Roberto Bargagli</i>   | 111 |
| <b>Il geologo sulla scena del crimine</b> - <i>Giovanna Giorgetti</i>   | 119 |
| <b>AREA STORICO-FILOSOFICA</b>  |     |
| <b>Saperi umanistici e saperi scientifici dal Rinascimento all'era della<br/>globalizzazione: università, cultura, società</b> - <i>Gabriella Albanese</i>  | 127 |
| <b>Dai libri al cannocchiale: Galileo, il Rinascimento e la rivoluzione<br/>scientifica</b> - <i>Gabriella Albanese</i>   | 143 |
| <b>Il problema del determinismo e la logica</b> - <i>Francesco Ademollo</i>   | 161 |

**Gli automi e l'intelligenza artificiale tra filosofia e scienza - Marco Salucci** 169

**AREA MEDICO-BIOLOGICA E DELL'EVOLUZIONE**

**La ricerca della vita nell'universo - Giorgio Bianciardi** 179

**Anatomia, istruzioni per l'uso - Ferdinando Paternostro** 185

**Neandertal è un nostro antenato? - Annamaria Ronchitelli** 191

**Il razzismo tra pseudoscienza e pregiudizio - Anna Maria Rossi** 197

**Evoluzione tra didattica e ricerca: evo-devo, ovvero nuovi materiali  
per la conoscenza dei meccanismi evolutivi - Robert Vignali** 205

**MOSTRE**

**IL RADAR: UNA STORIA ITALIANA**

**Introduzione - Stefano Campi** 215

**L'invenzione del radar: il contributo di Ugo Tiberio dal 1935 al 1943 -  
Paolo Tiberio** 217

**Cento anni di radar, una storia (anche) italiana. Come eravamo,  
cosa facevamo. Ricordi degli anni difficili - Federico Brando** 231

**Il RIEC - Regio Istituto per l'elettrotecnica e le Comunicazioni -  
Camm (AN) Lucio Mattiussi** 239

**POLIEDRI IN PEZZI**

**La mostra "Poliedri in pezzi" - Rosellina Bausani, Ornella Sebellin** 253

**ATTIVITÀ PRESSO MUSEI**

**La storia dell'informatica al Museo degli strumenti per il calcolo di Pisa -  
Giovanni A. Cignoni, Fabio Gadducci** 259

**Il Museo di storia naturale dell'Università di Pisa - Angela Dini** 267

**Pianeta Galileo al Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria "Paolo Graziosi"  
ovvero archeologia e processi formativi sociali - Fabio Martini** 271

**INCONTRI E SEMINARI**

**Scienza, mito, letteratura e fumetti - Alberto Becattini, Marco Ciardi,  
Giacomo Scarpelli** 281

**Stephen J. Gould a dieci anni dalla scomparsa - Brunella Danesi,  
Anna Maria Rossi** 293

**Il significato evolutivo delle estinzioni di massa - Anna Maria Rossi** 297

**Archeologia della vite (e dell'olivo). Nuovi percorsi di ricerca -  
Andrea Ciacci, Andrea Zifferero** 305

**Musica e rivoluzione scientifica - Sergio Giudici** 319

## PRESENTAZIONE

I giovani che hanno seguito queste edizioni di Pianeta Galileo sentono ormai parlare da anni della “Crisi” che sta vivendo il nostro Paese. Sicuramente hanno studiato o studieranno che nella storia d’Italia, il Paese ha sempre superato i tempi di difficoltà con la saggezza e affidandosi alla scienza e alla conoscenza. Il “miracolo” della ricostruzione del dopoguerra fu determinato anche dalla capacità delle nostre imprese di mettere a profitto la creatività degli inventori più geniali. Pensiamo a uno dei simboli del boom economico, la Vespa, ideata nel 1946 dall’ingegnere aeronautico D’Ascanio. E in quegli anni critici, Einaudi osservava che le commissioni che si costituivano per gestire i processi di ricostruzione non dovevano essere composte “solo di pratici, di competenti, di funzionari; giova includere – scrisse – un piccolo, anzi piccolissimo, pizzico di teorici”. Perché, diceva, non conosce chi cerca, bensì colui che sa cercare. Questo dimostra, se ce ne fosse bisogno, che è impossibile pensare di affrontare e creare un futuro migliore anche oggi, per il nostro paese, senza avere della basi solide di “conoscenza”. Viviamo infatti ormai in un’epoca in cui, per la prima volta nella storia, l’uomo più ricco del mondo (Bill Gates) non possiede né eserciti, né fabbriche, né petrolio, né oro, ma “soltanto la conoscenza”. Ai giovani e a tutti voi dunque l’invito ad approfondire, a non fermarsi mai, ad essere sempre “affamati” di sapere!

ALBERTO MONACI  
*Presidente del Consiglio regionale della Toscana*



---

## INTRODUZIONE

STEFANO CAMPI

LUCIA SARTI

*Università degli Studi di Siena*

Pianeta Galileo, l'iniziativa promossa dal Consiglio Regionale della Toscana per la divulgazione della cultura scientifica presso le scuole secondarie di II grado della regione, raggiunge con l'edizione 2012 il nono anno di vita.

Forse sarebbe più opportuno parlare di edizione 2012/2013, dal momento che gran parte delle iniziative si sono svolte nel corso del 2013. Questa precisazione ha un significato che va al di là del dato di collocazione temporale, ma vuole invece sottolineare che l'espandersi del corpo delle attività in programma ha reso necessario un periodo di svolgimento più ampio rispetto alle passate edizioni.

Dalla cerimonia dell'inaugurazione, avvenuta il 29 ottobre 2012 presso l'Aula Magna dell'Università di Firenze ed arricchita dalla *Lectio Galileiana* di Roberto Casalbuoni su "La ricerca del bosone di Higgs", siamo arrivati, nell'aprile 2013, all'allestimento senese della mostra "Il radar: una storia italiana", attraverso una continua, ricca ed articolata offerta di iniziative, distribuite nell'arco di ben sei mesi e diffuse su tutto il territorio.

Nell'elenco delle varie attività che concorrono alla composizione del programma, un posto di rilievo è occupato dalle lezioni-incontro, sia per la qualità dei contenuti che per il numero elevato di richieste da parte delle scuole: ben 109 sono state le lezioni svolte presso gli istituti scolastici di tutte le province toscane.

Accanto a questa forma di presenza tra gli studenti, che sin dalle prime edizioni ha caratterizzato con successo l'attività di Pianeta Galileo, altre iniziative ormai consolidate da tempo sono state riproposte nell'edizione 2012/13.

Tra queste, il Premio "Giulio Preti", un riconoscimento conferito a studiosi che abbiano coniugato la loro attività di ricerca con un costante impegno civile volto a finalità educative. Nell'edizione 2012 il premio è stato assegnato a Maria Luisa Dalla Chiara, la cui figura corrisponde perfettamente al profilo culturale del destinatario del premio.

"Primo incontro con la Scienza", che promuove la lettura di testi di divulgazione scientifica nelle scuole, ha registrato anche in questa edizione un successo lusinghiero, testimoniato dalla partecipazione massiccia e vivace degli studenti all'incontro conclusivo con gli autori presso il Teatro Verdi di Firenze.

E ancora: spettacoli teatrali dedicati alla scienza; convegni e seminari promossi da istituti scientifici; conferenze organizzate da o presso istituzioni culturali; visite guidate

a musei scientifici e ad osservatori astronomici; visite ed esperienze in laboratori presso università e istituti di ricerca.

Ci preme sottolineare il ruolo svolto da Pianeta Galileo quale soggetto promotore di iniziative originali, frutto di una progettazione maturata in seno al Comitato Scientifico.

Due esempi per illustrare questo ruolo.

La mostra “Il radar: una storia italiana”, presentata a Firenze nel febbraio 2013 e a Siena nell’aprile successivo, è la realizzazione di un’idea nata in seno al Comitato e sviluppata, grazie a Pianeta Galileo, attraverso il contributo scientifico di soggetti la cui attività ha come punto di riferimento la nostra regione. Insomma, un’iniziativa promossa dal Consiglio Regionale della Toscana, per portare alla ribalta un’affascinante vicenda scientifica svoltasi pressochè interamente proprio in Toscana.

L’altro esempio di proposta originale è costituito da “Vieni a vedere”. Il titolo suggerisce lo spirito e le finalità dell’iniziativa, che fa seguito ad un concorso promosso da “Pianeta Galileo 2011” per la realizzazione di progetti di educazione scientifica da parte delle scuole. Le scuole vincitrici (o comunque aderenti all’iniziativa) hanno aperto le loro porte al pubblico per illustrare i loro progetti e le attività che ne sono conseguite.

Il volume degli Atti che presentiamo è solo un riscontro parziale di tutte le attività svolte, sia per ovvi motivi di spazio, sia perchè non tutti coloro che hanno contribuito all’iniziativa hanno raccolto l’invito a produrre un testo. Tuttavia, quanto è stato raccolto può essere definito un campione rappresentativo dell’intera manifestazione, per lo meno relativamente a quegli aspetti che più di altri si prestano ad essere tradotti in forma scritta.

Attraverso questi Atti si coglierà, ad esempio, l’ampiezza dello spettro dei contenuti e la loro interdisciplinarietà: qualità, queste, dall’alto valore formativo, che aiutano a capire quanto e come il pensiero scientifico sia un elemento essenziale nel corpo della cultura.

Si percepirà la ricchezza e l’attualità del patrimonio scientifico di cui il nostro territorio dispone, nonchè la disponibilità, da parte di chi ne è detentore, ad offrirlo alle generazioni emergenti, attraverso una proposta che contrasta le forme di fruizione passiva del sapere e che intende invece stimolare l’ingrediente indispensabile per un autentico processo formativo: la curiosità.

Questo richiamo alle risorse culturali presenti nella nostra regione non è dettato da orgoglio campanilistico. Vuole invece sottolineare il valore che la conoscenza delle vicende scientifiche legate al territorio, passate e attuali, ha nei confronti dei giovani, per far maturare la coscienza di essere parte di un processo storico di cui occorre mantenere la continuità.

Per questi motivi tutti coloro che concorrono alle iniziative di Pianeta Galileo non possono che esprimere la loro profonda riconoscenza al Consiglio Regionale della Toscana, che anno dopo anno continua ad incoraggiare questa manifestazione, dando prova di credere davvero che una sicura forma di investimento per il futuro risiede nella formazione culturale dei nostri studenti.

# PREMIO GIULIO PRETI

*Sesta edizione*





---

## MOTIVAZIONE PER IL CONFERIMENTO DEL PREMIO GIULIO PRETI A MARIA LUISA DALLA CHIARA

Nella sua VI edizione da quando è stato istituito nel 2007 dal Consiglio regionale della Toscana nell'ambito del programma di Pianeta Galileo, il Premio intitolato al filosofo Giulio Preti (docente dell'Ateneo fiorentino dal 1956 al 1972) è stato conferito a Maria Luisa (Marisa) Dalla Chiara, studiosa di fama internazionale e una delle personalità di maggior spicco nel campo della logica e della filosofia della scienza italiane.

Il Premio, proprio per il personaggio a cui s'ispira, si configura come un riconoscimento a quelle personalità del mondo della cultura (umanistica e scientifica) la cui opera si distingue per i seguenti aspetti: il fecondo dialogo tra scienza e filosofia; una profonda riflessione sui fondamenti sia storici sia logici e concettuali della scienza; e, infine, una nitida capacità comunicativa che permette di raggiungere un vasto pubblico e contribuire, così, a promuovere una più avanzata cittadinanza democratica e un modello di educazione in cui l'aspetto razionale dell'indagine scientifica sia parte integrante della formazione dei cittadini.

Marisa Dalla Chiara si distingue in tutti questi aspetti, come ben dimostra la sua biografia umana e scientifica. Nata a Pola nel 1938, dopo la laurea in filosofia a Padova nel 1961 si è trasferita a Milano, dove ha studiato con Ettore Casari e Ludovico Geymonat. Dal 1970 al 2010 è stata docente (prima di logica e poi di filosofia della scienza) presso la Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Firenze (di cui ora è professore emerito). E' stata presidente della "International Quantum Structures Association", della "Società italiana di Logica e Filosofia delle Scienze" e del "Centro Fiorentino di Storia e Filosofia della Scienza"; vicepresidente della "Division of Logic, Methodology and Philosophy of Science" e della "Società italiana di Logica e sue Applicazioni".

L'attività scientifica di Marisa Dalla Chiara inizia negli anni Sessanta a Milano, dove Ettore Casari aveva inaugurato nel 1961 il primo corso di logica in una università italiana. Marisa Dalla Chiara s'inserisce in un contesto in cui le ricerche – stimulate, in particolare, dai celebri teoremi limitativi di Kurt Gödel e Alfred Tarski – erano focalizzate su questioni come le seguenti: la logica può fornire un fondamento per le teorie scientifiche e la conoscenza in generale? Perché ogni atto di autofondazione pare comportare necessariamente esiti paradossali? Che cosa significa "significato"? Che cosa significa "verità"?

Nei suoi primi libri, in un quadro in cui si manifesta un crescente interesse per logiche alternative alla logica classica, Dalla Chiara discute in particolare questioni relative al rapporto logica e esperienza (in quale misura la scelta della logica è determinata dall'esperienza?), ai criteri di scelta tra logiche diverse (come scegliere la logica "giusta" per una data situazione?) e a domande relative alla possibilità e modalità di comunicazione fra esseri che ragionano secondo logiche diverse.

Riguardo a questi temi, una fonte molto importante di ispirazione per la costruzione di logiche non classiche è venuta dalla fisica e in particolare dalla meccanica quantistica: teoria, quest'ultima, che ha contribuito profondamente alla revisione di alcune idee circa i concetti di conoscenza oggettiva, realtà fisica, esistenza attuale e esistenza possibile e rispetto alla quale, quindi, le problematiche logiche ed epistemologiche si mescolano in maniera esemplare. Di solito, la semantica classica separa nettamente gli oggetti attuali dagli oggetti possibili. Invece la logica quantistica, creata negli anni Trenta da Garrett Birkhoff e John von Neumann come prodotto naturale del formalismo matematico della teoria quantistica, è "più liberale": ammette che l'esistenza attuale possa anche dipendere da esistenze virtuali. Per la discussione di problemi di questo tipo, è utile ricorrere alla cosiddetta semantica dei mondi possibili, la cui idea-base risale a Leibniz e che, negli anni Quaranta, è stata recuperata alla discussione logica e filosofica da Rudolf Carnap. Malgrado il carattere apparentemente metafisico, la semantica dei mondi possibili è stata brillantemente applicata da Marisa Dalla Chiara anche alla logica quantistica, dove il concetto di mondo possibile ammette una interpretazione fisica naturale, assimilabile all'idea di conoscenza dell'osservatore concernente l'oggetto fisico studiato. In questa direzione Marisa Dalla Chiara ha scritto una serie di lavori che sono diventati dei veri e propri punti di riferimento del settore. Grazie alla costante proiezione internazionale e ai suoi aspetti innovativi, la sua ricerca ha avuto e ha tuttora una funzione feconda sia per la logica in senso stretto sia per la filosofia della scienza.

Il particolare intreccio fra possibilità e realtà, caratteristico del mondo quantistico, ha continuato ad alimentare le originali analisi logiche e filosofiche di Dalla Chiara nel corso degli anni. Recentemente, il suo interesse si è rivolto anche alla computazione quantistica, un campo che ha suggerito nuove forme di logica quantistica, chiamate logiche quantistiche computazionali. In tali logiche, i significati delle proposizioni sono identificati con quantità di informazione quantistica. Si viene a creare così un formalismo rigoroso per una teoria astratta dei significati, che può essere applicata con successo allo studio di vari fenomeni semantici, dove hanno un ruolo essenziale comportamenti olistici e contestuali, dai linguaggi naturali ai linguaggi della musica. Di recente, Dalla Chiara si è dedicata con passione anche a questo campo di ricerca, conseguendo importanti e originali risultati, come testimonia esemplarmente la sua *Lectio magistralis* "Dall'informazione quantistica alla semantica musicale".

*Elena Castellani*

## DALLA TEORIA DELL'INFORMAZIONE QUANTISTICA ALLA SEMANTICA DELLA MUSICA

MARIA LUISA DALLA CHIARA

*Dipartimento di Lettere e Filosofia, Università di Firenze*

### 1. Informazione quantistica e problemi semantici

Albert Einstein ha affermato una volta che c'è qualcosa di “profondamente musicale” nella meccanica quantistica. Non è chiaro che cosa intendesse esattamente con questa affermazione un po' misteriosa il grande fisico a cui piaceva suonare il violino. Ai nostri giorni possiamo far riferimento a una posizione emergente nella filosofia della fisica (anche se non condivisa da tutti gli studiosi di fondamenti della meccanica quantistica): il tentativo di esportare “il modo di pensare quantistico” al di fuori del dominio della microfisica.

Com'è noto, la meccanica quantistica è la teoria fisica che studia il comportamento degli oggetti materiali “molto piccoli” (fotoni, elettroni, neutrini, .....). Ci si può chiedere: che senso può avere trasferire i concetti di questa teoria al di fuori dei suoi confini naturali e applicarli addirittura a un mondo così lontano come è quello della musica? Il rischio è quello di violare un canone fondamentale del metodo scientifico, secondo cui ogni teoria ha un suo *dominio di validità* caratteristico: pertanto tutte le estrapolazioni da un dominio a un altro possono essere pericolose e fuorvianti. Tuttavia, il comportamento “strano” dei microoggetti (apparentemente così diverso da quello dei macrooggetti con cui siamo abituati a convivere) ha rappresentato, per la comunità scientifica e filosofica, una sorta di campanello di allarme, costringendo a discutere in modo nuovo alcuni concetti fondamentali della teoria della conoscenza. Basti pensare al fatto che forme di *incertezza*, di *indeterminazione* e di *ambiguità* sono caratteristiche essenziali non solo dei fenomeni quantistici ma anche delle situazioni umane. Sembra allora ragionevole avanzare la congettura seguente: il formalismo matematico della teoria quantistica ha una sorta di *universalità*, e può ammettere applicazioni interessanti a campi anche molto lontani dalla microfisica: per esempio, all'analisi di problemi semantici.

Le teorie semantiche tradizionali, fondate sulla logica classica, sono *analitiche* e *anti-olistiche*. Infatti, in queste teorie, vale un principio generale di *composizionalità* secondo cui il significato di una *espressione composta* deve essere determinato dai significati delle sue *parti*. E i significati vengono descritti sempre come *precisi* e *non ambigui*. Tutto questo fa sì che la semantica classica sia difficilmente applicabile a un'analisi adeguata delle lingue naturali o dei linguaggi dell'arte, dove aspetti *olistici*, *con-*

*testuali e ambigui* hanno un ruolo fondamentale. A questo proposito, si potrebbero fare naturalmente moltissimi esempi. Un caso particolarmente significativo è rappresentato dall'ultimo verso della celebre poesia *L'Infinito* di Giacomo Leopardi:

E 'l naufragar m'è dolce in questo mare.

Verso che è stato paragonato alle ultime parole di Isolde nell'opera *Tristan und Isolde* di Wagner:

ertrinken, versinken, unbewusst, höchste Lust!<sup>1</sup>

In Leopardi (ma, in modo simile anche in Wagner), il risultato poetico sembra dipendere essenzialmente dalla relazione semantica seguente: i significati delle espressioni componenti “naufragar”, “dolce”, “mare” non corrispondono qui ai significati più comuni di queste parole. Fra l'altro non c'è il mare a Recanati (il villaggio natio dove si trova il *Colle dell' Infinito*, a cui la poesia si riferisce). Tuttavia questi significati sono in qualche modo presenti e vengono correlati in maniera ambigua con i significati metaforici evocati dall'intera poesia. Si tratta di una situazione semantica tipica, che è molto frequente nelle opere poetiche.

Nella semantica formale, che è stata suggerita dalla teoria dell'informazione quantistica, i significati delle espressioni linguistiche si comportano come gli oggetti teorici che rappresentano *informazioni quantistiche*. Si tratta di informazioni che, diversamente dai sistemi di *bit* classici, possono essere immagazzinate e trasmesse dai microoggetti di cui si occupa la meccanica quantistica. Una informazione quantistica risulta così assimilabile a un possibile *stato* che descrive le proprietà (in generale solo probabilistiche) di un oggetto quantistico (per esempio, di un sistema di elettroni).

Le caratteristiche non classiche della meccanica quantistica sono essenzialmente connesse a due concetti fondamentali della teoria, che sono stati spesso descritti come “misteriosi” e potenzialmente paradossali:

- il concetto di *sovrapposizione di stati*;
- il concetto di *entanglement* (o *intreccio quantistico*).

In realtà, oggi è sempre più chiaro come proprio questi due concetti (tradizionalmente giudicati “pericolosi”) possano invece trasformarsi in una risorsa, anche dal punto di vista delle applicazioni semantiche. Facciamo riferimento alla forma caratteristica di una sovrapposizione di stati (che appartenga a uno spazio astratto di dimensione finita<sup>2</sup>):

$$|\psi\rangle = c_1|\psi_1\rangle + \dots + c_n|\psi_n\rangle.$$

L'interpretazione intuitiva che, in un contesto informativo, si può dare a un oggetto matematico di questo tipo è la seguente:

1 Naufragare, sprofondare, senza coscienza, piacere supremo!

2 Gli spazi astratti in cui “vivono” gli stati degli oggetti quantistici sono particolari esempi di spazi vettoriali, chiamati *spazi di Hilbert*. Uno *stato puro* (che corrisponde a un massimo di informazione dell'osservatore intorno all'oggetto fisico studiato) è rappresentato matematicamente da un vettore (di lunghezza unitaria) in uno spazio di Hilbert determinato.

- $|\psi\rangle$  rappresenta una *informazione* (o una *idea*) che è, in generale, incerta, ambigua, vaga;
- $|\psi_1\rangle, \dots, |\psi_n\rangle$  (gli elementi che costituiscono la sovrapposizione  $|\psi\rangle$ ) rappresentano informazioni alternative, che sono in un certo senso tutte coesistenti nel contesto  $|\psi\rangle$ ;
- $c_1, \dots, c_n$  sono numeri che permettono di calcolare il valore di probabilità con cui l'informazione  $|\psi\rangle$  potrebbe trasformarsi in  $|\psi_1\rangle$  o in  $|\psi_2\rangle$  o ... o in  $|\psi_n\rangle$ .

Da un punto di vista semantico, sembra ragionevole ipotizzare che  $|\psi\rangle$  possa rappresentare una *idea* (o un *significato*) *globale* che *allude* ad altre idee (o significati). E sappiamo bene come le *allusioni* svolgano un ruolo molto importante nei linguaggi dell'arte (pensiamo, per esempio, al caso della poesia). Il "potere" semantico delle sovrapposizioni si deve anche al fatto che ogni  $|\psi\rangle$  rappresenta un oggetto astratto relativamente semplice e cognitivamente accessibile. Nello stesso tempo, malgrado la sua apparente semplicità,  $|\psi\rangle$  ha la capacità di rimandare a una infinità potenziale di idee alternative diverse.<sup>3</sup>

Anche l'*entanglement* quantistico può essere usato, in modo positivo, come una risorsa semantica. Ma che cosa significa esattamente *entanglement*? Da un punto di vista intuitivo, le caratteristiche fondamentali di uno *stato entangled*  $|\psi\rangle$  sono così descrivibili:

- $|\psi\rangle$  rappresenta un massimo di informazione (uno *stato puro*) che descrive un sistema fisico  $S$ , composto da un certo numero di particelle (per esempio, un sistema costituito da due elettroni).
- L'informazione  $|\psi\rangle$  sul sistema globale  $S$  determina l'informazione sulle parti di  $S$ , informazione che non può essere massimale. Pertanto, l'informazione sul *tutto* è più precisa rispetto alle informazioni sulle *parti* che, in certi casi, risultano addirittura *indistinguibili* fra loro (sono appunto *intrecciate*). E, in generale, risulta impossibile invertire il procedimento, ricostruendo l'informazione globale come una *combinazione* di informazioni parziali sugli elementi componenti. E' come se avessimo a che fare con un *puzzle* che, una volta rotto nei suoi pezzi, non può più ricomporsi ricreando l'immagine originaria.

Nel contesto della semantica suggerita dalla teoria dell'informazione quantistica, i fenomeni di *entanglement* possono essere usati in modo naturale per descrivere situazioni semantiche tipicamente olistiche. Possiamo riferirci a *informazioni entangled*, che

3 L'infinità dipende dal fatto che  $|\psi\rangle$ , pur essendo rappresentato come una somma finita, è tuttavia esprimibile rispetto a infinite *basi* diverse dello spazio. Da un punto di vista intuitivo queste basi possono essere interpretate come *prospettive* diverse attraverso cui si può "guardare" i fenomeni studiati.

rappresentano significati di proposizioni composte. Consideriamo, per esempio, una congiunzione che abbia la forma:

$$B \text{ e } C.$$

E' possibile la situazione semantica seguente:

- il significato della congiunzione  $B \text{ e } C$  è una informazione massimale (uno stato puro);
- i significati di entrambe le parti ( $B, C$ ) sono *intrecciati* e non possono essere rappresentati da due stati puri.

Si può dire che il significato preciso della congiunzione  $B \text{ e } C$  determina due significati ambigui per le parti ( $B, C$ ). Dunque, è *il significato del tutto che determina i significati della parti, e non viceversa*. Infatti (diversamente da quello che accade nel caso della semantica classica), non è possibile “andare all' indietro” e ricostruire l' informazione che rappresenta il significato del tutto a partire dai due significati delle parti.

Proviamo ad applicare questo tipo di analisi semantica alla poesia *L' Infinito*. Potremmo artificialmente scomporre la poesia nelle due proposizioni seguenti:

- $C =$  *l' naufragar m' è dolce in questo mare*
- $B =$  la poesia *L' Infinito* senza l'ultimo verso.

Otteniamo così:

$$L' Infinito = B \text{ e } C.$$

Le regole della semantica quantistica descrivono come il significato contestuale dell' ultimo verso  $C$  (un significato tipicamente ambiguo) sia determinato dal significato globale dell'intera poesia.

## 2. Sovrapposizioni di tipo quantistico nella semantica della musica

La semantica astratta suggerita dalla teoria dell' informazione quantistica può essere applicata anche a una analisi formale della musica, per studiare quei fenomeni di ambiguità, di olismo e di contestualità che sono caratteristiche fondamentali dei linguaggi musicali (come di altri linguaggi artistici).

Ogni composizione musicale (una sonata, una sinfonia, un'opera lirica,...) è, in generale, caratterizzata da tre elementi costitutivi:

1. una partitura;
2. un insieme di esecuzioni;
3. un insieme di *pensieri* (o *idee*) musicali, che rappresentano possibili *significati* per le frasi scritte nella partitura.

La partitura di una composizione rappresenta un elemento squisitamente sintattico, simile ai *sistemi formali* delle teorie scientifiche. Come si codifica l'informazione nel caso delle partiture e nel caso dei linguaggi formali usati dalla scienza? La differenza più importante sembra essere la seguente:

- i linguaggi formali delle teorie scientifiche sono fundamentalmente *lineari*: le *espressioni ben formate* sono rappresentate come stringhe mono-dimensionali costituite da simboli dell'alfabeto.
- Le partiture, invece, sono oggetti sintattici fundamentalmente bidimensionali, che hanno nello stesso tempo una componente *orizzontale* e una componente *verticale*. Ogni tentativo di *linearizzare* una partitura condurrebbe a risultati assolutamente anti-intuitivi.

La bidimensionalità caratteristica della notazione musicale è probabilmente connessa, in modo essenziale, con quelle *strutture parallele profonde*, che sembrano avere un ruolo importante nella percezione e nella elaborazione intellettuale delle esperienze musicali. Come tutti sanno, la musica e i discorsi parlati vengono percepiti secondo modalità differenti. Quando più persone parlano simultaneamente, chi ascolta ha spesso una reazione di disagio e di malessere psicologico. Una caratteristica importante della musica è invece il misterioso fenomeno del “piacere polifonico”. Pensiamo a quello che succede nel caso di tanti duetti (o terzetti o quartetti) di opere liriche. L'ascoltatore *sente* il risultato polifonico globale, ma nello stesso tempo riesce a percepire come distinte le diverse linee melodiche e a seguire i diversi *pensieri* dei protagonisti in gioco. Si potrebbero citare molti esempi. Un caso particolarmente significativo è rappresentato da un frammento del celebre duetto della *Traviata*, in cui Germont padre convince Violetta a lasciare Alfredo. Inizialmente Violetta propone a Germont una sorta di compromesso: “Ah comprendo, dovrò per alcun tempo da Alfredo allontanarmi...”. Questo è quello che dice, attraverso una forma di recitativo. Ma, in realtà, Violetta ha capito benissimo che quello che Germont le chiede è molto più grave: la separazione dovrà essere per sempre. Musicalmente, i pensieri e l'angoscia della protagonista sono realizzati non dalla linea melodica del suo canto, ma dalle frasi drammatiche e concitate, che sono affidate agli archi. E la “contraddizione” fra quello che Violetta dice e quello che Violetta pensa (e teme) viene espressa da alcuni accordi dissonanti (per esempio, Violetta “dice” un *la bemolle* e “pensa” un *la naturale*). Si tratta di un esempio significativo in cui il parallelismo della musica riesce a riflettere in modo particolarmente efficace quelle strutture parallele che sono caratteristiche dei nostri processi mentali.

E' possibile (e interessante) rappresentare una partitura musicale come un esempio speciale di linguaggio formale? Le partiture sono, in un certo senso, *formalizzabili*? Questa domanda ammette una risposta positiva, fondata sul concetto di *rappresentazione formale di una partitura musicale*. Intuitivamente possiamo immaginare la struttura formale di una partitura come in insieme di segni scritti su un quaderno a quadretti: ogni riga del quaderno corrisponde a un particolare strumento, mentre ogni colonna descrive suoni che devono essere eseguiti simultaneamente. Ogni *casella* (“quadretto”) del nostro quaderno può essere trattata come un “contenitore” per un *atomo di informazione*: potrebbe trattarsi, per esempio, di un simbolo di pausa. Matematicamente, tutto questo può essere descritto in modo adeguato attraverso particolari configurazio-

ni bidimensionali, che si comportano come *matrici*.

Mentre le partiture rappresentano la componente sintattica delle opere musicali, le *esecuzioni* sono eventi fisici, che accadono nello spazio e nel tempo.<sup>4</sup> Da un punto di vista logico, potremmo dire che le esecuzioni si comportano come significati di tipo *estensionale* (sistemi di oggetti ben determinati a cui si riferiscono le espressioni linguistiche).

I *pensieri* (o *idee*) musicali rappresentano indubbiamente un elemento più misterioso. E' davvero opportuno ipotizzare l'esistenza di questi oggetti ideali, che assomigliano ai significati *intensionali* di cui tratta la logica? O c'è il rischio di aderire implicitamente a una qualche forma di platonismo? In realtà, quando si discute di problemi semantici, non bisogna aver troppa paura del platonismo. In particolare, nel caso della musica, una composizione non è riducibile semplicemente a una partitura e a un insieme di esecuzioni. Fra una partitura (che è un sistema di segni) e gli eventi sonori creati dalle esecuzioni esiste qualcosa di intermedio: è il mondo delle idee musicali che determinano le diverse esecuzioni. Questo è l'ambiente astratto in cui vivono i compositori e gli stessi direttori di orchestra che, quando studiano una partitura, di solito non hanno bisogno dell'aiuto di uno strumento fisico.

Su questa base diventa possibile analizzare con strumenti formali il concetto un po' misterioso di *interpretazione di una composizione musicale* (molto discusso da musicologi e musicisti, che hanno proposto prospettive e soluzioni diverse).

Consideriamo una partitura **Pa** (per esempio, la partitura della *Nona Sinfonia* di Beethoven) e cerchiamo innanzitutto di identificare gli elementi che hanno un ruolo fondamentale in ogni possibile interpretazione della nostra partitura.

#### **a) La scelta delle frasi**

Per ogni frammento rilevante della partitura, una interpretazione di solito raccoglie i tanti segni scritti in quel frammento in poche *frasi musicali* considerate significative e queste frasi vengono fatte "dialogare" fra loro creando un caratteristico "disegno musicale". Pensiamo a un'opera strumentalmente complessa (per esempio, a una Sinfonia di Brahms o di Mahler): il direttore d'orchestra (ma anche l'ascoltatore) non sente come separati i suoni che corrispondono alle righe (in partitura) dei diversi strumenti, ma sembra invece raccogliarli in complessi olistici che si comportano come *voci* individuali. Da un punto di vista formale, ha senso allora stabilire che il primo elemento di una interpretazione sia una suddivisione in frasi della partitura, che chiameremo *copertura* **Fr** della partitura. Si tratta di un passo fondamentale che stabilisce un "ponte" fra sintassi e semantica.

#### **b) La scelta dei tempi**

Un secondo elemento importante che caratterizza ogni interpretazione particolare è la scelta dei tempi. Come si sa, esecuzioni diverse di una stessa partitura possono avere

<sup>4</sup> In realtà, per alcune composizioni (che non appartengono alla tradizione della musica scritta) la partitura può mancare. In questi casi, una composizione è identificata da un insieme di esecuzioni e da un insieme di pensieri (o idee) musicali.

durate molto diverse e ogni frase ha una sua durata caratteristica nei diversi contesti interpretativi. Le indicazioni di metronomo hanno solo un valore approssimativo: se fossero rispettate con assoluta fedeltà determinerebbero interpretazioni terribilmente monotone.

Come descrivere astrattamente la scelta dei tempi nell'ambito di una interpretazione particolare? Possiamo assumere come secondo elemento costitutivo di una interpretazione una funzione temporale, che indicheremo con **Temp**. Questa funzione associa a ogni colonna della partitura una *durata*, che corrisponde alla lunghezza di un intervallo temporale (per esempio 5 secondi). Naturalmente, come succede in tutte le scienze sperimentali, le lunghezze degli intervalli temporali sono calcolate a meno di un possibile "errore". Pertanto, le durate di cui si parla sono sempre approssimate e sfumate.

Su questa base, la funzione **Temp** determina automaticamente la durata di ogni singola frase e dell'intera partitura. Da un punto di vista espressivo, **Temp** realizza tutte le scelte dinamiche dell'interprete (gli *accelerando*, i *ritardando*, i *rubati*, e così via), che spesso non hanno un corrispettivo sintattico preciso nella partitura.

### c) La scelta dei significati musicali

La scelta dei *significati musicali* coinvolge quegli oggetti ideali un po' misteriosi che abbiamo chiamato *pensieri* (o *idee*) *musicali*. Per analizzare il loro comportamento e la loro struttura formale, possiamo ricorrere alle regole della semantica quantistica. In questo modo i significati musicali possono essere rappresentati come *sovrapposizioni di idee musicali*, che descrivono in modo ambiguo una varietà di situazioni semantiche coesistenti. E, come accade nel caso dei sistemi quantistici *entangled*, ogni significato globale determina i *significati contestuali* delle parti, ma in generale non viceversa!

L'insieme di tutti i significati musicali possibili rappresenta naturalmente una sorta di universo virtuale: ogni interpretazione della partitura dovrà poi scegliere in questo universo un significato particolare (identificato da un pensiero musicale) per ogni frase che appartenga alla copertura **Fr**. In altri termini, si tratta di associare a ogni *frase sintattica* una *frase semantica* che ne rispetti la forma linguistica.

Nelle semantiche delle teorie scientifiche, ogni *modello* di una teoria associa a ogni espressione del linguaggio un *significato* che "vive" nel sistema di oggetti creato dal modello in questione. In modo simile, anche nel caso della semantica musicale, è naturale richiedere l'esistenza di una funzione di *realizzazione semantica* **Real**, che a ogni frase sintattica *F* della copertura **Fr** associ una opportuna *frase semantica*, determinando anche un significato contestuale per ogni sottofrase di *F*.

Fino a che punto la funzione **Real** deve preservare le informazioni contenute nella partitura? In linea di principio, una *interpretazione fedele* dovrebbe rispettare *tutte* le informazioni scritte. Tuttavia, sappiamo che di fatto questo non avviene quasi mai nel caso delle esecuzioni reali, sia per errori tecnici sia per scelte espressive degli interpreti. E' possibile descrivere formalmente la "fedeltà" (o "infedeltà") di una data interpreta-

zione? Come si fa nelle scienze sperimentali, possiamo richiedere che **Real** rispetti le informazioni contenute nella partitura con una certa *precisione*, che rappresenta una caratteristica specifica dell'interpretazione in questione. Si tratta di un parametro numerico, che si può definire in modo ragionevole e che misura il *grado di fedeltà* rispetto alla partitura.

#### d) La scelta dei significati extramusicali

I *significati musicali* (che, in questa semantica, sono trattati come *oggetti ideali autonomi*) possono eventualmente rimandare a dei *mondi extramusicali*, senza però identificarsi con questi mondi. E' ben noto che la capacità di *evocare* situazioni extramusicali (emozioni, sentimenti, descrizioni, ...) è, in molti casi, una caratteristica importante delle interpretazioni di una partitura. E quando la partitura include un testo (come succede sempre nel caso delle opere liriche, dei *Lieder*, dei poemi sinfonici) il rimando a situazioni esterne alla musica diventa essenziale. Come trovare un corrispettivo formale per questo tipo di correlazioni fra eventi musicali e eventi non musicali? Possiamo assumere come ultimo elemento costitutivo di una interpretazione musicale una funzione che associa a ogni frase  $F$  della copertura **Fr** un *mondo di significati extramusicali*. Indicheremo questa funzione con **Mond** e ammetteremo che, in certi casi, **Mond**( $F$ ) possa essere l'insieme vuoto. In altri termini, possono esserci opere (o parti di opere) i cui significati sono tutti "interni" alla musica (pensiamo, per esempio, al caso di opere molto "astratte" come *L'arte della Fuga* di Bach).

Come descrivere astrattamente i valori della funzione **Mond**? Si tratta di rendere quel carattere vago, ambiguo e soggettivo che è caratteristico dei sentimenti e delle situazioni concrete evocate dalla musica. La semantica classica non potrebbe certo essere utilizzata a questo scopo. Possiamo allora ricorrere a un tipo speciale di semantica di *mondi possibili*, dove tutti gli oggetti hanno, in generale, un comportamento vago, ambiguo e sfumato. In un contesto teorico di questo genere, diventa allora ragionevole identificare **Mond**( $F$ ) con un mondo possibile particolare. Chiaramente, la creazione dei mondi possibili da associare alle diverse frasi della partitura, rappresenta una caratteristica specifica dell'interpretazione scelta da ciascun interprete.

La funzione **Mond** ha naturalmente un ruolo privilegiato nella forma musicale del *Lied*. Com'è noto, la caratteristica fondamentale della struttura dei *Lieder* è una "coesistenza" fra tre componenti diverse: il mondo creato da una *poesia* (che in molti casi è un classico della letteratura, con una sua vita propria indipendente dalla musica), la linea melodica del canto, l'accompagnamento strumentale (la cui complessità può essere, entro certi limiti, indipendente sia dal testo sia dal canto).

Un questione cruciale, che è stata spesso discussa da musicologi e musicisti, riguarda il tipo di relazione che sussiste fra il testo e la musica di un *Lied*. Indubbiamente, ogni realizzazione musicale trasforma il testo originario in un *oggetto semantico globale* completamente nuovo, di cui però quel testo resta una componente importante.

Ha scritto Arnold Schönberg:

Un paio di anni fa provai una profonda vergogna scoprendo che, per alcuni Lieder di Schubert, a me ben noti, non avevo mai avuto la minima idea dell'argomento trattato dal testo poetico. Ma quando poi ebbi letto le poesie, mi accorsi che non avevo ricavato alcun elemento per la comprensione di quei Lieder, perché esse non mi costringevano minimamente a modificare l'idea che mi ero fatto della musica. Al contrario, mi accorsi che, senza conoscere la poesia, ne avevo afferrato il contenuto, il contenuto vero, forse più profondamente che se fossi stato aderente alla superficie dei veri e propri pensieri espressi dalle parole.<sup>5</sup>

Si tratta di una affermazione che, a prima vista, può apparire paradossale. Probabilmente Schönberg voleva riferirsi proprio al *significato musicale complessivo* della forma Lied, che in qualche modo *assorbe e rinnova* tutti i significati parziali dei testi letterari originari.

C'è un *test* interessante che è possibile fare: che cosa succede quando una stessa poesia viene musicata da compositori diversi? Possiamo riferirci ad alcuni esempi significativi, che rappresentano dei veri classici nella storia del Lied: le canzoni di *Mignon* e dell'*Arpista*, dal *Wilhelm Meisters Lehrjahre* di Goethe, che sono state musicate da vari compositori, fra cui Schubert e Schumann. Consideriamo, per esempio, la celebre poesia "Kennst du das Land" e proviamo a confrontare i due Lieder di Schubert (1815) e di Schumann (1849).

Nel romanzo di Goethe, la figura di Mignon è una sorta di enigma: una bambina (chiamata spesso "das Kind"), che è anche una donna appassionatamente innamorata, dominata da un sentimento di perenne nostalgia (*Sehnsucht*) per un passato che ha giurato di non rivelare e che in realtà non ricorda. In "Kennst du das Land" Mignon cerca di conciliare amore e nostalgia con il desiderio di tornare, insieme con l'amato, nella terra dei suoi vaghi e misteriosi ricordi.

#### Lied der Mignon

Kennst du das Land, wo die Zitronen blühn,  
im dunklen Laub die Goldorangen glühn,  
ein sanfter Wind vom blauen Himmel weht,  
die Myrte still und hoch der Lorbeer steht?  
Kennst du es wohl?  
Dahin, dahin  
möcht' ich mit dir, o mein Geliebter ziehn!

Kennst du das Haus, auf Säulen ruht sein Dach,  
es glänzt der Saal, es schimmert das Gemach,  
und Marmorbilder stehen und sehn mich an:  
was hat man dir, du armes Kind, getan?  
Kennst du es wohl?  
Dahin, dahin

5 A. Schönberg, "Das Verhältnis zum Text", *Der blaue Reiter*, München, 1912. Traduzione italiana in L. Rognoni, *La scuola musicale di Vienna*, Einaudi, Torino, 1966.

möcht' ich mit dir, o mein Beschützer ziehn!  
 Kennst du den Berg und seinen Wolkensteg?  
 Das Maultier sucht im Nebel seinen Weg,  
 in Höhlen wohnt der Drachen alte Brut,  
 es stürzt der Fels und über ihn die Flut:  
 kennst du ihn wohl?  
 Dahin! Dahin geht unser Weg; o Vater lass uns ziehn!<sup>6</sup>

I due Lieder di Schubert e di Schumann sono profondamente diversi, anche se entrambi esprimono il carattere drammatico e misterioso della figura di Mignon. Nella versione di Schubert è presente un elemento di “consolazione”, a partire dal modo maggiore della tonalità d’impianto: per esempio, l’ *incipit* suona quasi come una dolce ninna nanna, dove la linea melodica del “Kennst du das Land” ha un tranquillo andamento cantilenante. Subito dopo, i versi “Ein sanfter Wind...” sembrano descrivere un’immagine gioiosa, anche attraverso le serene terzine dell’ accompagnamento. Il momento del dubbio, dell’ansia si prefigura appena con gli accordi sottesi al “Kennst du es wohl?”. In fondo, se conoscessimo solo il Lied di Schubert e non avessimo letto il romanzo di Goethe, potremmo pensare che la “storia” di Mignon e di Wilhelm sia compatibile con una sorta di *happy end*. In particolare, il finale, in maggiore, sulla parola “dahin” (ripetuta quattro volte) sembra suggerire uno slancio vitale ottimistico, anche se alcuni elementi dissonanti nel precipitoso accompagnamento insinuano un’ombra di dubbio.

Il Lied di Schumann è invece completamente dominato da un senso di angoscia, che sembra prefigurare la fine tragica della protagonista. Musicalmente, tutto questo viene espresso attraverso una sorta di “ripiegamento” su se stessa della melodia, il cui andamento insiste su dolorosi intervalli di seconda minore discendente, sull’utilizzo del modo minore e sull’uso frequente di accordi diminuiti e dissonanti, a partire dall’introduzione pianistica che ci cala subito in un clima di “implosione” emotiva. Mentre l’ *incipit* di Schubert aveva un andamento rassicurante, di segno positivo, il “Kennst du das Land...?” di Schumann contiene un ansioso punto interrogativo, affidato all’intervallo di quarta ascendente, che interrompe l’andamento per gradi congiunti del primo verso. Subito dopo, il suo “Ein sanfter Wind...” non suggerisce immagini tranquille, ma solo una tempesta di sentimenti angosciati, con l’improvvisa estensione della voce (nell’ambito di una nona ascendente) e gl’inquieti cromatismi delle terzine di accordi ribattuti nell’ accompagnamento pianistico. Diversamente da Schubert, Schumann

6 Conosci la terra, dove fioriscono i limoni, / le arance dorate splendono fra le foglie scure, / dal cielo azzurro spira un mite vento, / quieto sta il mirto e alto l’ alloro? / La conosci tu forse? / Laggiù, laggiù io / vorrei andare con te, mio amato! / Conosci la casa? Il tetto posa su colonne, / risplende la sala, brilla la stanza, / e statue marmoree mi guardano: / che cosa ti hanno fatto, povera bambina? / La conosci tu forse? / Laggiù, laggiù io / vorrei andare con te, mio difensore! / Conosci il monte e il suo sentiero fra le nuvole? / Il mulo cerca la sua strada nella nebbia, / l’ antica stirpe dei draghi abita in spelonche, / precipita la rupe e sopra le onde, / lo conosci tu forse? / Laggiù! Laggiù va la nostra via: padre, andiamo!

termina non sulla parola “dahin”, ma sul verso “O Vater, lass uns ziehn!”, che esprime una dolorosa preghiera. La conclusione è affidata al pianoforte, che incornicia il Lied come al suo inizio, lasciandoci sospesi come su un abisso, con un punto interrogativo evocato per mezzo di un semplice intervallo ascendente di tonica-dominante.

Naturalmente sarebbe irragionevole chiedersi: quale Lied è più fedele alla poesia di Goethe? In un certo senso, ogni diversa realizzazione musicale *crea* una poesia nuova, che è parte di un *oggetto semantico globale*. Le caratteristiche olistiche del rapporto musica-testo rappresentano forse una delle ragioni che possono “spiegare” alcuni comportamenti psicologici e cognitivi diffusi fra i cantanti. Per esempio, un cantante che conosca perfettamente a memoria un Lied o un’aria d’opera, di solito non riesce facilmente a recitare a memoria il testo separato dalla musica. Ed è assolutamente improbabile che confonda due Lieder diversi solo perché sono fondati sullo stesso testo!

Il comportamento contestuale del nostro “cervello musicale” sembra confermato da alcuni esperimenti che sono stati fatti da neuroscienziati attraverso l’uso di tecniche di “brain imaging”. Un caso interessante è quello di un pianista che è stato analizzato in due situazioni diverse: mentre eseguiva una semplice scala di *fa maggiore*, e mentre eseguiva la stessa scala inserita nel contesto di una composizione di Bach (il terzo movimento - Presto - del *Concerto italiano* BWV 971). E’ risultato che nelle due diverse situazioni le aree cerebrali attivate erano diverse. Sembra dunque che uno stesso *input* musicale (l’esecuzione di una scala) venga percepito ed elaborato dal cervello secondo modalità diverse, in funzione del contesto in cui è inserito<sup>7</sup>.

Proviamo ora a riassumere la nostra analisi formale del concetto di *interpretazione musicale*. In modo simile a quanto accade nel caso dei modelli delle teorie scientifiche, una *interpretazione* di una partitura **Pa** può essere rappresentata come un struttura che ha la forma seguente:

**(Fr, Temp, Real, Mond),**

dove:

- **Fr** è un insieme di frasi che è una copertura di **Pa**;
- **Temp** è la funzione che associa a ogni colonna di **Pa** una durata temporale;
- **Real** è la funzione di *realizzazione semantica* che associa a ogni frase sintattica *F* (appartenente a **Fr**) una frase semantica che rispetta la complessità linguistica di *F*.
- **Mond** è la funzione che assegna a ogni frase *F* (appartenente a **Fr**) un *mondo possibile vago* (eventualmente vuoto), che rappresenta il significato extramusicale di *F*.

Su questa base diventa possibile seguire l’esempio delle teorie scientifiche e rappre-

<sup>7</sup> Si veda L.M. Parsons, J. Sergent, D.A. Hodges, P.T. Fox, “The brain basis of piano performance”, *Neuropsychologia* 43 (2) (2005), pp. 199-215. L’esperimento mi è stato segnalato da Sandro Sorbi.

sentare astrattamente ogni opera musicale come una coppia  $(\mathbf{Pa}, \mathbf{K})$ , costituita da una partitura  $\mathbf{Pa}$  e dalla classe  $\mathbf{K}$  di tutte le sue possibili interpretazioni. Sappiamo che nel caso delle teorie scientifiche, la classe dei modelli possibili è sempre infinita (anche quando esiste un modello privilegiato, che viene di solito chiamato *il modello standard* della teoria). Che cosa si può dire nel caso delle opere musicali? Naturalmente, i musicisti e i musicologi sono interessati non tanto a *tutte* le interpretazioni possibili in senso astratto (anche queste infinite), ma piuttosto alle interpretazioni che sono state realizzate storicamente. In questo contesto semantico, la storia interpretativa di un'opera si lascia, in un certo senso, descrivere come una sorta di "viaggio" attraverso la classe  $\mathbf{K}$ . Si tratta di un viaggio virtualmente infinito, che Daniel Barenboim ha descritto in maniera molto efficace:

Lo spartito è la sostanza ultima, l'opera perfetta, mentre la sua interpretazione è un' espressione finita e transitoria, che si svolge nel tempo e ha un inizio e una fine. Essere in grado di afferrare la sostanza della musica in sé significa essere pronti a intraprendere una ricerca che non terminerà mai. Il compito di un musicista che esegue un brano, dunque, non è quello di esprimere o interpretare la musica in quanto tale, ma di puntare a diventarne parte. E' quasi come se l'interpretazione di un testo costituisse di per sé un sottotesto che si sviluppa, confermando, variando e contrastando il testo reale. Questo sottotesto è insito nello spartito ed è a sua volta illimitato; esso deriva da un dialogo fra l'interprete e lo spartito, e la sua ricchezza è determinata dalla misura della curiosità dell' esecutore... Essere "fedeli allo spartito", una frase che si sente ripetere spesso, significa molto di più che riprodurlo letteralmente in forma sonora; esaminando la questione da questa prospettiva, si può dire che non esiste fedeltà assoluta allo spartito. La fedeltà letterale rappresenta solo metà dell'equazione, l'altra metà è costituita dagli interrogativi che ci spingono ad analizzare e a comprendere ogni parte della musica in relazione alla natura ultima dell' insieme.<sup>8</sup>

In questo senso ogni composizione musicale ci appare come essenzialmente *non finita e aperta*.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] BARENBOIM, D., *La musica sveglia il tempo*, Feltrinelli, Milano, 2007.
- [2] BENT, I., DRABKIN, W., *Analisi musicale*, EDT, Torino, 1990.
- [3] DALLA CHIARA, M., GIUNTINI, R., LUCIANI, A.R., NEGRI, E., *From Quantum Information to Musical Semantics*, College Publications, London, 2012.
- [4] DALLA CHIARA, M., GIUNTINI, R., GREECHIE, R., *Reasoning in Quantum Theory*, Kluwer, Dordrecht, 2004.
- [5] DALLA CHIARA, M., GIUNTINI, R., NEGRI, E., "From quantum mechanics to music", *Advanced Science Letters* 1 (2008), pp. 169-178.
- [6] DALLA CHIARA, M., GIUNTINI, R., LEDDA, A., LEPORINI, R., SERGIOLI, G., "Entanglement as a semantic resource", *Foundations of Physics* 40 (2009), pp. 1494-1518.
- [7] DALLA CHIARA, M., GIUNTINI, R., NEGRI, E., "Un' analisi formale delle partiture musicali", *Civiltà musicale* 58/59 (2006), pp. 19-46.
- [8] LECHEVALIER, B., *Il cervello di Mozart*, Bollati Boringhieri, Torino, 2006.
- [9] PARSONS, L.M., SERGENT, J., HODGES, D.A., FOX, P.T., "The brain basis of piano performance", *Neuropsychologia* 43 (2) (2005), pp. 199-215 .
- [10] SCHOENBERG, A., "Das Verhältnis zum Text", *Der blaue Reiter*, München, 1912. Traduzione italiana in ROGNONI, R., *La scuola musicale di Vienna*, Einaudi, Torino, 1966.
- [11] TORALDO DI FRANCIA, G., "Music and Science", in DALLA CHIARA, M. et al. (a cura di), *Language, Quantum, Music*, Kluwer, Dordrecht, 1999.



# LEZIONI-INCONTRO





# *Area Chimico-Fisica*



# I MINI BIG BANG DEL “LARGE HADRON COLLIDER”<sup>1</sup>

(ALLA SCOPERTA DELLE LEGGI CHE GOVERNANO L’UNIVERSO)

RINO CASTALDI

*INFN, Sezione di Pisa*

## 1. Introduzione

La conoscenza che abbiamo del nostro Universo e della sua evoluzione dal Big Bang ai giorni nostri è ancora molto limitata. Nell’ultimo secolo abbiamo capito molte cose della materia con cui si sono formati i pianeti, i soli e le galassie, ma questa materia è solo il 5% dell’energia totale che costituisce il nostro Universo.

Negli ultimi cinquant’anni i fisici subnucleari sono stati capaci di costruire una bellissima teoria, il così detto *Modello Standard*, che è in grado di descrivere con incredibile dettaglio tutte le proprietà delle particelle elementari di cui è costituita la materia. Le previsioni di questa teoria sono state verificate con grandissima precisione al grande acceleratore LEP del CERN di Ginevra in cui fasci di elettroni e di positroni venivano fatti scontrare dopo essere stati accelerati fino a raggiungere velocità di pochissimo inferiori alla velocità della luce. Al Fermilab di Chicago dallo scontro di fasci di protoni e di antiprotoni di altissima energia è stato possibile produrre e rivelare l’ultimo e più pesante quark, il top, sancendo definitivamente la validità delle previsioni del *Modello Standard*.

Nonostante questi incredibili successi del modello teorico, vani erano stati i tentativi di rivelare a queste grandi macchine acceleratrici quella particella, il così detto bosone di Higgs, che la teoria prevedeva dovesse esistere per poter dare coerenza a tutto il modello.

È stato proprio l’insuccesso di questa ricerca che ha spinto la comunità internazionale dei fisici subnucleari a progettare e costruire il *Large Hadron Collider* (LHC), l’acceleratore di particelle più grande e più potente del mondo.

## 2. Il Collisionatore *Large Hadron Collider*

Al CERN [1], nei pressi di Ginevra sul confine tra la Svizzera e la Francia, in un tunnel circolare di 27 Km di circonferenza, scavato cento metri sotto terra, negli ultimi due anni LHC ha permesso di ampliare la nostra conoscenza del mondo delle particelle subatomiche facendole scontrare ad altissima energia, riproducendo così quelli che possono essere considerati dei veri e propri mini-Big Bang.

---

<sup>1</sup> Lezione[6] tenuta a Sansepolcro (AR) presso il Liceo San Bartolomeo ex INPDAP il 17/01/2013, a Massa presso il Liceo Scientifico Enrico Fermi il giorno 7/12/2012 e a Grosseto presso il Liceo Scientifico G. Chelli il 21/11/2012.



Figura 1. Veduta aerea della zona dove si trova LHC

In figura 1 la circonferenza del tunnel sotterraneo di LHC è tratteggiata sulla veduta aerea della zona dove sono ben visibili, a destra l'aeroporto di Ginevra e il lago Lemano (in Svizzera), e a sinistra le propaggini dei monti del Giura (in Francia). Nel tunnel di LHC due intensi fasci di particelle subatomiche vengono accelerati fino a raggiungere velocità di pochissimo inferiori alla velocità della luce, guidati su ben definite orbite da intensi campi magnetici generati dalle migliaia di grandi magneti superconduttori che costituiscono l'acceleratore.

Le particelle dei due fasci, una volta raggiunta l'energia massima dell'acceleratore, vengono fatte scontrare tra loro riportando i quark di cui sono costituite nelle stesse condizioni di temperatura e di densità in cui si erano trovati pochi milionesimi di miliardesimi di secondo dopo che il *Big Bang* dette origine al nostro Universo quattordici miliardi di anni fa.

Per mantenere stabilmente i fasci di particelle sulle orbite circolari dell'acceleratore sono necessari ben 1232 dipoli magnetici superconduttori di 15 metri di lunghezza disposti lungo tutta la circonferenza della macchina. Uno scorcio del tunnel dell'acceleratore con alcuni di questi dipoli è mostrato in figura 2. Ciascun dipolo è in grado di generare su tutta la sua lunghezza un campo magnetico di 8 tesla, un campo cioè che è ben duecentomila volte più intenso del campo magnetico terrestre.



Figura 2. Tunnel di LHC con un “dipolo superconduttore” in primo piano

Altri 392 quadrupoli magnetici superconduttori sono necessari per mantenere i fasci ben focalizzati lungo tutta la traiettoria delle particelle, mentre molti altri magneti di tipo sestupolo, ottupolo, decapolo etc. per un totale di circa 9600 magneti disposti lungo l’anello sono necessari per far funzionare correttamente l’acceleratore.

La realizzazione di una macchina così complessa ha richiesto lo sviluppo di tecnologie raffinatissime e la necessità di utilizzare strumenti di analisi e sistemi di controllo altamente sofisticati. Per ottenere le prestazioni necessarie i magneti superconduttori devono lavorare alla temperatura dell’elio superfluido cioè ad una temperatura di 1,9 gradi Kelvin (circa  $-271$  gradi centigradi) che è molto vicina allo zero assoluto. Questi magneti risultano pertanto essere gli oggetti più freddi di tutto l’Universo trovandosi ad una temperatura più bassa di quasi un grado rispetto a quella che si trova negli spazi vuoti extragalattici. Inoltre a LHC i quark delle particelle, quando queste sono accelerate alla massima energia, si scontrano a temperature equivalenti a miliardi di volte le temperature che ci sono sul Sole. Pertanto, meraviglia della tecnologia, all’interno dell’acceleratore vengono create, contemporaneamente e a piccolissime distanze le une dalle altre, le temperature più fredde e quelle più calde di tutto l’Universo.

E’ proprio in questi scontri tra particelle di energia altissima, ben diecimila miliardi di volte superiore all’energia dei fotoni emessi da una lampadina, che si cercano delle risposte alle molte domande che ancora oggi i fisici subnucleari si pongono sulla natura del nostro Universo.

### 3. Gli apparati sperimentali

Due apparati sperimentali di enormi dimensioni (CMS e ATLAS) [2], insieme a due apparati di dimensioni intermedie (ALICE e LHCb) [3] e ad altri due di dimensioni più piccole ma non per questo meno importanti (TOTEM e LHCf) [4], frutto del lavoro di più di quindici anni da parte di migliaia di fisici e ingegneri provenienti da ogni parte del mondo, registrano gli eventi che avvengono in questi scontri ad altissima energia tra i costituenti ultimi della materia come fossero delle enormi e sofisticate macchine fotografiche.

In ciascuno di questi scontri vengono prodotte alcune centinaia di particelle elementari di varia natura. Quando l'acceleratore funziona al massimo delle sue potenzialità, di questi scontri ne avvengono ben 100 milioni al secondo producendo quindi decine di miliardi di particelle ogni secondo. Gli apparati sperimentali devono essere in grado di riconoscere ogni tipo di tutte queste particelle prodotte e misurarne con grande precisione l'energia e l'impulso con cui emergono dall'interazione per poter capire la natura degli eventi prodotti. Per riuscire in questa non semplice operazione sono necessari degli apparati sperimentali molto complessi costituiti da vari sotto-rivelatori ciascuno specializzato per identificare e misurare i diversi tipi di particelle.

Questi giganteschi apparati, alti quanto un palazzo di cinque piani e pesanti anche più di 12000 tonnellate, hanno una struttura a strati con i sotto-rivelatori uno all'interno dell'altro come in una matryoska e sono posizionati dove le particelle dei fasci di LHC si scontrano, cioè nei punti da dove emergono le particelle prodotte in questi scontri.

In figura 3 è raffigurato come vengono rivelati i vari tipi di particelle in un settore di una sezione trasversale di CMS. Una figura del tutto analoga si otterrebbe con un equivalente settore di ATLAS dato che i due apparati ricostruiscono con risoluzioni simili, anche se con tecnologie diverse, gli eventi di LHC.

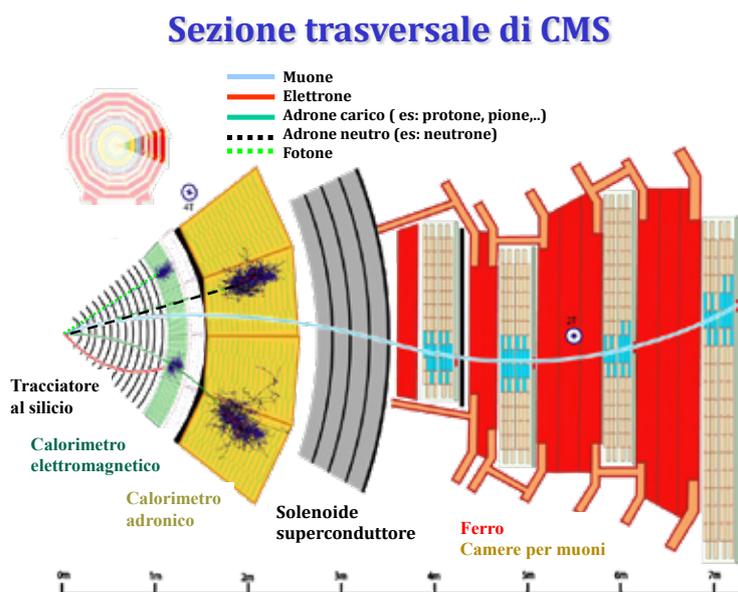


Figura 3. Metodo di rivelazione dei vari tipi di particelle

Il primo rivelatore che le particelle prodotte incontrano emergendo dal punto di interazione è il così detto “tracciatore” capace di ricostruire le traiettorie di tutte le particelle cariche prodotte nell’evento. Nello strato successivo si trova il “calorimetro elettromagnetico” necessario per la misura dell’energia degli elettroni e dei fotoni. Ancora dopo viene il “calorimetro adronico” capace di misurare l’energia dei così detti “adroni” quali per esempio i protoni, i neutroni, i pioni e altri tipi di particelle che interagiscono nel calorimetro in modo simile a questi. La parte più esterna dell’apparato sperimentale è riservata al “rivelatore per muoni”, particelle simili agli elettroni ma che, avendo una massa molto più alta, sono capaci di penetrare tutto il denso materiale dell’apparato. Il tracciatore, ma talvolta come nel caso di CMS anche i calorimetri, è immerso in un forte campo magnetico che permette di misurare l’impulso delle particelle cariche misurandone con precisione le relative traiettorie.

#### 4. La scoperta del Bosone di Higgs

Dopo vent’anni da quando questo progetto ha preso forma, il 04/07/2012, è stato annunciato al mondo che i due esperimenti CMS e ATLAS indipendentemente hanno osservato [5] una nuova particella con una massa di circa 125-126 GeV che potrebbe verosimilmente essere il bosone ipotizzato da Higgs. I due esperimenti hanno successivamente acquisito molti altri dati fino alla fine del 2012 riconfermando l’esistenza di questa nuova particella e mostrando che le sue caratteristiche sono proprio quelle che ci si aspetta dal bosone di Higgs. L’osservazione di questa nuova particella costituisce quindi un piccolo ma certamente significativo passo avanti verso una sempre più approfondita conoscenza del mondo fisico.

## Il Modello Standard

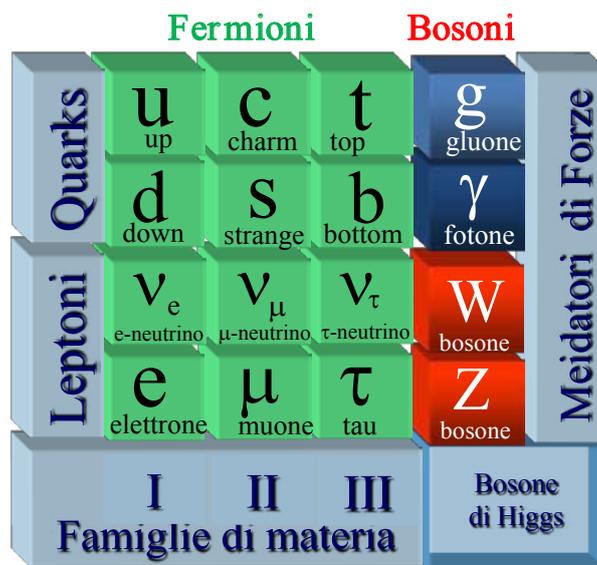


Figura 4. Rappresentazione pittorica del Modello Standard

Una delle questioni più dibattute degli ultimi cinquant’anni è stata quella di quale fosse l’origine della massa delle particelle elementari e del perché alcune avessero masse

molto grosse, altre invece fossero leggerissime e altre ancora addirittura prive di massa. L'esistenza di questa particella con le caratteristiche giuste avvalorava l'ipotesi molto convincente, proposta dal fisico Peter Higgs contemporaneamente a F. Englert e R. Brout, secondo la quale le particelle elementari avrebbero masse così diverse solo perché così diverse sono le loro interazioni con un campo di forza, appunto il campo di Higgs, di cui è permeato tutto lo spazio fisico. Così, con la scoperta del bosone di Higgs, la particella responsabile di questo campo, si completa finalmente la teoria del *Modello Standard*.

In figura 4 viene rappresentato pittoricamente l'essenza del Modello Standard con le tre generazioni dei fermioni (i quark e i leptoni) raffigurati come i mattoni fondamentali che costituiscono la materia e che interagiscono tra di loro con delle forze mediate dai rispettivi bosoni di scambio (il fotone, i gluoni, lo  $Z^0$  ed i  $W^\pm$ ) e con, finalmente, il bosone di Higgs che determina i valori delle loro masse.

## 5. I misteri dell'Universo

Nell'Universo, così come ci appare, esistono altri fatti sconcertanti e assolutamente misteriosi a cui la fisica moderna non sa dare una risposta. Sappiamo dalle più recenti osservazioni di astrofisica che tutte le cose che vediamo, dal granello di sabbia più insignificante fino all'immensità delle galassie più lontane, costituiscono meno del 5% dell'energia di cui il nostro Universo è formato. Questo fatto è mostrato pittoricamente in figura 5 dettagliando le percentuali delle varie forme di materia/energia esistenti nell'Universo. In particolare i dati astrofisici in nostro possesso ci dicono che tutte le galassie che vediamo sono immerse in una specie di materia misteriosa, la così detta *materia oscura*, che nonostante sia cinque volte più abbondante della materia ordinaria, finora non siamo riusciti a capire in cosa consista.

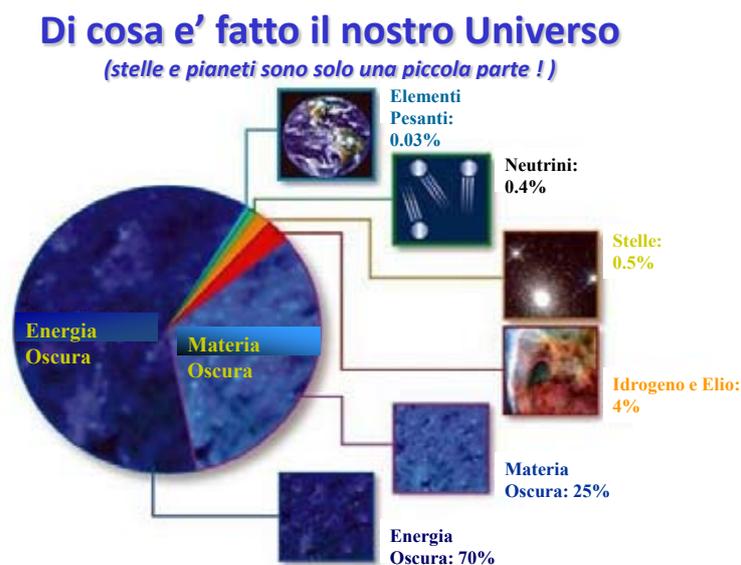
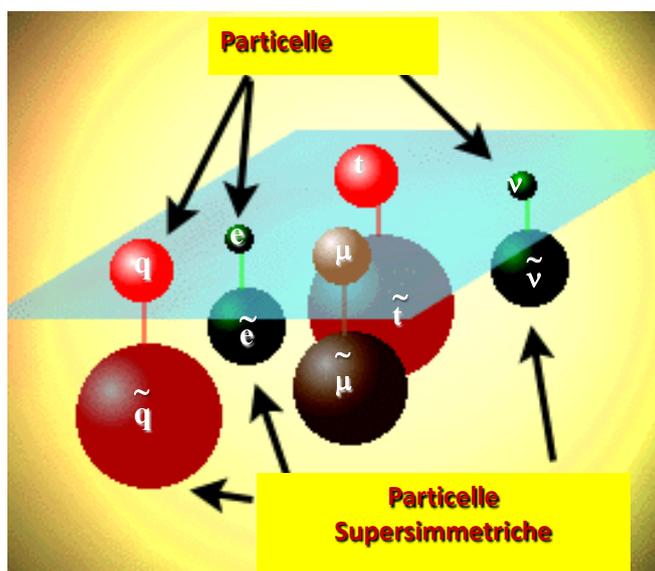


Figura 5. Percentuali delle varie forme di energia che compongono l'Universo

A LHC anche questo mistero potrebbe essere finalmente svelato. Esistono infatti teorie abbastanza convincenti, ma non ancora verificate, che prevedono l'esistenza nel nostro mondo di particelle molto pesanti, chiamate nel gergo dei fisici *particelle supersimmetriche*.

Queste particelle sarebbero altrettanto numerose e di tipo speculare alle particelle elementari che costituiscono la materia visibile (si veda la figura 6) ma, interagendo con essa molto debolmente e avendo delle masse molto più alte, non sarebbero state mai osservate, nemmeno a LHC, perché fino ad ora nemmeno questo potentissimo acceleratore ha avuto l'energia sufficiente per poterle creare.

#### *La Materia Oscura è costituita da particelle supersimmetriche ?*



*Figura 6. La “Supersimmetria” prevede per ogni particella elementare l'esistenza di una particella-partner supersimmetrica*

## 6. Il futuro di LHC

Attualmente LHC non sta funzionando perché sono in corso dei complessi lavori di potenziamento che dovrebbero permettere, quando l'acceleratore tornerà di nuovo a funzionare all'inizio del 2015, di avere energie di collisione fino a quasi due volte le energie che sono state fino ad oggi disponibili.

La speranza è che a queste nuove energie sia possibile produrre in abbondanza anche le particelle supersimmetriche. Se sarà così, potremo capire la natura di queste elusive particelle e svelare finalmente il mistero dell'energia oscura. E le speranze dei fisici non finiscono qui, ma LHC, con queste nuove altissime energie, potrebbe dare una risposta a molte altre domande.

Noi viviamo in un mondo fatto di sola materia, ma al momento del Big Bang materia e antimateria dovevano essere presenti in ugual misura; e allora, che fine ha fatto tutta l'antimateria?

Noi crediamo che i mattoncini ultimi e indivisibili con cui è costruito il mondo

siano i leptoni e i quark; ma se avessero essi stessi una struttura interna? Pensiamo che anche questa struttura potrebbe rivelarsi alle nuove energie di LHC.

E ancora: Einstein ha mostrato che le tre dimensioni dello spazio sono intimamente connesse col tempo e che quindi la natura evolve in un mondo quadridimensionale di spazio-tempo. Sono stati proposti interessanti modelli teorici che potrebbero gettare luce sulla incompatibilità tra la teoria della gravità e le attuali teorie quantistiche. Tali modelli ipotizzano l'esistenza in natura di altre dimensioni spaziali oltre alle tre percepibili dalla nostra esperienza quotidiana. I segni di queste extra-dimensioni, se esistessero, potrebbero essere visibili alle nuove altissime energie di LHC.

## **7. Conclusione**

La scoperta del bosone di Higgs è stata certamente un passo fondamentale per la comprensione delle leggi che hanno determinato l'evoluzione dell'Universo durante i 13.7 miliardi di anni della sua esistenza, ma la storia non finisce qui e molti sono gli interrogativi che ancora attendono una risposta. Forse, nel 2015, quando gli esperimenti di LHC inizieranno di nuovo a prendere dati sarà possibile dare risposta anche a qualche altro di questi affascinanti interrogativi.

## SITOGRAFIA

- [1] <http://home.web.cern.ch/>
- [2] <http://cms.web.cern.ch/> ; <http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/>
- [3] <http://aliweb.cern.ch/> ; <http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>
- [4] <http://totem.web.cern.ch/Totem/> ; <http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/LHCf/LHCf/index.html>
- [5] <http://webshop.elsevier.com/campaigns/higgsParticle/HiggsBooklet.pdf>
- [6] [http://www.pi.infn.it/~castaldi/Liceo\\_studenti-Insegnanti/Liceo\\_SanSepolcro\\_all.ppt](http://www.pi.infn.it/~castaldi/Liceo_studenti-Insegnanti/Liceo_SanSepolcro_all.ppt)



---

## ENERGIA NUCLEARE E SVILUPPO SOSTENIBILE<sup>1</sup>

FABIO FINESCHI

*Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria civile e industriale*

### **Il viandante**

L'uomo non si è mai fermato da quando si è alzato in piedi in una savana in mezzo all'Africa: ha valicato tutte le terre, solcato tutti i mari, anche quando le strade e le rotte non erano state ancora tracciate, sempre tremando di paura tra i mille pericoli imprevedibili che incontrava, ma con un coraggio, una determinazione, una speranza che ci meravigliano e ci sorprendono.

«Chi si ferma è perduto»: nell'intricato groviglio dei problemi naturali, personali, sociali, l'uomo deve avanzare senza posa, tra cadute, ferite, tragedie, per scoprire se stesso, per essere oggi migliore di ieri, verso un futuro che non conosce, ma che deve e vuole affrontare come un'avventura con cui continuamente misurarsi.

Lo chiamano sviluppo durevole, sviluppo sostenibile: una via per non morire.

Sviluppo sostenuto da Chi? Solo da noi, poveri, deboli, ignoranti, violenti?

### **Pericoli dell'energia nucleare**

Abbiamo sperimentato che gravi incidenti nucleari possono verificarsi anche dove l'ingegneria e la struttura sociale sono più avanzate, come in Giappone, anche se l'evento è valutato come poco probabile. I suoi effetti non rimangono circoscritti all'area dell'impianto ma, come accade nei peggiori disastri tecnologici, interessano popolazioni a chilometri di distanza, costringendole all'evacuazione e dunque sconvolgendo la loro vita per tutelarne la salute. Le conseguenze delle emissioni delle sostanze radioattive generate nei reattori nucleari non si risentono solo sulla generazione presente, ma graveranno anche su quelle future.

Anche se in Giappone i feriti e i morti per le conseguenze dell'incidente di Fukushima saranno di gran lunga inferiori a quelli dovuti alle bombe di Hiroshima e Nagasaki e alla furia della natura, anche se i danni derivanti dalla costruzione di città sulle rive di un mare soggetto a tsunami sono stati assai maggiori di quelli dovuti alla presenza sulla battigia di centrali nucleari, eppure pressante è la domanda: *vale la pena* «fare il nucleare»? Il nucleare infatti *porta pena*: sono la sapienza e la saggezza a dircelo, ancor prima della scienza!

Non solo il nucleare usato per la guerra, ma anche quello progettato per la pace!

---

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 26 novembre 2012 all'ITGC "L. Campedelli", Castelnuovo Garfagnana (LU).

### **Evitare i pericoli**

Bisogna fare il possibile per evitare il nucleare. Il nucleare non va considerato un business: la grande abbondanza di energia che assicura può costare salato. È vero che c'è sempre qualcuno nel mondo che rischia la vita più o meno direttamente per noi, ma solo la vita di tutti ci potrebbe far accettare, sia pure nel dolore della tragedia, l'eventualità della morte di qualcuno. Per questo il nucleare, come tutte le imprese rischiose, può essere fatto solo se è davvero indispensabile per evitare che l'umanità paghi prezzi più alti in termini di libertà, giustizia e pace. Ora che temiamo l'esaurimento dei combustibili fossili, ora che sappiamo che il loro uso sta innalzando troppo la concentrazione di gas serra, e con essa la temperatura dell'atmosfera, il problema energetico si propone in tutta la sua urgenza e radicalità.

Per risolverlo si potrà fare a meno del nucleare ricorrendo ad altre fonti energetiche alternative?

### **Sviluppare fonti energetiche alternative**

Il sole fornisce una quantità di energia alla Terra molto al di là delle nostre necessità, direttamente (come radiazione elettromagnetica) o indirettamente (attraverso il vento, il ciclo dell'acqua, la fotosintesi, l'energia termica dell'aria, del mare, della terra). Non sempre è facile trasformarla in forme utilizzabili dall'uomo, ma in genere si riesce a farlo con ridotto impatto ambientale e rischio limitato. Tanto per limitarci alla produzione di energia elettrica, una volta saturate le possibilità di ottenerla nel modo più efficiente e provato con le centrali idroelettriche, possiamo procurarcela direttamente da sole e vento con pannelli fotovoltaici e aerogeneratori.

Sarà necessario impegnarsi nella ricerca, per aumentare l'efficienza di questi dispositivi in modo da ridurre il loro impatto sul territorio e migliorare la loro sostenibilità economica. Bisognerà assistere dal punto di vista culturale, amministrativo e finanziario famiglie, condomini, quartieri, piccole e medie imprese affinché anch'essi possano divenire produttori di energia. Anche la geotermia e le biomasse daranno il loro contributo, che però potrà essere solo marginale, visti i loro limiti intrinseci. Non sarà facile – se fosse stato facile l'avremmo già fatto – riuscire a sfruttare al meglio l'energia che da sempre, indipendentemente dal fatto che l'uomo la utilizzi o no, viene donata alla Terra, ma è un'impresa che possiamo intraprendere senza essere oppressi dalla paura del nucleare.

### **Limiti tecnologici di un sistema fondato sulle fonti energetiche alternative**

Non carichiamo, però, le fonti cosiddette rinnovabili di aspettative eccessive rispetto alla soluzione del problema energetico. Pur di non aver paura e non rinunciare a niente, potremmo cadere nella tentazione di credere che le rinnovabili siano in grado di soddisfare illimitatamente ogni bisogno di energia dell'umanità, mentre, secondo le speranze più ottimistiche, nella seconda metà del secolo le rinnovabili potrebbero arrivare a coprire non oltre il 77% del fabbisogno energetico (IPCC, 2011, p.18).

Infatti l'uomo necessita non solo di *energia* ma anche di *potenza*, e di potenza di

qualità, cioè di un flusso di energia disponibile quando e dove se ne ha bisogno, per tutto il tempo per cui se ne ha bisogno, e con le caratteristiche fisiche (per esempio, tensione e frequenza nella rete elettrica) necessarie per non compromettere il funzionamento sicuro dei motori. Questa potenza di qualità la radiazione solare e il vento non la possono assicurare, perché sono per loro natura intermittenti e perché la erogano in modo saltuario e casuale (IPCC, 2011, p.14). Per garantire la costanza della tensione e della frequenza nella rete, oggi la domanda di energia elettrica va subito soddisfatta dalla produzione perché non esistono possibilità di un suo immagazzinamento in larga scala. Quindi, attualmente, la percentuale di potenza elettrica prodotta direttamente dal sole e dal vento che può essere allacciata in rete non può, perciò, superare il 25% (Coiante, 2008) della potenza delle centrali elettriche sicuramente disponibili ed affidabili (centrali nucleari, a combustibili fossili, idroelettriche), vista la imprevedibile variabilità sia del consumo dell'utenza sia della generazione di energia tipica delle rinnovabili.

Considerando il fattore di capacità medio di questi impianti alternativi (spesso inferiore al 20%), non più del 6-10% dell'energia elettrica potrebbe quindi derivare immediatamente da fotovoltaico ed eolico (le sole fonti rinnovabili che hanno la possibilità di generare grandi quantità di energia adatta a tutti gli usi). Questa rappresenta una percentuale decisamente maggiore rispetto a quanto oggi prodotto in Italia (poco più del 2,2%), ma resta pur sempre una quota drammaticamente insufficiente per rinunciare un domani ai combustibili fossili e al nucleare.

Con nuovi dispositivi di accumulo (idrogeno?), tutti da inventare perché i bacini idroelettrici, anche di pompaggio, hanno raggiunto pressoché la saturazione nei Paesi OCSE, e da integrare in reti elettriche cosiddette "intelligenti", potremo arrivare in futuro ad utilizzare tutte le rinnovabili fino a quella percentuale del 77% del fabbisogno energetico complessivo indicata da IPCC.

Questo complesso sistema potrebbe costare salato, perché non è da escludere che questi nuovi dispositivi presentino notevoli problemi in termini economici, ambientali e di sicurezza.

### **Pericoli sociali, economici e politici di un sistema fondato esclusivamente sulle fonti energetiche alternative**

Affidarci completamente, al 100%, alle rinnovabili significherebbe rinunciare ad avere potenza quando la vogliamo, accettando, invece, di averla solo quando qualcuno ce la concederà.

Già, ma chi sarà quell'autorità, o quel potere, che deciderà chi ne potrà usufruire e che fisserà quando e per quanto tempo potrà essere utilizzata? Quali strumenti istituzionali, prima ancora che ingegneristici, questa autorità dovrà adottare per attuare le sue decisioni? Quale impatto economico si determinerà e quali disuguaglianze sociali si creeranno? In ogni caso, anche se si trovasse la maniera di governare nel migliore dei modi la distribuzione dell'energia elettrica, sicuramente verrebbe meno uno dei pilastri su cui si regge la nostra libertà, ovvero il principio che la richiesta di potenza elettrica

di ciascuno di noi *deve* essere immediatamente soddisfatta per tutto il tempo che si desidera e qualsiasi sia il suo ammontare, purché nei limiti massimi contrattuali accettati da produttore e consumatore.

**Risparmio energetico: *necessario*, ma difficile da perseguire, utile per ridurre le quantità, ma inutile per ridurre le percentuali**

I limiti prima individuati sono però molto molto lontani. Avanti tutta, allora, con decisione, per sviluppare le rinnovabili: è in questo campo che oggi dobbiamo lavorare di più. C'è tanto da fare, consapevoli della gravità del problema energetico e dei drammatici risvolti che esso potrà avere in termini di giustizia e di pace, a livello locale e globale. Facciamo il possibile, con determinazione, ma dobbiamo essere coscienti che il problema resta: sole e vento da soli non lo possono risolvere.

Per limitare la combustione dei fossili, perché essi durino più a lungo, continuiamo ad alimentare l'industria chimica e immettano meno gas serra nell'atmosfera, non ci rimane altro che «stringere la cintola» e rivoluzionare il sistema economico attuale, basato sui consumi e sulla trasformazione dei materiali: bisogna favorire le attività produttive locali rinunciando all'eccessiva globalizzazione dei mercati, risparmiare territorio occupato da pannelli, mulini a vento, produzione di bio-combustibili, per riservarlo a coltivazioni biologiche utili all'alimentazione, ecc.

Resta da vedere se saremo capaci di fare tutto ciò senza scatenare conflitti sociali ed internazionali spaventosi. Infatti, chi dovrà consumare di meno? Certo i milioni di ricchi; ma non sarà sufficiente. Lo potremo chiedere anche a tutti gli altri? Anche ai miliardi di persone che premono per avere una vita meno precaria in Asia, in Africa, in Sud America? O glielo imporremo, fin con le armi; forse anche per impadronirci delle risorse presenti sotto il suolo che calpestanto?

Se vogliamo far salva la giustizia e con essa la pace a livello mondiale, anche se si riuscisse ad effettuare globalmente un riequilibrio più giusto ed efficiente dei consumi, risparmiando tutto il possibile, il consumo energetico mondiale non sarà inferiore a quello di oggi.

Comunque, in ogni caso, una quota tutt'altro che trascurabile dell'energia necessaria a far vivere dignitosamente una decina di miliardi di uomini dovrà essere fornita da fonti energetiche sempre disponibili, certe ed affidabili. Questa percentuale, che abbiamo visto IPCC stima intorno al 20-25%, resterà sempre, indipendentemente dall'ammontare totale dell'energia che produrremo e consumeremo. Chi la fornirà, se vogliamo rimpiazzare i combustibili fossili?

**Dopo il risparmio, dopo le rinnovabili, il nucleare diverrà una necessità per dare una risposta alla questione energetica?**

Quando sapremo fare i sacrifici necessari per modificare il modello di sviluppo, per imparare ad utilizzare in modo ottimale il risparmio energetico e le rinnovabili e per costruire una società più consapevole, più preparata, più giusta, più pacifica, allora sa-

premo che l'energia che utilizziamo *vale* davvero perché non la sprechiamo e perché la consumiamo per fare qualcosa che *vale la pena*. Allora, per un'energia ben spesa, potrà davvero *valer la pena* ricorrere al nucleare, un nucleare che sarà però ridotto in questo modo al minimo indispensabile.

Ma dobbiamo aspettare quel tempo per *occuparci* di nucleare? Sicuramente sì, per una sua utilizzazione massiccia da affiancare alle rinnovabili sostituendo i combustibili fossili. Ma, a quel punto, il nucleare dovrà essere più sicuro ed efficiente possibile, in grado, con i cosiddetti reattori di IV generazione a fissione veloce autofertilizzanti, di sfruttare al massimo tutti i potenziali combustibili nucleari presenti sulla Terra (perché possano durare migliaia di anni) e di ridurre a qualche centinaio di anni la vita delle scorie più pericolose. Oggi questo tipo di nucleare non esiste, ma nemmeno esisterà se non ci mettiamo mano da subito. Dato che le conoscenze di base per realizzarlo sono già conosciute, la tecnologia ha ora bisogno di far tesoro delle esperienze acquisite, sperimentare modifiche via via sempre più innovative, verificare le soluzioni trovate costruendo e facendo funzionare impianti di nuova concezione. Di solito il progresso tecnico non fa salti ma procede lentamente, un passo dopo l'altro, accettando di correre dei rischi pur con tutte le precauzioni e cautele del caso. Senza gli impianti di oggi – ma non ne sono necessari tanti – non esisteranno quelli di domani.

Non è agli affari che bisogna pensare, ma alla necessità di mettere a punto una tecnologia difficile e potenzialmente pericolosa in vista dei tempi in cui potrà essere indispensabile. Oggi è ancora il tempo in cui dobbiamo sperimentare questa tecnologia, quindi praticarla con misura per imparare ad applicarla bene, perché è una tecnologia tutt'altro che obsoleta. Il problema caso mai è che, per interesse economico ma anche per la difficoltà di trovare sufficiente consenso popolare, si è preferito sfruttare al di là di quanto preventivato i vecchi impianti piuttosto che investire maggiormente in ricerca per progettarne e costruirne di nuovi, più avanzati. Quando si parla di temi da studiare ed approfondire, non si pensi solo agli aspetti tecnologici, ma anche a quelli culturali, politici, sociali, economici, ambientali connessi allo sviluppo del nucleare.

### **Affrontare i rischi del nucleare**

È nostro compito analizzare a 360°, in tutti i loro aspetti, i problemi energetici, così come tutti gli altri problemi, e affrontarli con scienza e sapienza, senza nasconderci il difficile cammino che anche l'uomo di oggi, e non solo quello di ieri, deve percorrere, alla ricerca di una via che non lo faccia morire.

Lo dobbiamo ai Paesi tecnologicamente meno sviluppati, a cui è saggio lasciare le fonti energetiche più facili e più a buon mercato, per riservare quelle più complesse ed economicamente più impegnative ai Paesi tecnicamente più progrediti. Lo dobbiamo alle generazioni future a cui non possiamo lasciare una Terra depauperata delle riserve fossili senza aver preparato per loro tecnologie alternative per la produzione di potenza/energia.

Ci appare chiara la *diversità* dell'energia nucleare rispetto a tutte le altre fonti. La

sua enorme potenza specifica modulabile secondo il desiderio dell'utenza la rende strumento prezioso per l'industrializzazione di un paese, ma anche particolarmente soggetta a spaventose utilizzazioni belliche. La sua capacità di trasformare la materia fino a creare nuclei atomici non esistenti in natura le permette di creare nuovi combustibili nucleari, così da poter garantire il soddisfacimento del fabbisogno energetico per migliaia di anni, ma produce anche elementi radioattivi e fortemente tossici che possono essere rilasciati all'ambiente con grave danno per la salute.

L'energia nucleare può essere necessaria allo sviluppo sostenibile e pacifico del mondo, ma nel contempo dobbiamo prefigurare un suo impiego ridotto al minimo indispensabile, cosicché i rischi ad essa associati risultino accettabili. Per questa diversità essa va progettata, installata, gestita, smantellata con logiche diverse rispetto a quelle impiegate nello sfruttamento delle altre fonti.

In primis, ciò che è *necessario* non può essere semplicemente affidato alla logica del mercato, della concorrenza, dell'interesse privato, ma il «pubblico» deve avere un peso fondamentale in ogni fase della sua utilizzazione. L'efficienza, l'economicità, ma soprattutto la massima sicurezza possibile vanno garantite da un sistema tecnico di produzione altamente qualificato e da un forte e indipendente sistema di controlli, seriamente fondato anche sulla partecipazione responsabile dei cittadini, che funzioni, con il sostegno di esperti, nella massima trasparenza, correttezza e indipendenza.

Riconosciuto una volta per tutte che il nucleare *porta pena*, quale politica fare verso quelle comunità a cui si chiederà di risiedere vicino ad una centrale, vicino ad un impianto di riprocessamento del combustibile o di trattamento delle scorie, perché esse possano trovare ragioni e convenienze per quell'insediamento, nel rispetto di tutti, senza essere etichettate troppo superficialmente sotto il segno della sindrome Nimby? Quanto dovranno contare le comunità locali nelle decisioni sul nucleare? Sicuramente di più di coloro che risiedono a centinaia di chilometri di distanza. Quanta riconoscenza la società dimostrerà loro per il particolare senso di responsabilità con cui in prima persona si caricheranno il peso di sostenere la vita e lo sviluppo di tutti?

### **Il ruolo dell'Italia e dei suoi cittadini**

Ma se questo è il compito del Mondo, è proprio necessario che lo assuma anche l'Italia, quando potrebbe essere sufficiente che se ne occupino gli altri paesi? Questa è la domanda che ciascuno di noi si dovrà porre in coscienza e con responsabilità. Che Italia vogliamo? Che Italiani vogliamo essere? Che ruolo vogliamo occupare nelle relazioni internazionali? Vogliamo essere indipendenti dagli altri paesi? Vogliamo essere inclusi tra i paesi di tecnologia avanzata per scambiare quelle informazioni e conoscenze vitali che ci aiutino a difendere la nostra salute e il nostro ben-essere, a fronte delle scelte pro-nucleari fatte ai nostri confini o ad esempio per scegliere insieme, senza complessi di inferiorità, quali sono i territori più adatti in Europa agli insediamenti nucleari, indipendentemente dai confini e dagli egoismi che separano gli Stati tra loro?

Solo dopo aver risposto a queste domande ha senso affrontare il gravoso problema

di come dovrebbe essere fatto il nucleare in Italia: una nazione ferita dalle mafie e penalizzata dalla corruzione, dalla superficialità e dal pressappochismo.

Date queste condizioni, si dispera di cambiarle e per questo si rinuncia a collaborare allo sviluppo dell'energia nucleare oppure, proprio per rispondere anche alla pressante questione energetica, si devono piuttosto trovare ragioni e forze per «guarire» il nostro Paese?

Ne discende che installare da noi centrali nucleari comprate all'estero ha senso solo se lo si pensa come un primo passo per ricostruire o costruire ex novo il sistema nucleare nazionale, a cui affiancare tutta una serie di iniziative volte a determinare e sostenere in termini giuridici, economici, culturali e tecnologici le strutture indispensabili a reggere la complessità del sistema.

Ma perché questi atti possano ottenere il consenso della popolazione, le massime Istituzioni dello Stato devono dimostrare nei fatti il forte impegno con cui intendono affrontare il problema energetico (sviluppando prima di tutto le rinnovabili), il problema sociale (combattendo mafie e corruzioni), il problema ambientale (risolvendo, per esempio, la questione rifiuti).

Una nazione responsabile non può permettere che prenda vita un programma nucleare se coloro che lo devono guidare non dimostrano di essere pienamente consapevoli dell'importanza di questi temi. Per esempio: quanto saremo disposti ad investire in ricerca e istruzione per preparare il personale capace di correttamente evitare, ma nel caso anche di affrontare con competenza e coraggio le situazioni di emergenza tecnica, sanitaria, ambientale, sociale, culturale, politica che dal nucleare potranno derivare?

### **Energia nucleare e sviluppo sostenibile**

In definitiva, l'umanità deve applicare alla questione energetica la logica che sovrintende a quel modello che l'ONU ha chiamato *sviluppo sostenibile* (Brundtland, 1987): "Uno sviluppo che risponde alle necessità del presente, senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie esigenze. Il concetto di sviluppo sostenibile implica dei limiti; non limiti assoluti, ma imposti dal presente stato dell'organizzazione tecnologica e sociale nell'uso delle risorse ambientali e dalla capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane. Un processo nel quale l'uso delle risorse, la direzione degli investimenti, la traiettoria del progresso tecnologico e i cambiamenti istituzionali concorrono tutti ad accrescere le possibilità di rispondere ai bisogni dell'umanità; non solo per l'oggi, ma anche per il futuro, dando la priorità alle necessità dei poveri del mondo".

Rispondere a simili sfide è possibile, ma non è affatto scontato che questo sia il modello vincente applicato in futuro da tutti i paesi, anche se, ad oggi, è l'unico intorno al quale si è trovato nell'ONU un consenso generalizzato. Si dovrà, con un grande sforzo politico e tecnologico internazionale a lungo termine, diversificare e "decarbonizzare" gli approvvigionamenti, ridurre l'intensità energetica e disaccoppiare domanda energetica e crescita economica, perseguire il risparmio energetico, coscienti che questo signi-

fica contemporaneamente incidere in profondità sulle strutture sociali ed economiche, così come su quelle istituzionali, culturali, morali e spirituali, anche perché, fatto ogni sforzo di utilizzare al massimo le fonti rinnovabili, bisogna comunque prepararsi ad affrontare, nella massima sicurezza possibile, il necessario sfruttamento delle fonti energetiche più “difficili”, come il nucleare a fissione veloce autofertilizzante.

Lo sviluppo sostenibile non è un traguardo che si può raggiungere, ma, come la vita, è una via piena di ostacoli e pericoli da percorrere con ansia, sacrificio, disciplina, prudenza, coraggio, ostinazione, determinazione e speranza, nella ricerca incessante di ciò che può essere “più giusto” (o “meno sbagliato”), di una verità che si cela in ogni piega della storia.

La scienza e la tecnica sono in grado di chiarire gli aspetti dei problemi, di fornire informazioni e di realizzare al meglio ciò che è stato deciso, ma la decisione vera e propria rimane tutta politica e morale: gli scienziati e i tecnici devono essere interpellati, ma la responsabilità ultima spetta sempre a tutti noi cittadini, e a chi scegliamo per rappresentarci nelle istituzioni democratiche. Senza soluzioni locali non si possono escogitare soluzioni globali. Senza partecipazione democratica, senza consenso fondato sull'informazione seria e sulla trasparenza delle motivazioni e delle azioni, senza un profondo rinnovamento, anche spirituale, della società e della politica, non è possibile quel cambiamento di prospettive e di metodologie anche tecnologiche ed economiche necessario per l'umanità, specie quando ci misuriamo inevitabilmente con il «dolore» degli uomini - sempre che si voglia costruire il futuro sulla libertà, sulla fiducia, sulla solidarietà, sulla responsabilità, sullo spirito di *cittadinanza*.

Altre strade sono sempre possibili, ma non sono strade di pace. La “non soluzione”, più semplicistica ma più tragica, sarà la sopraffazione dei deboli, la violenza e la prepotenza dei forti, la guerra, la morte.

## BIBLIOGRAFIA

- Coiante, D., «Limiti e prospettive delle fonti rinnovabili in Italia», *Economia delle fonti di energia e dell'ambiente*, 60, n. 2/2008.
- IPCC Working Group III, «Summary for Policymakers», *Special Report Renewable Energy Sources*, maggio 2011.
- Brundtland, G. H. (ed), *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press (1987).



---

**LA FISICA DI TUTTI I GIORNI PER PIANETA GALILEO:  
IMMERSIONI, GAVETTONI, AEREI E DINTORNI E IL TEMPO  
DA GALILEO ALLA FISICA QUANTISTICA<sup>1</sup>**

MARIA LUISA CHIOFALO

*Dip. di Fisica "E. Fermi" e INFN, Università di Pisa*

MASSIMILIANO LABARDI

*IPCF, CNR – UOS Pisa*

### **1. Perché**

Le discipline scientifiche sono spesso considerate nella percezione comune veramente accessibili soltanto a poche persone di speciale intelligenza. Rispondere al classico “di cosa ti occupi nella vita?” con un coraggioso “faccio ricerca in... (inserire disciplina scientifica a scelta)” normalmente provoca una sequenza di reazioni abbastanza tipiche. Grande stupore e ammirazione, come se si avesse davanti un’eccezione della natura, sono immediatamente seguiti da un grande punto interrogativo che appare sulla testa dell’interlocutore, per finire con un quasi immancabile “non sono portato/a per la (inserire disciplina scientifica a scelta)” oppure un laconico “a scuola prendevo sempre voti bassissimi” o semmai il più incoraggiante “mi piacerebbe tanto capirci qualcosa ma proprio non fa per me”.

Quanta responsabilità abbia l’istruzione elementare, media e superiore e anche universitaria nel determinare questo stato di cose può essere argomento di lungo dibattito. Quanto questo stato di cose si traduca in un circolo vizioso è un altro aspetto rilevante: anche in una famiglia mediamente acculturata può essere stigmatizzato un errato uso del congiuntivo, mentre si può tranquillamente sorridere davanti ad un errato uso di radici quadrate e espressioni algebriche, oppure a non avere la ben che minima idea del perché il cielo di giorno è blu o cosa produce il suono di pianoforte o di una chitarra elettrica.

Di fatto, il problema esiste ed è spesso una delle principali cause che determinano:

- Una limitata curiosità per ciò che riguarda la scienza.
- Anche in presenza di una forma di curiosità, una quasi automatica rinuncia a priori a cercare di soddisfarla.

---

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 4 febbraio 2013 al Liceo classico “Signorelli” di Cortona (AR) e il 7 febbraio 2013 al Liceo S.Bartolomeo di Sansepolcro (AR)

- Una inadeguata conoscenza del linguaggio e del metodo scientifici, che sono spesso utili per risolvere problemi in contesti quotidiani anche molto diversi da quelli della scienza.
- Una inadeguata percezione dell'utilità della scienza, in particolare per la spiegazione di fenomeni e del funzionamento di strumenti quotidiani, per il progresso tecnologico, per prevedere il verificarsi di determinati fenomeni.

## 2. Cosa

Sulla base delle motivazioni discusse nel precedente paragrafo, la modalità di svolgimento delle lezioni per Pianeta Galileo hanno seguito il format de La Fisica di Tutti i Giorni, base del corso che fa parte dell'offerta formativa dell'Università di Pisa dal 2007 e rivolto a studenti di tutti i Corsi di studio, umanistici e scientifici. Ispirato all'esperienza di Lou Bloomfield "How Things Work?" [1], il corso attraversa tutti i concetti e le idee essenziali della Fisica da Galileo alla Fisica Quantistica, passando per termodinamica, fisica dei fluidi, elettrostatica e magnetostatica, elettromagnetismo, ottica, chimica-fisica e scienza dei materiali. Idee e concetti vengono discussi a partire da dimostrazioni d'aula che coinvolgono fenomeni di vita quotidiana. Il percorso di apprendimento è lastricato dall'uso di metodologie per l'apprendimento attivo e cooperativo, come illustrato nella Sezione 3.

Per Pianeta Galileo, si è voluto in particolare condividere con gli e le studenti tre messaggi di carattere metodologico. Primo, così come Galileo non fu solo uno scienziato né solo un umanista, non esiste una cultura umanistica e una scientifica ma solo la Cultura: le differenziazioni sono questione di linguaggio, perché linguaggi diversi sono forme diverse di comunicazione utili per attivare le tante diverse intelligenze che ciascuno/a possiede. Secondo, il metodo scientifico definisce un modo di procedere per risolvere problemi in qualunque contesto di vita, a partire da fatti e non da pregiudizi o convinzioni limitanti: un metodo che può indurre la creazione di idee nuove e che richiede pensiero logico e pensiero creativo al tempo stesso. Terzo, le idee davvero importanti nella scienza sono relativamente poche, e una stessa idea - con opportune modifiche di dettaglio - può essere utile a comprendere fenomeni molto diversi nella loro manifestazione: questa osservazione definisce un altro punto d'accesso per la comprensione dei fenomeni, a partire da analogie con problemi apparentemente diversi di cui si conosce già il principio di funzionamento e corrisponde ad un'altra forma di pensiero logico e creativo al tempo stesso.

Agli Istituti Scolastici e loro referenti è stato offerto il format de La Fisica di Tutti i Giorni, e la possibilità di scegliere l'argomento sulla base di ciò che fosse più funzionale alle esigenze loro e degli e delle studenti hanno scelto di far partecipare. Il format ha vestito due lezioni diverse, il cui contenuto specifico è sintetizzato di seguito nelle Sezioni 4.1 e 4.2, rimandando per i dettagli a materiale disponibile online: immersioni, gavettoni, aerei e dintorni - sulla statica e dinamica dei fluidi [2], e il tempo da Galileo alla Fisica Quantistica - sul concetto e sulla misura del tempo [3].

### 3. Come

Ne *La Fisica di Tutti i Giorni*, idee, concetti e leggi della fisica sono discusse rigorosamente a partire da esempi di vita quotidiana. Si può discutere di come funzionino, solo per fare una selezione di esempi: pattini a rotelle, biciclette, ascensori, sistemi di irrigazione, aeroplani, aspirapolvere, materiali per l'abbigliamento, condizionatori d'aria, macchine fotocopiatrici, strumenti musicali, orologi, registrazione su cassette magnetiche, riproduttori di musica, forni a microonde, televisori, LED, trucco, telescopi e microscopi, tecniche diagnostiche in medicina, coltelli e acciai, vetri, plastica, detersivi, culinaria.

È possibile discutere le idee in prima battuta senza l'uso di strumenti matematici, facendo leva sull'intuizione e - là dove l'intuizione non aiuta o magari conduce a conclusioni non corrette - utilizzando piccole dimostrazioni d'aula realizzate esclusivamente con materiali casalinghi. I risultati di questi piccoli esperimenti fai-da-te possono avere e in generale hanno molti limiti: discutere esplicitamente questi limiti è parte integrante e molto istruttiva del metodo scientifico.

Allo scopo di accrescere le motivazioni per il percorso di apprendimento, gli esempi di vita quotidiana da trattare vengono scelti con chi partecipa a tale percorso. La scelta viene operata all'interno di un insieme di possibilità che attraversano tutti gli ambiti della fisica e che includono quelle proposte a partire da [1] ma anche altre di interesse e su richiesta di chi fa parte dell'aula. Le nuove proposte diventano oggetto dell'offerta formulata nel corso successivo.

Come illustrato nella Sezione 2, agli Istituti Scolastici e loro referenti è stata offerta la possibilità di scegliere l'argomento in modo funzionale alle esigenze della classe. Gli e le studenti hanno partecipato attivamente, con risposte a quesiti proposti, domande e osservazioni. Idee e concetti sono stati discussi seguendo il metodo sperimentale che Galileo ha introdotto cambiando il corso dell'evoluzione della ricerca scientifica: attraverso la scomposizione di un problema complesso in più domande più semplici alle quali rispondere attraverso una successione di osservazioni, ipotesi, e verifiche con le semplici dimostrazioni d'aula, preparate a partire da oggetti di uso quotidiano. In questo modo, si accompagnano gli e le studenti nel fondamentale processo che sviluppa curiosità e motivazione per l'apprendimento, offrendo loro strumenti per pensare in modo differente a ciò che osservano e per replicare a casa o a scuola in qualunque momento il metodo scientifico.

Dopo la discussione di ogni concetto importante, sono state poste agli e alle studenti domande concettuali sugli stessi fenomeni o altri correlati. Agli e alle studenti è stato richiesto di riflettere individualmente sulla domanda, quindi di discutere la risposta in gruppo. Per rendere l'interazione più efficace ed efficiente, è stato fatto uso di lavagna interattiva multimediale portatile e di clickers, opportunamente distribuiti nel numero utile per assegnare un clicker ad ogni gruppo di tre-quattro studenti. La LIM consente di modificare dinamicamente il materiale che viene poi lasciato agli e

alle studenti, a seguito dell'interazione in aula. Mediante i clickers, le risposte vengono inviate via Wi-Fi al computer della docente, analizzate attraverso un software opportuno e condivise con l'aula in forma statistica: in questo modo, la docente può verificare dinamicamente il livello di comprensione degli/le studenti in aula, e gli e le studenti hanno l'opportunità di interagire tra loro e con la docente in fase di discussione delle idee e applicare i concetti ad esempi semplici favorendo così l'efficacia del processo di apprendimento.

#### **4. I contenuti**

##### **4.1 Immersioni, gavettoni, aerei e dintorni: statica e dinamica dei fluidi. Pianeta Galileo presso il Liceo San Bartolomeo di Sansepolcro**

L'attività sul tema specifico è stata divisa in due parti. Nella prima, si sono discusse le idee fondamentali della statica e dinamica dei fluidi a partire da osservazioni su dimostrazioni d'aula e dalle domande: (i) come accade che alcuni oggetti galleggino e altri affondino? (ii) come accade che un palloncino in aria si gonfi, e cosa hanno in comune palloncini in aria e oggetti in acqua? (iii) come accade che palloncini gonfiati con gas diversi (nella dimostrazione con aria, anidride carbonica e azoto) cadano con velocità diverse? (iv) come mai l'atmosfera non cade? Cosa bisogna fare per immergersi e nuotare sott'acqua? (v) come funziona una cannuccia? (vi) come funzionano le ali di aerei? (vii) come fare bene un gavettone con una fistola? Per rispondere a queste domande, sono state discusse le forze aerodinamiche e quelle di resistenza viscosa di oggetti in movimento dentro fluidi, le forze di galleggiamento in fluidi in presenza della forza di gravità, il concetto di massa inerziale e gravitazionale, la conservazione della materia e il concetto di portata di un fluido in un tubo, la conservazione dell'energia e il principio di Bernoulli.

Una seconda parte è stata dedicata a concetti fondamentali della termodinamica, a partire da osservazioni sul tempo atmosferico e dalle domande: (i) come accade che la Terra possa mantenere in media la temperatura, che è quella necessaria per i normali processi vitali, e quali sono le funzioni dell'atmosfera terrestre? (ii) come si formano i venti, le nuvole, la pioggia, i cicloni e gli uragani? (iii) perché è importante il buco dell'ozono? Per rispondere a queste domande, sono stati introdotti e discussi concetti termodinamici fondamentali: temperatura, calore, energia nelle sue diverse forme, meccanismi microscopici di trasporto del calore e relative leggi, espansione termica, effetto Coriolis. Per illustrare i concetti sono stati utilizzati diversi esempi o dimostrazioni d'aula: come accade che un'automobile lasciata per un po' sotto il sole a portiere e finestrini chiusi diventi un forno, come funziona la pelle del nostro corpo per mantenere la temperatura necessaria ai processi vitali, perché un cucchiaino da caffè è percepito come freddo? e uno di plastica come caldo? come costruire un termometro un po' speciale con righello, spillo, carta e nastro adesivo, come si comportano palloncini d'aria in azoto liquido, perché sulla riva del mare di sera è frequente sentire una leggera brezza e perché questa fa rabbrivire se non si è coperti da un indumento per quanto

sottile e leggero, come spiegare l'effetto Coriolis con giradischi e pennarelli, se mai può funzionare la strana idea di Superman di andare indietro nel tempo facendo ruotare la Terra al contrario (e perché non funziona). In definitiva, si sono discusse le implicazioni di questi concetti sul funzionamento del nostro organismo e sul funzionamento dell'ambiente: effetto serra, buco dell'ozono, uso consapevole dell'energia, con la quale non si può vincere né pareggiare, solo perdere il meno possibile e le conseguenze di tutto ciò per il nostro Pianeta. Questa seconda parte non è stata discussa per ragioni di tempo, ma ai e alle docenti è stato lasciato tutto il materiale preparato per l'occasione.

#### **4.2 Il Tempo da Galileo alla Fisica Quantistica. Pianeta Galileo presso il Liceo**

##### **Signorelli di Cortona**

Nell'attività sul tema specifico sono state discusse idee e concetti di fisica classica, relativistica, atomica e quantistica, a partire dalle domande: (i) come definire in modo utile il tempo in fisica? (ii) perché è importante disporre di una misura accurata del tempo, come funziona un GPS e quali sono le caratteristiche essenziali di un buon orologio? In particolare, (iii) perché gli orologi più moderni non usano clessidre o simili? (iv) da cosa dipende l'accuratezza di un orologio? (v) perché e in che modo gli orologi più moderni usano movimenti ripetitivi? (vi) in che modo sono concepiti gli orologi più moderni? Per rispondere a queste domande, sono stati discussi i concetti fondamentali di moto armonico, risonanza, precisione e accuratezza delle misure in fisica, e come gli atomi siano degli oscillatori naturali. Si è illustrato come gli stessi concetti siano comuni al funzionamento di tutti gli orologi moderni, che con la cura di opportuni dettagli e l'introduzione di nuove tecnologie consentono livelli crescenti di precisione e accuratezza: da 1 secondo ogni mille del pendolo di Galileo, a 1 secondo ogni anno di un ottimo orologio elettromeccanico e/o digitale, per finire al secondo ogni milione di anni degli orologi atomici funzionanti a temperature di qualche milionesimo di grado Kelvin prossime allo zero assoluto e oggetto di attuale ricerca di frontiera. Per discutere il funzionamento di questi ultimi sono state introdotte e discusse idee e concetti della fisica quantistica e della termodinamica: atomi come oscillatori quantistici risonanti e struttura discreta degli stati atomici, temperatura come misura dell'energia cinetica media degli atomi. Per ragioni di tempo non sono stati discussi in dettaglio a partire da altrettante dimostrazioni d'aula altri concetti e tecniche utili a comprendere come sia possibile raffreddare gli atomi a queste che sono le temperature più basse nell'Universo, una parte di fisica che dal 2001 ad oggi è stata oggetto di ricerca di frontiera con l'assegnazione di almeno sei premi Nobel. Tra le idee di base sono il raffreddamento di atomi per rallentamento mediante luce laser ed effetto Doppler e per evaporazione, le caratteristiche di nuovi stati della materia come condensati di Bose-Einstein e superfluidi, e l'importanza d'uso di questi sistemi atomici ultrafreddi come versione moderna degli esperimenti di Galileo con il pendolo, per effettuare test più precisi della relatività generale. Tutto il materiale preparato è rimasto a disposizione della Scuola.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bloomfield, L., *How Things Work. The Physics of Everyday Life*, J. Wiley, New York 2001
- [2] Chiofalo, M. L. and Labardi, M., Immersioni, gavettoni, aerei e dintorni, in *La Fisica di Tutti i Giorni per Pianeta Galileo*, disponibile online sul portale per l'e-learning <https://www.dm.unipi.it/elearning> per il corso "La Fisica di Tutti i Giorni"
- [3] Chiofalo, M. L. and Labardi, M., Il tempo da Galileo alla Fisica Quantistica, in *La Fisica di Tutti i Giorni per Pianeta Galileo*, disponibile online sul portale per l'e-learning <https://www.dm.unipi.it/elearning> per il corso "La Fisica di Tutti i Giorni"

## FARE CHIMICA CON LA LUCE: LA SPETTROSCOPIA<sup>1</sup>

VALENTINA DOMENICI

*Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università di Pisa*

### Riassunto

Parlare di spettroscopia ai ragazzi delle scuole superiori potrebbe sembrare un obiettivo difficile da realizzare, tuttavia, scegliendo opportunamente il linguaggio e il livello di approfondimento, la spettroscopia è un argomento adatto, e soprattutto molto stimolante, per le innumerevoli applicazioni nella vita di ogni giorno. Questo contributo è un breve resoconto della lezione-seminario pensata in occasione dell'iniziativa Pianeta Galileo 2012.

Dopo una breve introduzione alle mie attività di ricerca, la mia lezione "*Fare Chimica con la Luce*" inizia di solito con una breve introduzione agli elementi principali della Spettroscopia. Infatti, i ragazzi dei Licei e delle Scuole Superiori hanno già alcune nozioni di base sulla fisica delle onde, e per questo non dovrebbero avere problemi a riconoscere le espressioni che di tanto in tanto cito durante la lezione.

La spettroscopia [1] è la disciplina che studia l'interazione tra la materia, fatta di atomi e molecole, e le onde elettromagnetiche, onde particolari con una duplice natura. Da una parte si comportano come tutte le onde: viaggiano nel vuoto alla velocità della luce ( $c$ ), hanno una frequenza caratteristica ( $\nu$ ) che si misura in Hertz, e una lunghezza d'onda ( $\lambda=c/\nu$ ), che si misura in metri o unità derivate. Dall'altra parte, le onde elettromagnetiche si comportano anche come corpuscoli che trasportano una quantità di energia ben precisa ( $E=h\nu$ , dove  $h$  è la costante di Planck). In particolare, la spettroscopia è lo studio, tramite strumenti particolari, delle radiazioni elettromagnetiche emesse o assorbite dalle diverse sostanze ed è quindi uno "strumento" fondamentale per i Chimici.

La nascita della moderna spettroscopia viene fatta coincidere storicamente con lo studio da parte degli astronomi della fine del Diciannovesimo secolo della luce proveniente dalle stelle. E' importante richiamare quindi la classificazione delle stelle a partire dai loro spettri di emissione, argomento che i ragazzi del Liceo, ad esempio, trattano durante l'ultimo anno di studi, ed introdurre così la spettroscopia atomica. Per far questo, didatticamente sono interessanti le storie di alcuni chimici, come Robert von Bunsen (1811-1899), e di alcuni fisici, come Gustav Kirchoff (1824-1887), che posero

---

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 20 novembre 2012 presso il polo liceale "Pietro Aldi", Grosseto e il 14 febbraio 2013 presso il Liceo "Città di Piero", Sansepolcro (AR)

le basi della moderna spettroscopia. E' in questo contesto che vennero individuati elementi chimici prima sconosciuti, come il Rubidio, il Tallio e il Cesio.

A questo proposito, durante le lezioni porto spesso con me alcuni oggetti, come alcune parti di spettroscopi (si veda Figura 1) di proprietà del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa, che appartennero ai chimico-fisici Camillo Porlezza (1884-1972) e Raffaele Nasini (1854-1931) della "Scuola Pisana". [2,3]



*Figura 1. A sinistra, fotografia di Camillo Porlezza; a destra, fotografia di uno spettrometro appartenuto a Camillo Porlezza esposto durante una mostra didattica presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay (ottobre 2011) [2]*

Passare dalla spettroscopia atomica a quella molecolare risulta particolarmente facile, rimanendo nell'ambito della regione ultravioletta-visibile (UV-vis) dello spettro elettromagnetico.

Le onde elettromagnetiche con una lunghezza d'onda compresa tra 400 e 750 nanometri costituiscono quella che comunemente si chiama luce o luce visibile, perché solo in questo intervallo di lunghezze d'onda i nostri occhi sono in grado di distinguere le diverse onde e di associarle a colori. Il colore degli oggetti è dovuto all'assorbimento di una particolare radiazione elettromagnetica nell'intervallo della luce visibile. Quando scendiamo a livello delle singole molecole è possibile risalire dal colore della radiazione assorbita dalla molecola stessa alla presenza nella sua struttura di alcuni gruppi di atomi specifici. Per esempio, il pigmento delle carote, il beta-carotene, appare arancione perché assorbe una radiazione con lunghezza d'onda di 450 nanometri e questo a sua volta è legato alla particolare struttura molecolare del beta-carotene. A questo proposito, esempi della Chimica dei coloranti sono particolarmente interessanti per i ragazzi delle scuole superiori.

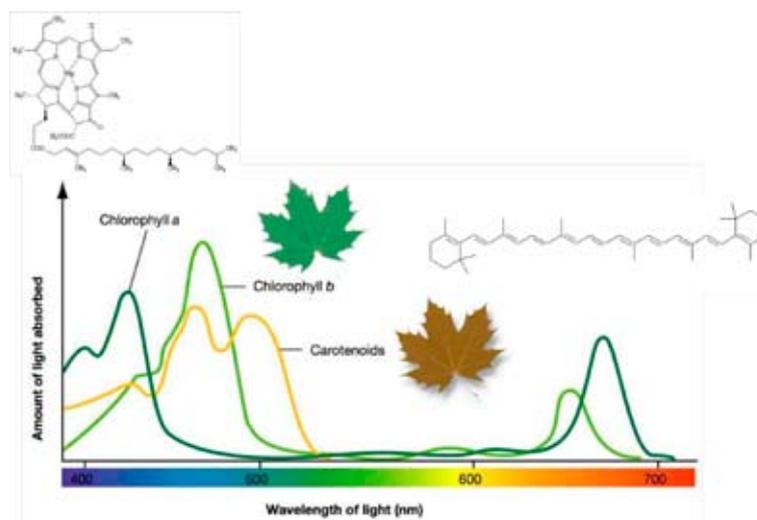


Figura 2. Spettri di assorbimento di alcuni pigmenti vegetali

Dagli spettri di assorbimento che caratterizzano la spettroscopia UV-vis passo a parlare della spettroscopia di fluorescenza, sempre attraverso esempi che i ragazzi possono conoscere da esperienze extra-scolastiche.

La fluorescenza è un processo opposto all'assorbimento, ovvero è l'emissione di radiazione da parte di una molecola. La "quantità" (o meglio, la resa,  $\Phi_F$ ) di fluorescenza si misura con valori compresi tra 0 e 1: molte molecole non sono affatto fluorescenti ( $\Phi_F = 0$ ), altre sono poco fluorescenti e altre ancora sono molto fluorescenti ( $\Phi_F \leq 1$ ).

L'emissione di radiazione è un processo molto veloce (il tempo caratteristico è circa di  $10^{-9}$  secondi): di fatto si osserva solo durante l'irraggiamento. Ai ragazzi è possibile far osservare la fluorescenza utilizzando lampade UV, nella semi-oscurità. Particolarmente affascinanti sono i minerali fluorescenti, come la scheelite, la fluorite e la sodalite, che sono abbastanza comuni.

Le energie in gioco e il tipo di radiazioni coinvolte nella fluorescenza sono simili a quelle della spettroscopia UV-vis. Si possono fare molti esempi di applicazioni della fluorescenza in Medicina e Biologia, parlando, ad esempio, delle proteine, ma anche nella Scienza dell'Alimentazione, dal momento che molti antiossidanti presenti nei cibi sono fluorescenti.

Un'altra spettroscopia molto usata, su cui è possibile fare moltissimi esempi di applicazioni è la spettroscopia infrarossa. Solitamente, la introduco parlando della storia di uno dei padri di questa tecnica, William Coblentz (1873 - 1962), [4] che costruì i primi strumenti utilizzando dei prismi di salgemma (Figura 3).

Il campo delle radiazioni infrarosse è caratterizzato da onde meno energetiche della luce visibile, e quindi con lunghezza d'onda maggiore di 750 nanometri. La grandezza usata per descrivere queste radiazioni è il numero d'onda ( $k=1/\lambda$ ) che si misura in  $\text{cm}^{-1}$ . Nella zona dell'infrarosso tra 4000 e 40  $\text{cm}^{-1}$ , chiamata medio infrarosso, i fotoni trasportano una quantità di energia che, se assorbita dalle molecole, fa vibrare alcu-

ni legami. Infatti, l'assorbimento dei fotoni infrarossi corrisponde ad una transizione energetica tra livelli vibrazionali della molecola.



*Figura 3. A sinistra, William Coblentz; a destra, uno dei primi spettroscopi infrarossi costruiti dallo stesso Coblentz. [4]*

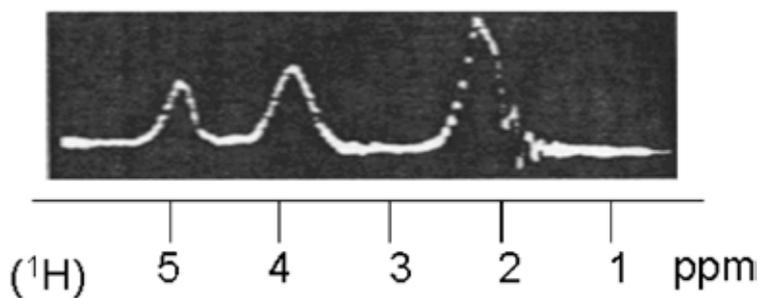
La spettroscopia infrarossa (IR) viene usata per studiare i prodotti alimentari, come l'olio d'oliva, identificandone la composizione chimica, ma anche l'eventuale presenza di alterazioni. Lo spettro IR dell'olio è infatti caratterizzato da tanti segnali, come quello a  $1750\text{ cm}^{-1}$  dovuto alla vibrazione del gruppo  $\text{-COO}$  (tipico anche dei trigliceridi) e altri nella regione tra  $1500$  e  $700\text{ cm}^{-1}$  dovuto ai gruppi  $\text{-CH}$  e  $\text{-CH}_2$ . La posizione di questi segnali o la loro assenza può significare che l'olio ha subito trattamenti e adulterazioni o che è "invecchiato".

Le onde immediatamente meno energetiche di quelle infrarosse sono le microonde, con lunghezza d'onda,  $\lambda$ , compresa tra 1 mm e 10 cm. A lunghezze d'onda maggiori di 10 cm le onde elettromagnetiche sono chiamate onde radio e, come tutti, vengono caratterizzate dalla loro frequenza, in Hz.

Sono proprio le radioonde alla base della spettroscopia di risonanza magnetica nucleare (NMR), una delle tecniche spettroscopiche più usate oggi nei laboratori di analisi chimiche. [5-7] Infatti, le onde radio con una frequenza,  $\nu$ , ben precisa e quindi con una energia,  $E$ , definita possono essere assorbite dai nuclei degli atomi. Non tutti, però, solo i cosiddetti nuclei magnetici possono assorbire le onde radio. Tra tutti i nuclei magnetici quelli più sfruttati dai chimici sono l'idrogeno  $^1\text{H}$  (Figura 4) e il carbonio  $^{13}\text{C}$  che hanno entrambi spin  $1/2$ . [7] I nuclei  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$  sono presenti in moltissime sostanze e in particolare in tutti i composti organici. Per questo i chimici usano la Risonanza Magnetica Nucleare per identificare i composti incogniti nei loro campioni o per capire la struttura molecolare dei composti di nuova sintesi. [7]

Per parlare ai ragazzi delle scuole superiori di Risonanza Magnetica Nucleare non occorre entrare nel dettaglio dei principi fondativi, che tra l'altro risulterebbe abbastanza difficile senza introdurre i principi della meccanica quantistica, tuttavia, è possibile avvicinare e incuriosire i ragazzi parlando di alcuni importanti sviluppi di questa tecnica, ad esempio in campo medico, spiegando da cosa derivano le immagini 3D delle risonanze magnetiche usate negli ospedali.

Un altro aspetto interessante da un punto di vista didattico è l'approccio storico della nascita della Risonanza Magnetica Nucleare a partire dalle prime ricerche militari sui radar durante la Seconda Guerra Mondiale, fino all'utilizzo della Trasformata di Fourier per rendere la tecnica più rapida e più immediata per l'identificazione delle sostanze. [5]



*Figura 4. Primo spettro  $^1\text{H}$  NMR registrato. E' lo spettro dell'etanolo, con tre segnali caratteristici dei protoni dei gruppi  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  e  $\text{OH}$ . [5]*

## BIBLIO/SITOGRAFIA

- [1] V. Domenici, "Fare Chimica con la Luce", Linx Magazine, N. 12, Aprile 2012.
- [2] V. Domenici, E. Parri, A. Lenzi, "Mostra Didattica 'Le pratiche della Chimica ieri e oggi' al Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay", in "La Chimica nei Musei e i Musei di Chimica" (V. Domenici e L. Campanella, curatori), La Sapienza Press, in stampa.
- [3] E. Parri, V. Domenici, L. Cetti, L. Rossetti, E. Magazzini, A. Lenzi, M. Macelloni, "Studenti delle Classi Terze della Scuola Primaria al Museo: Attività e Feedback in Aula", La Chimica nella Scuola (CnS), Vol. XXXV (1), p. 21, 2013.
- [4] V. Domenici, "Dietro un cristallo di sale", La Chimica nella Scuola (CnS), Vol.3, p. 79, 2013.
- [5] V. Domenici e C. A. Veracini, "Risonanza Magnetica Nucleare: passato, presente e futuro di una tecnica spettroscopica che ha cambiato la chimica e non solo. Parte I", La Chimica nella Scuola (CnS), vol. I, p. 21, 2007.
- [6] V. Domenici e C. A. Veracini, "Risonanza Magnetica Nucleare: passato, presente e futuro di una tecnica spettroscopica che ha cambiato la chimica e non solo. Parte II", La Chimica nella Scuola, vol. II, p. 71, 2008.
- [7] V. Domenici e C. A. Veracini, "Risonanza magnetica Nucleare: principi e applicazioni", Edizioni ETS, Pisa: 2011.
- <http://www.coblentz.org/home/history/william-weber-coblentz>
- <http://www.youtube.com/watch?v=PZyO9kO1mds>
- <http://www.youtube.com/watch?v=1UgxbO3PaVQ>
- <http://www.edizioniets.it/scheda.asp?N=9788846729668>
- <http://www.jstor.org/pss/232728>
- <http://magazine.linxedizioni.it/2012/04/16/fare-chimica-con-la-luce/>

---

## ENRICO FERMI, LA SCIENZA TRA GENIO E CASO<sup>1</sup>

MARCO M. MASSAI

*Dipartimento di Fisica 'E.Fermi', Università di Pisa*

### Introduzione

La figura di Enrico Fermi, con la sua vicenda scientifica ed umana, è certamente molto conosciuta, anche da un pubblico di non specialisti. Sono noti i suoi principali contributi alla fisica teorica, vere pietre miliari nello sviluppo di modelli fisici, e alla tecnologia nucleare, che hanno rappresentato un caso unico, sia per la quantità e la qualità delle idee proposte dal fisico italiano, sia per la sua capacità di inventare soluzioni originali in una varietà incredibile di problemi; la realizzazione della prima pila atomica alla fine del 1942, a Chicago, rappresenta bene la sintesi delle sue conoscenze, sia teoriche che sperimentali, e delle sue capacità organizzative [1].

Fermi partecipò al Progetto Manhattan che permise agli Stati Uniti di costruire le prime bombe atomiche, nel 1945; bombe che furono sganciate sulle città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki, il 6 ed il 9 agosto dello stesso anno provocando la distruzione, più ancora, la polverizzazione quasi istantanea di quello che restava di città che avevano già subito bombardamenti convenzionali. Ma che portarono soprattutto all'uccisione di centinaia di migliaia di persone, in parte annientate dall'enorme energia liberata dalle ancora inesplorate profondità dell'atomo, in parte uccise lentamente, anno dopo anno, dai mille tipi di tumore generati dall'esposizione alle radiazioni.

Ma andando a cercare nei numerosi lavori di Fermi, ed in particolare in quello svolto a Roma nell'anno 1934, si trovano due episodi singolari che possiamo considerare emblematici e che portano a guardare al lavoro di uno scienziato da un diverso punto di vista, meno scontato e più problematico.

Infatti, un ricercatore che nel suo lavoro inizialmente decide di puntare in una direzione, a volte può scegliere di cambiare obiettivo strada facendo, spinto spesso da non sicure intuizioni; può raggiungere quindi risultati che talvolta sembrano incomprensibili, se interpretati con gli schemi che ha a disposizione e che si possono mostrare inadeguati. Ecco che allora può provare a cambiare punto di vista e imboccare nuove strade. Bene, io credo che questo percorso non sia stato finora né potrà, forse, mai essere completamente codificato.

Thomas Kuhn, a metà del Novecento, ha elaborato un complesso ed articolato schema con il quale ha proposto di interpretare molte delle scoperte che hanno caratterizzato gli ultimi tre secoli di sviluppo della scienza; ha introdotto il concetto di *paradigma*

---

1 Lezione tenuta al Liceo Scientifico "XXV aprile" di Pontedera il 14 dicembre 2012.

scientifico come insieme di idee e concezioni, di connessioni tra di esse, che caratterizza in un periodo storico, la spiegazione di una serie di fenomeni all'interno di una data disciplina. Ha di conseguenza usato il termine di *rivoluzione scientifica* proprio come sostituzione di un paradigma entrato in crisi in un periodo di *scienza normale*. Tuttavia, una cosa è trovare uno schema interpretativo di ciò che è già scritto nei libri di storia, ben altro è immaginare e prevedere quali possano essere le prossime *crisi del paradigma* e da quale angolo dell'orizzonte della conoscenza possano arrivare i primi segnali [2].



Figura 1. Enrico Fermi

### **Fermi in via Panisperna**

Fermi arrivò a Roma, nel 1926, già famoso come fisico teorico per alcuni lavori fatti fin da giovanissimo, avendo vinto la Cattedra di Fisica Teorica, la prima bandita in Italia. Tuttavia, i suoi impegni nel Regio Istituto di Fisica, diretto da Orso Mario Corbino, hanno a che fare con la fisica dell'atomo che, seppur ancora lungi dall'essere esplorata fino in fondo, stava rapidamente lasciando il campo alle nuove e misteriose domande che venivano dai recenti esperimenti sul nucleo.

Infatti, la scoperta del neutrone fatta da Chadwick nel 1932, aveva sì chiarito alcune questioni riguardanti la massa e la carica nucleare, ma aveva aperto un nuovo campo di ricerca, la fisica nucleare. Per studiare i misteri dell'atomo è necessario essere forniti di strumenti relativamente semplici, visto che le energie in gioco sono dell'ordine dell'elettronvolt, per i gusci esterni, e del keV (migliaia di elettronvolt) per quelli più interni; quindi, luce e raggi X sono le 'sonde' giuste per ricavare informazioni sul sistema 'atomo'.

Invece, per studiare il nucleo diventa necessario disporre di 'sonde' ben più energetiche, sia perché le energie di legame dei costituenti nucleari sono molto maggiori, sia perché la repulsione coulombiana dovuta alla carica positiva del nucleo rende sempre più difficile avvicinarsi al nucleo stesso. I gruppi che al mondo in quei primi anni Trenta stanno studiando il nucleo utilizzano o protoni o particelle alfa, entrambi con carica positiva. In particolare, nel Laboratorio dei coniugi Irene Curie e Frederic Joliot, a Parigi, si sta sperimentando l'utilizzo delle particelle alfa, con carica + 2, prodotte dal decadimento di alcune sostanze naturali che essendo instabili, danno luogo a quel fenomeno chiamato 'radioattività', già noto da anni, ma ben lungi dall'essere compreso.

E' grande la sorpresa, tra gli scienziati nucleari, quando i coniugi Joliot-Curie (questo è il cognome che entrambi prenderanno) scoprono che in alcune sostanze stabili, se bombardate con particelle alfa energetiche, si assiste alla nascita di nuovi elementi radioattivi: è una scoperta da Premio Nobel che infatti verrà loro assegnato nel 1935, e che prende il nome di 'radioattività artificiale'. E' la prima volta che l'uomo raggiunge, seppure per via fisica e non chimica, il traguardo della trasmutazione degli elementi, così a lungo sognato, inutilmente cercato per secoli, dagli alchimisti. E' possibile adesso mutare la natura di un elemento. Il segnale che ciò è avvenuto nel bersaglio sottoposto al bombardamento di alfa è infatti proprio la presenza di elementi chimici non presenti all'inizio.

Tuttavia, questo segnale è debole, le quantità in gioco sono piccolissime e sono necessari tecniche raffinate e chimici molto in gamba per rivelarne la presenza. Le modalità con le quali viene riconosciuta questa trasmutazione artificiale del nucleo sono o nel decadimento beta, nel quale viene emesso un elettrone (in alcuni casi, un positrone), o nel decadimento alfa. Nel primo caso, la segnatura è caratteristica: si trova la presenza di elementi nuovi, con la stessa massa atomica, ma con uno  $Z$  variato di una unità. E' quindi concettualmente facile riconoscere se siamo davanti a radioattività artificiale: basta aspettare che i nuovi isotopi, instabili, seguendo leggi di natura ancora imperscrutabili, mutino la loro identità decadendo beta dando origine a nuovi elementi.

La scoperta dei Joliot-Curie apre uno scenario nuovo: quanti sono gli elementi instabili che si possono formare? Quali sono le forze responsabili di queste reazioni nucleari? E quali sono i meccanismi con i quali agiscono? Ci vorranno ancora molti anni di ricerche sempre più complesse e nuovi modelli teorici per rispondere a queste domande.

### **Il bombardamento neutronico**

E Fermi, a Roma, agli inizi del 1934, sta per dare risposte ad entrambe. Inizia infatti a costruire la strumentazione necessaria ad eseguire i primi esperimenti sul nucleo. Sono necessarie fondamentalmente tre cose: i proiettili, da sparare sul nucleo, i bersagli, che devono essere il più puri possibile per non sovrapporre la risposta di due sostanze

diverse, ed i rivelatori di radioattività, strumenti ancora rudimentali ma che certo non si comprano sul mercato; vanno costruiti in Laboratorio ed essi stessi rappresentano un importante campo di ricerca. Ma Fermi, a Roma, ha tra i suoi collaboratori Franco Rasetti, già compagno di studi a Pisa, amico, ed uno dei maggiori fisici sperimentali in Italia, nonostante non abbia ancora 33 anni. Inoltre, nel gruppo che prenderà il nome di 'Ragazzi di via Panisperna', ci sono anche Emilio Segré, di 4 anni più giovane e futuro Premio Nobel, ed Edoardo Amaldi. Solo pochi mesi dopo arriverà un ragazzo poco più che ventenne, Bruno Pontecorvo, che segnerà la storia della fisica, e non solo di essa, con una serie incredibile di idee rivoluzionarie e con una vita ricca di svolte clamorose. Il gruppo ha tuttavia bisogno di un chimico, e Oscar D'Agostino che lavorava proprio a Parigi dai Joliot-Curie, verrà richiamato a Roma da Fermi.

Tutto è pronto per iniziare un'avventura scientifica che ancora nessuno si immagina. Ma c'è bisogno di un'idea nuova e questa viene proposta da Fermi: utilizzare al posto di proiettili carichi che necessitano di grandi energie per avvicinarsi al nucleo, proiettili neutri, proprio come i neutroni appena scoperti, che permettono anche di raggiungere nuclei pesanti, cioè elementi ad alto numero atomico, di fatto irraggiungibili con i protoni o con le alfa. L'idea è buona, ma ha le sue controindicazioni: le sorgenti di neutroni vanno costruite e non sono molto intense. Inoltre i neutroni non possono essere né accelerati né diretti. Questo comporta che i flussi di neutroni saranno deboli, e così anche i segnali, e quindi l'apparato sperimentale deve essere completamente ridisegnato.

Ma ormai il dado è tratto e agli inizi del '34 Fermi ed il suo gruppo cominciano un lavoro sistematico: bombardare con neutroni la maggior parte degli elementi della tavola periodica, cominciando con il primo, l'idrogeno. Non succede nulla: i rivelatori rimangono silenziosi, o meglio, emettono il solito rumore di fondo che li caratterizza e che deve essere ben misurato per poter distinguere il vero segnale. Non accade niente neanche per i successivi elementi che sono il litio, il berillio, il boro etc. C'è nel gruppo una certa sfiducia perché potrebbe essere sbagliata proprio la strada, nuova, che hanno scelto, quella dei neutroni; oppure il segnale potrebbe essere così debole che il rumore degli strumenti riesce a sopraffarlo. Visto lo scetticismo che si stava impadronendo del gruppo, quindi, la sorpresa è ancora maggiore e la soddisfazione grande, quando arrivano le prime indicazioni che là, al centro degli atomi di fluoro, qualcosa è cambiato. Il segnale è dato dal contatore Geiger che col suo ticchettio segnala il passaggio di una particella carica: o è una particella alfa che si è staccata dal nucleo che si è trasformato in azoto, oppure è l'elettrone del decadimento beta, che indica che un neutrone nel nucleo di fluoro è diventato un protone con l'emissione di un elettrone; e qualcos'altro che però non è ancora possibile rivelare, ma che Pauli ha già immaginato nel 1930 e che è stato battezzato neutrino. Comunque sia è un successo: adesso, Fermi ha dimostrato che l'uso dei neutroni è altrettanto efficace di quello delle alfa e può quindi proseguire lo studio sistematico di tutti gli altri elementi disponibili [3].

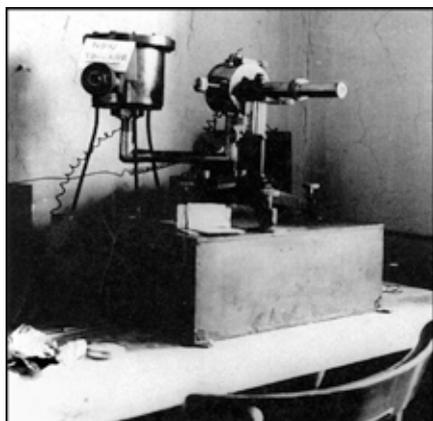


Figura 2a. Camera a ionizzazione



Figura 2b. Elettromagnete trocoidale

### Strani segnali dall'uranio

In poche settimane la tavola di Mendeleev è completata e anche l'ultimo elemento, l'uranio, viene sottoposto al bombardamento con neutroni.

E' l'elemento più pesante, il suo nucleo contiene 92 protoni ed un numero di neutroni che dipende da quale isotopo si considera: per esempio, 143, nel caso del  $^{235}\text{U}$ , e 146, nel caso del  $^{238}\text{U}$ .

Il gruppo di Fermi registra anche in questo caso una certa attività dei rivelatori: il ticchettio dei Geiger è inconfondibile. La spiegazione che viene data è la stessa che nel caso di altri elementi: il neutrone, assorbito dal nucleo, lo rende instabile e quindi tende a trasformarsi in un protone, emettendo un elettrone per garantire la conservazione della carica nella reazione. Ma un protone in più significa, nel caso dell'uranio, una cosa sola: la formazione dell'elemento n. 93, che in natura non esiste.

E' solamente un'ipotesi, ma per adesso è la sola. Sarebbe una scoperta clamorosa, raggiunta con pochi strumenti ed in pochi mesi di lavoro. Altre idee non vengono in mente ai membri del gruppo di via Panisperna e quindi decidono di pubblicare il lavoro sulla prestigiosa rivista *Nature*, anche se Fermi nutre ancora alcuni dubbi [4]. Non solo, c'è anche l'evidenza sperimentale di un altro elemento, il n.94 che potrebbe essere creato dal bombardamento del torio. Ma anche le pressioni del Direttore dell'Istituto spingono a darne notizia al resto del mondo; e sono già pronti i nomi per i due nuovi elementi: Ausonio ed Esperio, in onore di antiche popolazioni italiche, in ottemperanza ad un nazionalismo esasperato che è diffuso dal potere politico, ormai invasivo.

La notizia fa scalpore nel mondo scientifico, ma l'autorevolezza che Fermi si è conquistato in anni di intenso lavoro, lo mette al riparo da critiche immediate. Anzi, dopo pochi mesi, altri ricercatori confermano i suoi risultati [5], [6]. Eppure, c'è qualcuno che ha letto con attenzione il suo lavoro e che non è d'accordo.

E' Ida Noddack, una chimica tedesca che studia la radioattività artificiale. Ha avuto da poco notizia che anche un fisico ceco a Praga, O. Koblíček, ha identificato l'elemento n.93, in maniera del tutto indipendente da Fermi, e lo ha battezzato Bohemio, in omaggio alla sua terra. Ma la Noddack ha dei forti dubbi sulla spiegazione che viene portata a supporto della scoperta, non è convinta, lei chimica, che l'identificazione del nuovo elemento sia rigorosa. Invece, ha un'idea nuova, molto diversa, su cosa sia successo in realtà al nucleo dell'uranio dopo che ha assorbito il neutrone incidente; ma è un'idea veramente rivoluzionaria che introduce una nuova modalità, per il nucleo, per raggiungere una maggiore stabilità: la fissione, la rottura in due pezzi più piccoli [7].

Ida Noddack ipotizza che il nucleo di uranio, una volta assorbito il neutrone, si scinda in due nuclei più leggeri, a loro volta necessariamente instabili, che con decadimento beta o alfa, danno un segnale simile a quello che Fermi ha interpretato come decadimento dell'elemento n.93; questo, per adesso, torna ad essere una ipotesi, una speranza dei ricercatori. La chimica tedesca pubblica, ancora su *Nature*, la sua idea che supporta con considerazioni di carattere fisico e chimico. Ma per adesso la dimostrazione che ha ragione non è accessibile agli sperimentatori, anche per la quantità estremamente piccola degli atomi interessati. Manca infatti una strumentazione che possa, misurando l'energia dei prodotti di decadimento, caratterizzare in maniera non ambigua la reazione studiata, indipendentemente dal numero di atomi prodotti. Ci vorranno ancora alcuni anni, nuovi strumenti e nuove teorie per spiegare i risultati ottenuti. Solamente alla fine del 1938, proprio mentre Fermi dopo aver ritirato a Stoccolma il Premio Nobel si sta trasferendo con la famiglia negli Stati Uniti, Otto Hahn e Fritz Strassmann, di Berlino, pubblicano la notizia che durante il bombardamento dell'uranio è stata rivelata la presenza di bario nei prodotti di decadimento; ed il bario non era assolutamente presente all'inizio. E sarà ancora una donna, una grande scienziata, Lise Meitner, che era dovuta fuggire da Berlino e rifugiarsi in Svezia perché ebrea, a dare la corretta interpretazione dei risultati dei due scienziati tedeschi.

Sarà il primo passo verso la realizzazione della bomba atomica. In poche settimane, in quegli inizi del drammatico 1939, Enrico Fermi e Leo Szilard alla Columbia University riprodurranno, stavolta in maniera consapevole, la fissione del nucleo di uranio. Anche Joliot-Curie, a Parigi, dove si erano accumulate la maggiori competenza al mondo nel campo della fisica nucleare, riuscirà a riprodurre la reazione; e si accorgerà, inoltre, che questa provoca la fuoriuscita dal nucleo di altri neutroni. Questo fatto verrà correttamente interpretato come l'indizio che si possa realizzare una reazione a catena [8]. Il fatto poi che in queste reazioni si liberi anche una enorme quantità di energia, apre improvvisamente la possibilità, almeno teorica, di realizzare una nuovo tipo di bomba. Ma questa è un'altra storia.

Fermi nel 1934 questo sviluppo non lo aveva ancora immaginato.

La scoperta dell'elemento n.93, in quegli anni, cade lentamente nell'oblio.

Ma il destino aveva in serbo per Fermi ed il suo gruppo un'altra clamorosa scoperta che verrà subito confermata da tutta la comunità internazionale e che lo porterà all'assegnazione del Nobel nel 1938.



*Figura 3. Ida Noddack*

### **La sorpresa dei neutroni lenti**

Nell'estate del 1934, a Roma, la produzione del primo elemento artificiale non è seguita da esperimenti convincenti e Fermi se ne sta gradualmente allontanando. Si dedica al perfezionamento della sua teoria per spiegare il decadimento beta, così tante volte osservato e misurato in laboratorio. Nel frattempo, gli altri membri del gruppo portano avanti sistematicamente il miglioramento delle misure con i neutroni. Ma nuovi problemi sorgono nel tentativo di riprodurre le numerose reazioni nucleari che avevano portato in pochi mesi alla produzione della metà degli isotopi radioattivi artificiali prodotti nel mondo.

Con il rientro dalle vacanze estive, si aggrega al gruppo un giovanissimo fisico, pisano di origine ma che si era laureato l'anno prima a Roma, Bruno Pontecorvo. Viene messo subito a lavorare, con Edoardo Amaldi, alla riproduzione dei primi esperimenti compiuti prima dell'estate, per eseguire misure più accurate. I due giovani fisici (Amaldi ha solo 5 anni più di Pontecorvo) non riescono tuttavia ad eseguire misure stabili. Pur in presenza dello stesso apparato, e cioè, stessa sorgente di radioberillio, stesso bersaglio, l'argento, stessi contatori Geiger, i risultati quantitativi sono molto instabili e cambiano anche di un ordine di grandezza, apparentemente senza una spiegazione razionale.

In effetti, non era possibile immaginare un fenomeno così misterioso, seppur semplice, almeno nella spiegazione che ne darà Fermi di lì a poche settimane. Il numero

dei conteggi dei Geiger sembra dipendere da certe condizioni sperimentali che nulla possono avere a che fare con un fenomeno nucleare: il materiale con cui è fatto il tavolo che sorregge l'apparato, la presenza nei dintorni di un secchio d'acqua... Un vero e proprio rompicapo, almeno fino al 20 ottobre del 1934. Quel giorno, infatti, il problema troverà una spiegazione, razionale seppure mai pensata prima.

Rasetti rimbrotta i giovani e li prende in giro accusandoli di non saper ripetere la misura, in fondo così semplice. Ma Fermi non si fida di questa spiegazione che si basa sulla inesperienza dei giovani, anzi è certo che loro hanno fatto bene il loro dovere. Quindi la soluzione sta in qualcosa che è celato negli ancora misteriosi fenomeni che avvengono alle dimensioni nucleari, per le quali un atomo è grande quanto una montagna per un topolino.

Quel giorno, sabato, Fermi ha un'intuizione geniale che certo viene dalla sua profonda conoscenza di tutti i fenomeni della fisica, dalla Relatività Generale alla Meccanica Quantistica, dalla Meccanica Statistica alla Fisica Nucleare. Forse le sue conoscenze in tutti questi campi portano un contributo alla formulazione dell'ipotesi sul rallentamento dei neutroni negli urti con nuclei leggeri.

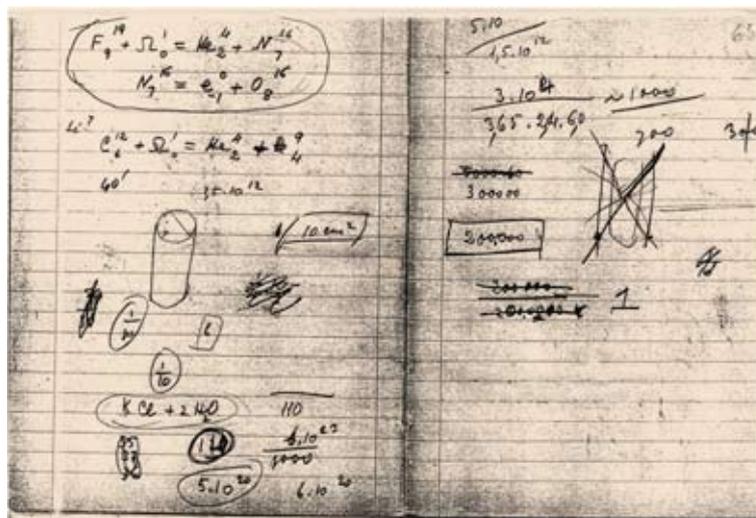


Figura 4a. Appunti di Fermi

Questa è la spiegazione che Fermi dà per primi ai suoi allievi e colleghi: quando i neutroni molto energetici urtano nuclei di idrogeno che hanno praticamente la loro stessa massa, per le semplici leggi di conservazione dell'impulso e dell'energia, devono perdere parte della loro energia cinetica, cosa che non avviene nell'urto con nuclei più pesanti, come il ferro, contro i quali il neutrone quasi rimbalza, cambiando il suo impulso ma cedendo ben poca energia al nucleo. Proprio come una pallina rimbalza elasticamente quando urta una parete o il pavimento, mentre la palla da biliardo urtando una sua simile perde molta della sua energia, e rallenta. Il modello è semplice, ma Fermi è in grado di verificare con pochi conti anche quantitativamente che cosa succede quando in un materiale gli urti tra un neutrone ed i numerosi nuclei, sono

molteplici. Ma questa spiegazione non basta; bisogna anche considerare che un neutrone rallentato impiega più tempo nel passare accanto al nucleo e quindi la probabilità che da questo venga assorbito aumenta di conseguenza.

Ecco, adesso il modello è completo. Certo, servono conti più precisi, verifiche, controlli sperimentali accurati, ma l'idea è quella giusta. Fermi la comunica ai suoi ragazzi ed il lunedì successivo viene fatta una comunicazione alla rivista *La Ricerca Scientifica* [9]. E' la scoperta che verrà premiata con il Premio Nobel quattro anni dopo. E questa scoperta ancora per qualche tempo permette al gruppo di Fermi di rimanere sulla frontiera della ricerca a fronte dei gruppi, americani in particolare, i quali dispongono dei nuovi strumenti che si dimostreranno cruciali per proseguire lo studio del nucleo, gli acceleratori di particelle.



Figura 4b. Il lavoro sui neutroni lenti

Infatti, la bassa intensità delle sorgenti naturali che viene superata di ordini di grandezza dall'energia ed intensità delle nuove macchine viene compensata dall'aumento della probabilità di interazione, descritta bene dalla grandezza sezione d'urto (che ha le dimensioni di una superficie!) la quale aumenta al diminuire dell'energia del neutrone, come Fermi aveva ipotizzato. In altre parole, è come se i neutroni, rallentando, diventassero più grandi!

Già la settimana successiva, i Joliot-Curie ripetono a Parigi con successo l'esperimento di Fermi, confermando in pieno anche il modello da lui proposto. E stavolta la scoperta non viene messa in dubbio e va ad accrescere la stima che Fermi ed il suo gruppo, in quel magico, incredibile 1934, si erano già conquistati; anche se pochi mesi prima avevano mancato l'altra grande scoperta, la fissione del nucleo, che dovrà aspettare altri quattro anni per essere realizzata.

### **Conclusioni**

Non credo si possano trarre delle conclusioni univoche dall'analisi di questa vicenda, tanto singolare essa appare anche a chi studia la Storia della Scienza. Ben pochi casi, infatti, possono essere trovati simili a quanto è accaduto a Fermi ed al suo gruppo, in quei pochi mesi del 1934.

Qualcuno può riconoscere l'esclusivo contributo del caso, imprevedibile, che ha prima negato e poi permesso allo scienziato italiano la scoperta da Premio Nobel. Ma non può essere solo la fortuna: nel caso di Fermi, osservando il suo percorso scientifico prima e dopo l'avventura di via Panisperna, emerge senza dubbio la sua genialità, unitamente alla sua dedizione al lavoro sistematico, continuo, metodico, ma mai passivo.

Sempre, infatti, deve essere pronto lo scienziato a cogliere le connessioni, i legami o le contraddizioni tra un'osservazione ed un'altra, tra i dati che a prima vista appaiono incoerenti, contraddittori persino. E che forse celano una nuova verità nascosta.

E proprio in questa tensione tra la ricerca del nuovo e la conferma del già conosciuto, tra la fiducia nel lavoro svolto da tanti altri colleghi e la speranza di raggiungere la fama attraverso l'idea rivoluzionaria, che si colloca il lavoro dello scienziato; ma spesso è facile scivolare verso uno dei due estremi. E allora, in un caso si va alla ricerca della scoperta clamorosa, e qui la fortuna, il caso sono sempre in agguato, con il loro contributo imprevedibile. Nell'altro, la condanna all'anonimato, all'oblio, è probabile.

Ma, forse, il caso, che qualcuno chiama destino, è sempre lì, pronto, o a sottrarre all'appassionato scienziato l'occasione della futura gloria o, al contrario, a fornirgli inaspettatamente l'occasione per scrivere il proprio nome nella storia.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] MASSAI M., *Enrico Fermi, tra scienza, storia ed etica*, Atti di Pianeta Galileo, 2011.
- [2] KUHN T., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1979.
- [3] *Radioattività indotta da bombardamento di neutroni*, La Rivista Scientifica, Vol. I, n.5, 15 marzo 1934.
- [4] FERMI E., *Possible Production of Elements of Atomic Number Higher than 92*, Nature 133, 16 June 1934.
- [5] BJERGE T., WESTCOTT C.H., *Radioactivity induced by Bombardment with Neutrons of Different Energies*, Nature 134, 04 August 1934.
- [6] *Element beyond Uranium*, Nature 137, 958-959, 6 June 1936.
- [7] NODDACK I., *On element 92*, Zeitschrift fur Angewandte Chemie, vol. 47, Settembre 1934.
- [8] VON HALBAN H., JOLIOT F., KOWARSKI L., *Liberation of Neutrons in the Nuclear Explosion of Uranium*, Nature 143, 470-471, 18 March 1939.
- [9] *Azione di sostanze idrogenate sulla radioattività prodotta da neutroni*, La Rivista Scientifica, Vol. II, n.14, 15-31 Ottobre 1934.

*Immagini in parte dalla Collezione Fermi del Dipartimento di Fisica di Roma:*  
<http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/collezione%20Fermi/collFermi.htm#beta>



# IL CONCETTO DI SISTEMA IN FISICA, CHIMICA E BIOLOGIA<sup>1</sup>

GIOVANNI VILLANI

*Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (ICCOM - UOS Pisa) del CNR*

## 1. Introduzione

Il concetto di sistema ha due significati diversi in ambito scientifico. In certi ambiti (per esempio in meccanica o in termodinamica), per sistema s'intende un pezzo di realtà in studio e non esiste alcun collegamento ai concetti d'organizzazione o di strutturazione. In altre realtà, si pensi ai sistemi viventi, nel concetto di sistema è implicito che si stia parlando di un pezzo di realtà strutturata e/o organizzata.

Il concetto di sistema è presente in tutte le discipline scientifiche. Tuttavia, possiamo affermare che tale concetto acquista maggiore importanza passando dalla fisica, alla chimica, alla biologia e procedendo con l'uomo e le scienze umane. Da questo punto di vista la chimica svolge un ruolo essenziale: è la prima vera scienza sistemica. Non è un caso che la biologia, che in quest'ipotetica scala dà ancora maggior risalto della chimica al concetto di sistema, utilizzi molto di più la chimica che la fisica nelle sue spiegazioni. Quest'ultima, infatti, con la sua "insistenza" sulle leggi naturali coglie della realtà materiale gli aspetti (come l'energia o il movimento) universali. La chimica, invece, e ancor più la biologia, è una scienza che dà un'importanza notevole, oltre che all'universale e al generale, alle entità individuali. Questo è evidente se si pensa al concetto di specie: esso è del tutto assente in fisica ed è simile (se non uguale) in chimica e in biologia.

## 2. Il sistema in ambito scientifico

Prima di passare ad analizzare il concetto di sistema nelle differenti discipline scientifiche, occorre accennare a una differenziazione essenziale usata da tutte le discipline scientifiche: quella tra sistema e ambiente.

### 2a. Sistema e ambiente

Una fondamentale caratteristica di definizione di ambiente è legata al fatto che non c'interessa descrivere quel pezzo di realtà come un mondo materiale obiettivo nella sua totalità, ma soltanto i suoi aspetti che hanno rilevanza per il nostro sistema. Per esempio, in biologia quello che noi definiamo "ambiente" sarà un'entità condizionata dai "bisogni", dagli "stimoli" o dagli "obiettivi" dell'organismo e dell'apparato percettivo di quest'ultimo. In questo caso, un sistema è perciò delimitato dall'ambiente disponibile per effetto della sua capacità di interagire con esso e tutta la sua azione è condizionata dall'ambiente disponibile.

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 18 gennaio 2013 presso il Liceo Scientifico "Barsanti e Matteucci", Viareggio (LU).

Esistono due posizioni estreme per il rapporto tra sistema e ambiente: una posizione, che con Morin chiameremo ecologica, in cui il sistema è “immerso” nell’ambiente ed un’altra nella quale si considera l’ambiente come privo di struttura, immutabile o completamente casuale, una sorta di rumore di fondo, il che equivale a ipotizzare un’assenza di relazioni o interdipendenze specifiche fra le proprietà del sistema e quelle dell’ambiente, a tutto vantaggio di un’interazione media.

Accenniamo infine al caso umano. L’uomo, in quanto essere vivente, è un sistema naturale altamente organizzato. L’uomo, tuttavia, non nasce isolato, ma “naturalmente” implica una famiglia. Quest’unità biologica e sociologica è un sistema organizzato con proprie caratteristiche individuali da famiglia a famiglia. L’aver inserito l’uomo in una famiglia e averla definita un’unità sia biologica sia sociologia ci apre due strade che vanno entrambe percorse. L’uomo, in quanto essere vivente, è integrato in un *habitat* ambientale e come gli altri animali (e purtroppo anche di più) modifica il suo stesso ambiente naturale. L’uomo, in quanto essere sociale, è inserito in una famiglia, in un clan, in un’etnia, in uno stato, ecc. e tutti questi enti sono sistemi sociologici che sono determinati e determinano il singolo uomo. Dice Morin che l’uomo è un auto-eco-socio-organizzazione e con quest’apertura sia sociale sia naturale dell’uomo non posso che concordare.

Passiamo ora ad esaminare il concetto di sistema in fisica (e più in particolare in meccanica), in chimica e in biologia.

### **2b. Il concetto di “sistema meccanico”**

Ogni sistema fisico in meccanica classica è costituito da un insieme di “punti materiali”, cioè punti dotati di massa, ciascuno dei quali possiede tre gradi di libertà, rappresentati dalle sue coordinate spaziali. In meccanica, quindi, ogni sistema fisico è costituito da un insieme di  $P$  particelle (atomi, molecole, ecc.) con  $3P$  gradi di libertà ed il suo stato ad ogni istante è determinato da  $6P$  valori (posizioni e velocità). In meccanica esistono leggi generali del moto, che si traducono in un insieme di equazioni differenziali, che, una volta risolte, permettono di ottenere le funzioni che descrivono l’evoluzione temporale di tutti i punti materiali. Tali funzioni ci danno una traiettoria in un opportuno spazio ideale (detto spazio delle fasi) per ogni singolo punto materiale e l’insieme delle traiettorie ci dà la trasformazione nel tempo di uno stato del sistema. Ogni traiettoria resta interamente fissata una volta noto un suo punto (determinato dalle condizioni iniziali). Tale traiettoria descrive, quindi, la storia completa (passata, presente e futura) del nostro punto materiale e l’insieme dei punti materiali quella del sistema, che è del tutto determinato e deterministico.

In sintesi possiamo riassumere lo schema meccanico: ogni corpo può essere decomposto in un insieme di particelle, ciascuna con la propria energia cinetica e con un’energia potenziale dovuta alla configurazione globale dell’insieme. Per ognuna di queste particelle esiste una traiettoria nello spazio delle fasi che determina in maniera univoca la sua evoluzione temporale e per la quale passato e futuro hanno lo stesso significato determinato.

## 2c. Sistemi chimici

Lo scopo di questo paragrafo è di ricercare il concetto di sistema, come da noi inteso (realtà strutturata), nell'ambito della chimica e di mostrare le differenze e le similitudini con il sistema meccanico già trattato. La chimica lavora su due piani: quello macroscopico delle sostanze pure (elementi e composti) e quello microscopico degli atomi e delle molecole. Qui, svilupperemo il concetto di sistema chimico solamente sul piano macroscopico. In particolare, ci concentreremo sul concetto di *composto chimico*. Per il *concetto di molecola*, equivalente sul piano microscopico, il discorso è simile (per una trattazione dettagliata, vedere il mio libro [1]).

A differenza della fisica, ambedue questi tipi di sistemi chimici svolgono un ruolo fondamentale in questa disciplina, configurando, quindi, la chimica come la prima vera scienza sistemica [2] e proponendola come uno snodo essenziale per guardare al mondo materiale (inanimato e animato) in un'ottica non riduzionista e pluralistica. Infatti, già prima di cercare il concetto di sistema in biologia, la visione del mondo materiale che viene fuori è articolata, con un approccio riduzionista ed uno sistemico, con un'ottica fisica incentrata sul "semplice" ed un'ottica chimica sulla "complessità". Da un punto di vista culturale e filosofico, la peculiarità del mondo chimico è quella di essere un mondo ricco qualitativamente: i suoi tipi di enti (molecole e composti), milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri al punto da meritare un nome individuale. È questa sua caratteristica che rende la chimica atta a spiegare tanto il complesso mondo macroscopico inanimato, fatto di oggetti diversi sotto tanti punti di vista qualitativi, quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente [3].

Un punto essenziale nella genesi del concetto di composto chimico, come è ora concepito, è stato quello di superare la visione che tali sostanze fossero strettamente legate alla "metodologia" di ottenimento e che, quindi, fossero di numero infinito. All'inizio dell'Ottocento si opposero due visioni dei composti chimici e di conseguenza anche del loro numero: quella di Claude Louis Berthollet [1748-1822] e quella di Joseph Louis Proust [1754-1826]. Nel 1799 con la *Recherches sur les lois de l'affinité* e nel 1803 con l'*Essai de statique chimique*, Berthollet costruì la sua teoria sulle affinità chimiche che si ricollegava al problema del numero dei composti chimici. Per Berthollet il numero dei composti chimici era infinito ed in particolare dalla mescolanza di due reagenti si otteneva una serie infinita di prodotti la cui proporzione nei reagenti era sempre compresa tra due valori limite, un minimo ed un massimo. L'esistenza di due punti limite in un composto di due elementi, e quindi l'impossibilità di infiniti altri composti accanto agli infiniti possibili, emancipava parzialmente i composti chimici dalle circostanze di reazione in quanto vi erano dei composti non ottenibili, in qualunque circostanza di reazione. Dall'altra parte, a seguito di ricerche sperimentali soprattutto sugli ossidi metallici del ferro, del rame e dello stagno, Proust enunciò la sua *legge delle proporzioni definite* secondo la quale ogni composto chimico era costituito da una proporzione fissa e costante dei componenti, indipendentemente dalle condizioni sperimentali nelle quali esso era formato. Le ricerche di Proust ebbero

un discreto successo e la legge delle proporzioni definite prevalse sull'ipotesi continuista di Berthollet.

La conseguenza principale nell'ambito epistemologico della legge delle proporzioni definite di Proust è che essa configura definitivamente i composti chimici come entità individuali da ricercare e determinare. Il problema della nomenclatura ne è una normale conseguenza. Se i composti chimici fossero stati infiniti avrebbe avuto poco senso ricercare per loro un nome che non fosse una pura etichetta, ma che fosse, per così dire, "naturale". Ora, invece, che ogni composto chimico è "a proporzioni definite" vale la pena di determinarne la formula e di legarla alle sue caratteristiche fisiche e chimiche. Ovviamente le circostanze di laboratorio, ora come allora, determinano la realizzazione o meno di un determinato composto, ma nessuna circostanza può generale le proporzioni non frazionarie (diverse cioè da  $1/2$ ,  $1/3$ ,  $2/3$ , ecc.) e condizioni differenti possono dare lo stesso composto che è identico, per esempio, sia che venga ottenuto per sintesi in laboratorio sia che venga estratto da un prodotto naturale. Questo è oggi ritenuto più che ovvio, quasi naturale e, di conseguenza, non si riflette, e non si fa apprezzare all'allievo in ambito didattico, sullo sforzo per giungere a questa conclusione, tutt'altro che ovvia e banale.

## **2d. Sistemi in biologia**

Dopo aver trattato i sistemi materiali inanimati, ora spendiamo qualche parola sui sistemi viventi. Gli organismi viventi, più delle molecole, si differenziano dai sistemi fisici e, quindi, esiste tutto un ambito filosofico che li ha da sempre differenziati. Il rapporto parte-tutto è estremamente complesso nei sistemi viventi: le parti viventi sono dei "tutti" e i "tutti" viventi sono delle parti. Possiamo dire che nel campo della vita, non esistono né parti né totalità in senso assoluto e, anche all'occhio inesperto di questioni filosofiche, appare subito evidente che una caratteristica essenziale del vivente è quella di sottrarsi alla scomposizione. Un organismo è vivente solo fin quanto è "tutto intero"; qualunque divisione sostanziale "uccide" l'organismo.

Uno degli scopi di questa discussione è di evidenziare l'impossibilità concettuale, e non solo pratica, del riduzionismo e, quindi, della riduzione della biologia a chimica e della chimica alla fisica. Tuttavia, altrettanto importante è di evitare la dicotomia inanimato-animato che porta a due riduzionismi distinti per i due ambiti. Nella rimozione della dicotomia animato-inanimato, un ruolo chiave è svolto dalla chimica. La sua autonomia, la sua irriducibilità, moltiplica le differenze e le stempera. L'idea generale è che gli enti strutturati e/o organizzati, i sistemi, sono presenti in molti ambiti e, quindi, creano differenze epistemologiche e non dicotomie. La molecola è, da questo punto di vista, esemplare.

## **3. Conclusione**

Da quanto detto, dovrebbe essere evidente l'importanza del concetto di sistema in scienza. Eppure esso è così ben nascosto in fisica e in chimica che sembra proprio tale concetto la base della dicotomia animato-inanimato: il sistema vivente contrapposto

alle entità fisiche e chimiche. L'indivisibilità del primo contrapposto all'analisi delle seconde. Se poi ci si sposta sul piano delle scienze umane, nelle discipline sociali e antropologiche, si vede crescere ancora l'importanza del concetto di sistema fino all'individualità di ogni singolo sistema vivente umano, la singola persona.

Qui si è cercato di far vedere che il concetto di sistema, pur nella differenza d'importanza, svolge un ruolo sia nelle scienze naturali dell'inanimato, sia in quelle dell'animato, oltre che in quelle umane. Esso può essere, quindi, un concetto unificante e la Teoria dei Sistemi, con tutti i suoi limiti, ne rappresenta una controprova. Un ruolo centrale per il concetto di sistema è svolto dalla chimica che, come detto, è la prima vera scienza sistemica.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Villani, G., *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, Franco Angeli, Milano 2008.
- [2] Villani, G., “La chimica: una scienza della complessità sistemica *ante litteram*” in *Strutture di mondo. Il pensiero sistemico come specchio di una realtà complessa*, a cura di L. Urbani Ulivi, Il Mulino, Bologna 2010.
- [3] Villani, G., *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, CUEN, Napoli 2001.

# *Area Matematico-Informatica*



## MATEMATICA E COINCIDENZE<sup>1</sup>

GIUSEPPE ANICHINI

*Dipartimento di Matematica e Informatica “U.Dini”, Università di Firenze*

Ci chiediamo, con una certa frequenza, quando e come è possibile dire che due eventi (che potrebbero essere due terremoti, due esami con 30 e lode, un terremoto ed un 30 e lode!) sono “coincidenze” oppure si possa ritenere che essi abbiano una qualche “parentela”?

**Pisa** L'uomo era insieme ad un amico, ora in ospedale sotto choc  
**Cacciatore muore fulminato**  
*La saetta ha colpito il puntale del suo ombrello*

*Nel dizionario la parola coincidenza è definita come: il casuale accadere di due fatti nello stesso tempo o in circostanze analoghe.*

Ma è una “coincidenza” un fatto casuale? (Lo stesso dizionario per altro chiama coincidenza *corrispondenza d'orario tra l'arrivo in una località di un mezzo di trasporto pubblico e la partenza di un altro in diversa direzione!*).

Noi ogni giorno ridiamo, scherziamo o beviamo un cappuccino nello stesso bar, siamo accarezzati dallo stesso vento o bagnati dalla stessa pioggia nella stessa città, ma nessuno parlerebbe di ciò come di una coincidenza. E' dunque solo quando noi stessi attribuiamo agli eventi una certa “rarietà” che usiamo questa locuzione.

Fin dall'antichità, i fenomeni naturali insoliti hanno spazzato chi li osservava.

Soprattutto quelli atmosferici: gli antichi Greci, per esempio, consideravano il cielo perfetto e incorruttibile; le comete, che comparivano in modo non prevedibile, erano per questo temute in quanto apportatrici di disgrazie. Altre volte è una questione di pura incredulità: nel 2004, a Knighton, in Gran Bretagna, scrissero che piovevano pesci... era una “bufala”? Gli scienziati furono in grado di spiegare che fenomeni come questo sono causati da trombe d'aria che risucchiano i pesci e li trasportano lontano... dove poi cadono.

Le coincidenze sono sempre state piene di misteri: i Greci (Iliade, Odissea, ...) erano pronti a “giustificare” una coincidenza, ovvero un fatto raro, come un capriccio degli dei.

*Il vento aveva travolto la nave perché Poseidone aveva avuto una lite con una ninfa oppure un fulmine aveva colpito una casa perché Giove non aveva gradito il pensiero di ....*

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 15 novembre 2012 presso l'IIS “E. Fermi”, Empoli (FI)

Un errore in cui incorre spesso il senso comune è quello di equiparare eventi rari, cioè eventi a cui è associata una probabilità *piccola* di verificarsi, ad eventi (quasi) impossibili, ovvero “coincidenze”. Il fatto che una persona vinca ad una lotteria è veramente un evento raro? Lo può essere se pensiamo al nostro amico Carlo (che, sappiamo, ha acquistato il biglietto), ma sicuramente non impossibile (visto che qualcuno, forse Carlo, poi “vince”).

E qui entra in ballo il fattore *numerico*, ovvero quali numeri sono in gioco (e il loro ordine di grandezza). Nel caso di un “campione” veramente grande, i probabilisti ci dicono che può accadere qualsiasi cosa, per quanto strana ci possa sembrare: se una cosa accade ogni giorno a una persona su un milione e la popolazione italiana è di 60 milioni di persone, dobbiamo attenderci 60 coincidenze sorprendenti ogni giorno (ed una parte di queste coincidenze saranno riferite poi dalla stampa, saranno sottolineate su internet, ecc.).



*Se un giorno qualcuno ha sognato un evento che si verifica una volta su mille la probabilità che NON si verifichi quel giorno è 999/1000. La probabilità che non si verifichi neppure il giorno successivo è  $(999/1000)^2$ ; la probabilità dunque che non si verifichi in un anno è  $(999/1000)^{365}$  ovvero 0,69 (circa). La probabilità che NON si verifichi in 3 anni è 0,33 e questo vuol dire che si può verificare due volte su tre!*

Ad esempio, gli studi clinici solitamente sono effettuati su un numero limitato di soggetti e pertanto non possono evidenziare eventi rari, che invece possono essere evidenziati e valutati soltanto quando il vaccino è utilizzato in maniera massiva. Ci si è anche abituati all’idea che “eventi rari prima o poi si verificano” (ed i giornalisti, molto erroneamente, chiamano questo fatto come Legge dei Grandi Numeri).

Oggi non possiamo più trarre conclusioni, nè divine nè irrazionali. Il matematico americano Persi Diaconis ([2]), circa un decennio fa cominciò a chiedere a colleghi, amici e amici di amici, di segnalargli esempi di coincidenze a loro parere sorprendenti. Diaconis trovò che quasi tutte le – migliaia e migliaia di coincidenze indicate – potevano essere spiegate nei termini di alcune regole semplici.



*Alcune coincidenze avevano cause nascoste, tali da non essere considerate alla stregua di vere coincidenze, altre venivano considerate tali grazie a fattori psicologici che rendono insolitamente sensibili a certi eventi accidentali ignorandone contestualmente altri. La maggior parte delle coincidenze, però, sono semplicemente eventi casuali che risultano essere molto più probabili di quanto non si immagini.*

Un esempio del genere riguarda la data di nascita che tratteremo nel dettaglio fra qualche riga ([1]).

La stessa idea si applica in molte altre situazioni. Nel 1986, ad esempio, una donna del New Jersey vinse alla lotteria due premi di un milione di dollari ciascuno in quattro mesi. Ovviamente tutti pensano che essa abbia avuto una fortuna incredibile; eppure la probabilità che una cosa del genere possa accadere a qualcuno da qualche parte negli Stati Uniti è solo di 1 a 30. Poiché ogni giorno un numero grandissimo di persone compra biglietti della lotteria, qualcuno fra i molti milioni di giocatori ha qualche possibilità di vincere due volte.

Due persone che si incontrano a una festa possono scoprire di avere lo stesso nome, di provenire dalla stessa città, di avere un amico in comune o di abitare allo stesso numero civico. E' ovvio che le cose che due persone possono avere in comune sono talmente tante che si potrebbero trovare moltissime "coincidenze".

Analisi del genere sono cruciali non solo per comprendere il significato di coincidenze nella vita quotidiana, ma anche per scoprire connessioni o cause nascoste. Quando i ricercatori di medicina trovano nei loro dati strane concentrazioni di certe malattie, difetti congeniti o tumori, devono decidere se questi eventi rappresentano una manifestazione casuale e sfortunata o se possano rivelare una causa sottostante. E' accertato che moltissime coincidenze derivano da cause nascoste che non vengono mai scoperte.

**Esempio 1:** *Quanto pensereste che dovrebbe essere il numero ( $N$ ) di persone presenti in una stanza perché almeno DUE di esse celebrino lo stesso compleanno? In altre parole potremmo dire: con quante persone presenti nella stanza scommetteresti "alla pari" (ovvero come su Testa o Croce lanciando una moneta perfetta) che almeno DUE di esse celebrano lo stesso compleanno?*

Ragioniamo in questo modo: siamo in una stanza con 22 persone e ciò significa che vi sono 22 possibilità che una di loro sia nata lo stesso mio giorno e mese. E ciò vale per ciascuna persona nella stanza. Le possibilità salgono a 253 coppie: la prima persona ha 22 possibilità di avere lo stesso compleanno con un'altra, la seconda persona 21

possibilità, la terza 20 e così via. Quindi in totale si hanno  $22 + 21 + 20 + \dots + 1 = 253$ . Lo stesso numero si ottiene calcolando  $23 \times 22 / 2 = 253$ . (Si divide per due per evitare di contare la stessa coppia due volte).

Ci si chiede: qual è la probabilità di avere un compleanno *diverso* da un'altra persona? Lasciando perdere gli anni bisestili (e supponendo i giorni dell'anno ugualmente probabili) la probabilità richiesta è  $364/365$ , ovvero circa il 99,7%. E questo sembra molto ragionevole.

Allora la probabilità che nessuna delle 253 coppie abbia lo stesso compleanno si otterrà moltiplicando  $364/365$  per se stesso 253 volte e ciò ci dà  $(364/365)^{253} \approx 0,4995$ . Pertanto la probabilità che *almeno DUE* di esse celebrino lo stesso compleanno è data da  $1 - 0,4995 = 0,5005$  ed abbiamo superato il .... 50%!

Riassumiamo i dati trovati nella seguente Tabella:

| N          | P                                     |
|------------|---------------------------------------|
| 10         | 12%                                   |
| 20         | 41%                                   |
| 23         | 49,3%                                 |
| 24         | 50,7%                                 |
| 50         | 97%                                   |
| 100        | 99,99996%                             |
| 200        | $1 - 7 \times 10^{-73} \times 100\%$  |
| 300        | $1 - 3 \times 10^{-131} \times 100\%$ |
| $\geq 366$ | 100%                                  |



La Tabella ci dice che in 100 pullman di 50 persone, in 97 di essi almeno due persone celebrano lo stesso compleanno. E' ciò anti-intuitivo?

Nel problema dei compleanni nessuna delle due persone (che avranno lo stesso compleanno) è scelta a priori: ma se, durante la vostra festa di compleanno vi chiedete *Quante persone invitare affinché ci sia probabilità del 50% di averne una nata nel vostro stesso giorno?* Allora le cose cambiano.

Indichiamo con  $q(n)$  la probabilità richiesta, ovvero che un'altra persona invitata ha il vostro stesso compleanno. Abbiamo:

$$q(n) = 1 - \left( \frac{365-1}{365} \right)^n$$

Sostituendo  $n = 23$ , otteniamo (circa) 6,1%, ovvero un caso su 16. Perché tale probabilità superi il 50% ci vorranno almeno 253 coppie. (Notiamo che tale numero è molto più alto di  $365/2 = 182,5$ : questo si spiega facilmente col fatto che fra i presenti nella stanza vi potranno essere una o più coppie con lo stesso compleanno). E non è una coincidenza che  $253 = \frac{23 \times (23-1)}{2}$  sia il numero delle coppie di cui abbiamo detto poco sopra. E' importante notare che si contano le coppie e NON gli individui!

La Tabella che segue mette in relazione il numero delle persone ed il corrispondente numero di (possibili) coppie, cioè il numero di combinazioni a due a due. Da essa possiamo capire direttamente che i numeri di tali combinazioni crescono molto molto rapidamente.

| <i>Persone</i> | <i>Combinazioni</i> |
|----------------|---------------------|
| 2              | 1                   |
| 3              | 3                   |
| ...            | ...                 |
| 5              | 10                  |
| ...            | ...                 |
| 15             | 105                 |
| ...            | ...                 |
| 20             | 210                 |
| ...            | ...                 |
| 23             | 253                 |
| ...            | ...                 |
| 40             | 780                 |



(Doppia) verifica sperimentale: abbiamo preso una giornata del campionato del 2005 ma lo stesso risultato lo abbiamo ottenuto nel febbraio scorso per 5 partite su 10 (ed in Cesena-Napoli vi era il compleanno fra uno dei giocatori e l'arbitro, che potremo pensare come il 23-simo !!).

Nella partita (del 15 maggio) Fiorentina- Atalanta (22 giocatori): Bernardini (Atalanta) e Lupatelli (Fiorentina) sono nati il 21 giugno. (Cejas non giocava, altrimenti ne avremmo avute due di coppie di compleanni!). Se poi prendiamo la rosa dei giocatori della Fiorentina del 2005 (23 giocatori): Cejas e Donadel sono nati il 21 aprile.

Nota: Ricordiamo sempre che i compleanni non sono uniformemente distribuiti: non tutti giorni sono "equiprobabili" (vi sono gli anni bisestili, a novembre nascono un po' meno figli che in altro mese, ci possono essere parti gemellari, ecc.; in Svezia, ad es., il 9,3% della popolazione è nata in Marzo ed il 7,3% in Novembre (e le statistiche svedesi danno un bel 8,3%!)).

Quello del compleanno NON è pertanto un vero e proprio paradosso (nel senso inteso dai logici) ma è così chiamato perché la "verità" matematica contraddice quella che è usualmente la risposta istintiva. L'istinto ci dice una cosa ma i "conti" ce ne dicono un'altra.



Elenchiamo adesso sinteticamente alcuni esempi in cui l'intuizione ed i conti possono andare non sempre nella stessa direzione.

**Esempio:** Una segretaria distratta, nella redazione di un settimanale, fa cadere da una scrivania tutta la corrispondenza dei lettori con il Direttore del settimanale: una decina di lettere con le rispettive buste. Lettere e buste si distribuiscono sul pavimento in ordine sparso. La segretaria, nel maldestro tentativo di rimediare al proprio errore, rimette le lettere dentro le buste, in modo del tutto casuale. Qual è la probabilità che almeno una lettera sia al posto giusto?

La risposta, cioè la probabilità che almeno una lettera sia al posto giusto viene calcolata come

$$P = 1 - \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} - \dots = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3 \times 2} - \dots$$

E qui sembra una coincidenza il fatto che, al variare del Numero  $N$  delle buste, la probabilità richiesta rimanga sostanzialmente la stessa (nel senso che già per  $N = 6$  si ha una risposta corretta fino alla quarta cifra decimale!).

**Altri Esempi:** Per avere altri elementi di valutazione e poter decidere circa la "rarità" di un evento, abbiamo calcolato la probabilità, quasi sempre con considerazioni combinatorie, di altri eventi che ogni lettore può giudicare più o meno "rari":

- la probabilità che, facendo un numero a caso allo sportello Bancomat, si riesca a ricevere i soldi è  $1:90000 \sim 0,00001$ .
- la probabilità di fare Poker (cioè ricevere dal mazziere 4 carte uguali, giocando a Poker, senza cambiare carte, con un mazzo di 52 carte) è  $0,000240$ .
- la probabilità di avere Rosso, giocando alla roulette, per 14 volte consecutive, è  $0,000061$ .

- la probabilità che il Lecce potesse vincere lo scudetto del campionato di calcio del 2000 - 2001, secondo le quote date dalle agenzie ufficiali nel settembre 2000, è 0,0099.
- la probabilità che tre piloti di formula 1 facciano, nelle prove, lo stesso tempo al centesimo di secondo è 0,000000002.

Il lettore più attento avrà riconosciuto uno degli eventi precedenti effettivamente verificatosi (26 ottobre 1997): i giornali scrissero *So amazingly the amazing thing happened!*

Ci si può chiedere: a cosa serve calcolare le probabilità di eventi “rari”?

Le compagnie di assicurazioni hanno bisogno di determinare dei costi anche in presenza di “catastrofi”. Dunque devono calcolare anche la probabilità di eventi rari. Chi si occupa di tali conti? Ovviamente i Matematici con una buona preparazione in Statistica ed in Calcolo delle Probabilità. E lo stesso accade per: *compagnie finanziarie* (per analisi di mercato); *compagnie informatiche* (per analizzare comportamenti di software); *compagnie di telecomunicazioni* (per strategie ed analisi di comunicazione ottimale); *uffici legali* (esperti sulla aleatorietà, ad es. DNA, impronte digitali); *industrie aerospaziali* (per i calcoli del rischio). E l’elenco potrebbe continuare ...

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Anichini, Giuseppe: *Qual è la probabilità di avere lo stesso compleanno?* Archimede 40 (1988), no. 1, 19 – 29;
- [2] Mosteller, Frederick – Diaconis, Persi: *Methods for studying coincidences*, J. Amer. Statist. Assoc. 84 (1989), no. 408, 853 –861.

# LA MATEMATICA DELLE SCALE MUSICALI<sup>1</sup>

FABIO BELLISSIMA

*Università degli Studi di Siena*

## 1. Introduzione

La divisione della matematica in aritmetica, musica, geometria e astronomia risale alla Scuola pitagorica. Per i Pitagorici, l'aritmetica era "la scienza che considera il numero per se stesso, la musica lo considera rispetto ad un altro numero; la geometria considera l'estensione come immobile, l'astronomia la considera mobile su se stessa." Questa suddivisione, in cui la musica è caratterizzata come la scienza dei rapporti tra numero e numero (vedremo il perché), è confluita nel *quadrivio* medioevale, e con esso si è conclusa; ma il legame tra la matematica e la musica è continuato per tutta l'età moderna, seppure su basi diverse. Ecco alcuni matematici che hanno trattato matematicamente di musica, con l'indicazione, quando esiste, della loro principale opera dedicata all'argomento: Pitagora (VI sec. a.C.), Archita (V-IV sec. a.C.), Euclide (*La sezione del canone*, IV-III sec. a.C.), Tolomeo (*I tre libri armonici*, II sec. d.C.), Cardano (*De Proportionibus numerorum, motuum, ponderum, sonorum*, 1570), Keplero (*Harmonices Mundi Libri V*, 1609), Galileo, Cartesio (*Compendium musicae*, 1618), Fermat, Leibniz, Mersenne (*Harmonie universelle*, 1636), Huygens (*Novus Cyclus Harmonicus*, 1724), D'Alambert, Eulero (*Tentamen Novae Theoriae Musicae*, 1739).

## 2. La creazione di una scala musicale

Tutti questi autori si sono concentrati principalmente su un problema: il posizionamento delle note della scala musicale. Definire questo problema può risultare arduo, e non perché esso richieda concetti elaborati, ma perché, al contrario, non è riconosciuto come tale. Infatti la sequenza sonora *do-re-mi-fa-sol-la-si-do* è ormai talmente radicata nel nostro modo di concepire la musica, che la trattiamo come un *a priori*. Invece, essa è il frutto di un lungo sforzo congiunto di musicisti e matematici. La creazione di una scala rappresenta una tappa fondamentale nello sviluppo culturale di un popolo: quella in cui la musica, superato lo stadio primitivo, si avvia a diventare un sistema strutturato. Questa fase è tutt'altro che iniziale. Per poter concepire l'idea di scala, intesa come serbatoio di suoni singoli, è necessario disporre di un repertorio musicale ricco e consolidato (senza il quale difficilmente può scattare l'estrapolazione del singolo suono dal contesto in cui si trova) e di una pluralità di ambiti sociali e culturali soggetti a regole (senza i quali altrettanto difficilmente può essere avvertita l'esigenza di sottoporre a

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 23 febbraio 2013 presso il Liceo "G. Pascoli", Firenze.

regole i suoni). E' evidente che una cultura può giungere a soddisfare queste due condizioni solo dopo un lungo processo evolutivo.

Il concetto che presiede alla formazione delle scale (il plurale è d'obbligo, in quanto i tentativi fatti sono stati molti e vari, sia nel numero che nella posizione delle note) è quello di *consonanza*. Stando al dizionario, "un intervallo tra due note si dice consonante se, suonando le due note simultaneamente, si ottiene un effetto di gradevolezza e di quiete; si dice invece dissonante se il suono produce un senso di instabilità e di tensione." Visti i termini impiegati (gradevolezza, quiete, tensione) sembra che il concetto sia vago e soggettivo. Invece non è così, almeno per le consonanze fondamentali. In qualunque parte del mondo, quando un uomo e un bambino cantano insieme la stessa aria, non emettono le stesse note, cioè suoni alla stessa altezza, ma note diverse, che però formano costantemente tra loro un intervallo detto di *ottava*. La somiglianza - meglio sarebbe dire l'equivalenza - tra due suoni formanti questo intervallo è così forte che i Greci lo chiamarono *diapason*, 'attraverso tutto', a significare che esso contiene, a meno d'equivalenza, tutti i suoni. Noi, invece, pur nominandolo alla stregua degli altri intervalli (*ottava* come *quinta*, *terza*, *decima*...), abbiamo sancito l'equivalenza che esso induce tra i suoni in modo ancora più forte, attribuendo a suoni distanti un'ottava lo stesso nome: *do, re, mi, fa, sol, la, si*, e poi di nuovo - ma un'ottava sopra - *do, re, mi, fa, sol, la, si* (ricorrendo a indici o apici solo quando è necessario distinguere tra suoni omonimi ma diversi in altezza). Questa equivalenza rende possibile una più precisa definizione di *scala*. Il principale significato musicale del termine è infatti proprio questo: selezione di suoni all'interno di un'ottava.

Se l'ottava è servita a stabilire l'ampiezza di una scala (ad esempio *do-do*), per le note interne ci si è affidati alle altre consonanze, prime fra tutte la *quinta* (ad esempio *do-sol*) e la *quarta* (ad esempio *do-fa*). Il criterio costruttivo delle scale è stato infatti quello di individuare, all'interno di un'ottava, un numero ragionevole di suoni in grado di produrre il maggior numero di combinazioni consonanti possibili. E' necessaria una precisazione: i nomi che noi diamo alle consonanze (ottava, quinta, quarta, ...) sono legati al numero di note che tali intervalli coinvolgono nella scala *do, re, mi, fa, sol, la, si, do*. Ciò sembrerebbe indicare che la scala abbia preceduto le consonanze, in palese contraddizione con quanto stiamo affermando. In realtà, i nomi più antichi delle consonanze non avevano alcun riferimento numerico (ottava, quinta e quarta erano, per i primi Pitagorici, *harmonia*, *diossia* e *sillaba*); solo in seguito, a scala ottenuta, sono cambiati.

### 3. La scoperta di Pitagora

Quando, nella Grecia del VI secolo a.C., avvenne l'incontro tra la matematica e la musica, la posizione relativa di alcune note si era ormai stabilizzata secondo lo schema di Figura 1A (i nomi, naturalmente, sono moderni); le altre note, una o due all'interno di ciascuna delle due quarte, non avevano ancora una posizione definitiva. Su questo impianto sonoro, fondato sulle consonanze di ottava, quinta e quarta, si è inserita la "Scoperta di Pitagora".

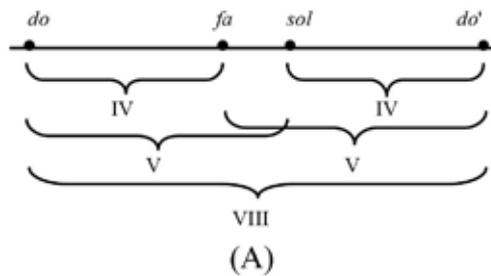


Figura 1a

Supponiamo che una corda libera produca un certo suono, diciamo *do*. Per ottenere un suono più acuto di un'ottava (cioè per ottenere *do'*) dobbiamo interrompere la corda esattamente ad  $1/2$  della sua lunghezza; per ottenere un suono più acuto di una quinta (*sol*) dobbiamo interromperla ai  $2/3$ ; per ottenerlo più acuto di una quarta (*fa*) dobbiamo interromperla ai  $3/4$ . Per esprimerci alla maniera dei Greci - che parlavano di rapporti e non di frazioni ed anteponevano il numero più grande a quello più piccolo - si scoprì che ad ottava, quinta e quarta corrispondevano rispettivamente i rapporti 2:1, 3:2 e 4:3.

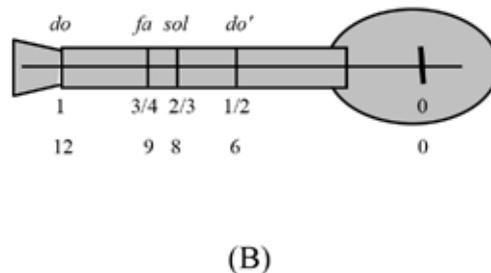


Figura 1b

A destare scalpore non fu la scoperta che le consonanze erano rappresentabili da rapporti numerici. Fu il fatto che fossero esprimibili da *quei* rapporti numerici: i primi quattro numeri naturali, da cui si ottengono, in ordine decrescente di grandezza, i primi tre rapporti del tipo  $(n+1)/n$ , i quali producono, in ordine decrescente di importanza, le tre consonanze fondamentali. Ciò spinse i Pitagorici a credere che tutto fosse rappresentabile in termini numerici, e che lo fosse in modo semplice e ordinato. Anzi, secondo la testimonianza di Aristotele (*Metafisica*, Z2, 1028), li condusse - con un salto per noi difficilmente comprensibile - alla convinzione che tutto fosse numero: "I Pitagorici, per il fatto che vedevano molte proprietà dei numeri presenti nei corpi sensibili, supposero che le cose reali fossero numeri. E perché? Perché le proprietà dei numeri si trovano nella musica, nel cielo e in molte altre cose". In effetti, l'influenza che questa scoperta armonica ebbe sulla filosofia pitagorica, e in seguito su quella platonica, fu enorme e durò per secoli. Nell'affresco della *Scuola di Atene* di Raffaello, in basso a sinistra, un giovane biondo regge una lavagnetta scrutata da un vecchio che scrive su

un libro. Il vecchio è Pitagora, e sulla lavagnetta vi è uno schema concettualmente identico alla nostra Figura 1A (le parole *diatessaron*, *diapente* e *diapason* stanno per quarta, quinta e ottava). Ancora nel '500, quindi, il carattere distintivo della Scuola pitagorica era il rapporto tra numeri e suoni. Un'osservazione: dove in Figura 1A compaiono i nomi delle note, sulla lavagnetta compaiono i numeri 12, 9, 8, 6. Poiché i Greci non disponevano del linguaggio delle frazioni, per esprimere una pluralità di rapporti indicavano la sequenza dei minimi numeri naturali che li producevano simultaneamente. Per i rapporti tra le note in questione i numeri sono proprio 12, 9, 8, 6, dal momento che  $12:6 = 2:1$  (ottava),  $12:8 = 9:6 = 3:2$  (quinte) e  $12:9 = 8:6 = 4:3$  (quarte).

#### 4. La scala pitagorica

Torniamo alle scale. La prima ad essere definita in termini rigorosi è stata la *scala pitagorica* ottenibile direttamente dallo schema di Figura 1A. Preso l'intervallo di *tono*, definito come differenza tra una quinta ed una quarta (primo esempio di intervallo non consonante ottenuto tramite intervalli consonanti), si divide in intervalli di tale ampiezza ciascuna delle due quarte. Questa divisione lascia un resto: infatti una quarta contiene due toni più una parte residua, il *semitono pitagorico*. Possiamo, senza con ciò essere fuorvianti, indicare le note della scala così ottenuta con i nomi *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*'. Infatti il suono della scala pitagorica differisce davvero poco da quello della scala dei tasti bianchi dei nostri pianoforti (semmai potrebbe sembrare il suono di un pianoforte qua e là un po' scordato).

Nel determinare - partendo da quelli delle consonanze fondamentali - i valori numerici corrispondenti agli intervalli di tono e semitono, i Pitagorici si trovarono di fronte ad una difficoltà. Il tono è stato definito come *differenza* tra una quinta e una quarta, ma il rapporto corrispondente al tono non è  $(3/2) - (4/3)$ , bensì  $(3/2)/(4/3)$ , cioè  $9/8$  (nella quaterna 12, 9, 8, 6 è l'intervallo tra 9 ed 8). Questo sfasamento tra operazione intuitiva e operazione reale non si limita a questo singolo caso, ma è generalizzato. Ad esempio, un'ottava è percepita come la somma di una quinta e una quarta (v. ancora Figura 1), ma  $2/1$  non è la somma bensì il prodotto tra  $3/2$  e  $4/3$ . Abbiamo dunque quozienti percepiti come differenze e prodotti percepiti come somme. Per chi la conosce, la parola che a questo punto viene in mente è *logaritmo*. In effetti, solo con l'introduzione dei logaritmi i teorici musicali poterono operare sugli intervalli senza timore di sbagliare. I Greci e i Medioevali, che non li conoscevano, dovettero invece procedere con cautela. Poiché al tono corrisponde il valore  $9/8$ , al semitono, che è una quarta meno due toni, non corrisponde il valore  $(4/3) - ((9/8) + 9/8)$ , bensì  $(4/3)/((9/8) \cdot (9/8))$ , cioè  $256/243$ . I valori della scala pitagorica sono dunque quelli di Figura 2, dove sono anche indicati, alla maniera dei Greci, i minimi numeri naturali in grado di produrli simultaneamente. (E a questo punto capiamo perché i Pitagorici identificarono la musica con la teoria dei rapporti tra numeri naturali: in nessun altro contesto capitava, allora, di comporre assieme così tanti rapporti numerici!).

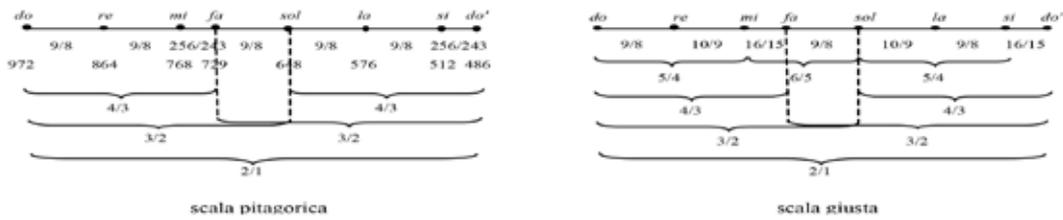


Figura 2

## 5. La scala giusta

La scala pitagorica ebbe un importante ruolo metafisico: secondo Platone (*Timeo*, 36A-B) i rapporti di questa scala erano quelli con cui il Demiurgo aveva costruito l'universo ("armonia delle sfere"). Ma ebbe anche un plurisecolare impiego propriamente musicale, che entrò in crisi solo quando la polifonia medioevale incominciò ad usare frequentemente intervalli di terza maggiore (ad esempio *do-mi*). Il rapporto 'giusto' per tale intervallo è  $5/4$  (ormai è chiaro: le consonanze prediligono i rapporti tra numeri piccoli, fatto che troverà giustificazione nella moderna Teoria degli armonici). Invece, l'intervallo *do-mi* della scala pitagorica è  $(9/8) \cdot (9/8) = 81/64$ , crescente di  $81/80$  rispetto a  $5/4$ , cioè  $80/64$ . La scelta che alla fine prevalse fu quella di restringere un poco l'intervallo *re-mi*, in modo che la somma dei toni *do-re* ( $9/8$ ) e *re-mi* (nuovo) producesse una terza *do-mi* giusta. A *re-mi* toccò pertanto il rapporto  $(5/4)/(9/8) = 10/9$ . Stessa sorte toccò all'intervallo *la-si*. Gli intervalli di semitono passarono così da  $256/243$  a  $16/15$  ( $= (4/3)/(5/4) = (256/243) \cdot (81/80)$ ). Questo processo portò dalla scala pitagorica alla *scala giusta*, conosciuta anche come *scala naturale* o *scala di Zarlino*, in onore al teorico fiorentino che, nel '500, la presentò in modo organico (v. Figura 2). Il suono di questa nuova scala non è ancora quello dei tasti bianchi del nostro pianoforte, ma questa volta, se suonassimo un pianoforte accordato su di essa, non percepiremmo qua e là delle stonature, come nel caso pitagorico, ma, al contrario, ascolteremmo un suono più limpido di quello a cui siamo abituati. Perché allora i nostri pianoforti non sono accordati così?

## 6. La scala temperata

Il problema è nel cambio di tonalità. Se, partendo da *re*, suoniamo la sequenza *re-mi-fa-sol-la-si-do'-re'*, non otteniamo la melodia *do-re-mi-fa-sol-la-si-do'* un tono più alta, bensì una melodia diversa. Questo accade con la scala giusta, ma anche con la scala pitagorica e con la scala dei tasti bianchi dei nostri pianoforti, dal momento che tutte queste scale presentano una successione di intervalli che non è invariante per traslazioni. In ogni caso quindi, se si vuole ottenere, partendo dal *re*, la "stessa" melodia - un po' più alta - che si ottiene partendo dal *do'* bisogna aggiungere alcune note nuove (chi ha studiato

musica sa che, sui nostri pianoforti, al posto dei tasti bianchi *fa* e *do* bisogna impiegare i tasti neri *fa#* e *do#*). Il fatto è che, con la scala giusta, le note da aggiungere sono troppe, e ogni aggiunta ne comporta altre, all'infinito. Ciò non rappresenta un problema per il canto, e neppure per gli strumenti privi di tasti come il violino: di volta in volta il cantante o il violinista trovano, nel *continuum* sonoro a loro disposizione, i suoni che servono. E' invece un problema grave per gli strumenti a tasti, come liuti, chitarre, organi e pianoforti. La soluzione che prevalse fu la più drastica. Si sacrificò la purezza di tutte le consonanze tranne l'ottava allo scopo di ottenere, con la sola aggiunta di cinque note per ottava (i tasti neri), la "stessa" successione di intervalli partendo da qualunque nota. Si divise infatti l'ottava in dodici intervalli uguali, assegnandone uno ai semitoni e due ai toni: in tal modo ciascun tono è l'esatto doppio di ciascun semitono. La scala così ottenuta venne chiamata *scala temperata*. In essa l'intervallo di quinta, anziché  $3/2$  (= 1.5), è 1.49... ; l'intervallo di quarta, anziché  $4/3$  (= 1.(3)), è 1.335...; l'intervallo di terza maggiore, anziché  $5/4$  (= 1.25), è 1.22...(dunque sensibilmente calante). A ritardare l'affermazione della scala temperata non furono soltanto le resistenze di molti musicisti, restii ad accettare queste piccole stonature. Furono anche difficoltà di tipo matematico. Tutti gli intervalli della scala temperata, esclusa l'ottava, sono espressi da numeri irrazionali. Dai Pitagorici in poi questo tipo di grandezze, non gestibili come rapporti tra numeri interi, fu guardato con grande sospetto. Da un punto di vista pratico, inoltre, il calcolo del valore del semitono temperato - che, essendo la dodicesima parte dell'ottava, è, per lo sfasamento logaritmico, la radice dodicesima di 2 - costò notevoli sforzi (una buona stima la diedero Stevino e Mersenne, nella prima metà del '600). Ma, alla fine, la scala temperata prevalse sulle altre, e la sua vittoria è stata così totale che, nel nostro sapere comune, non vi è più traccia né delle sue concorrenti né delle fatiche che la sua creazione ha comportato. E' insomma diventata, come dicevamo all'inizio, un *a priori*.

## PROBABILITÀ E AZZARDO, AZZARDO E DIPENDENZA<sup>1</sup>

STEFANO CAMPI

*Università di Siena*

MARIO ANTONIO REDA

*Università di Siena*

La nascita del calcolo delle probabilità come disciplina scientifico-matematica può essere fatta risalire al XVI secolo, con i contributi di Tartaglia e soprattutto di Cardano, autore del *Liber de ludo aleae*. Il titolo di questo testo, il primo in ordine di tempo dedicato alla probabilità, mette subito in luce quale sia l'istanza da cui nasce e si sviluppa il calcolo delle probabilità: trattare in modo rigoroso le leggi del caso che governano il gioco d'azzardo, un'attività a cui l'uomo si è dedicato in varie forme fin dall'antichità. La scommessa, sia con sé stessi che con gli altri, fa parte della storia dell'uomo. Gli antichi Romani consideravano la Fortuna una divinità che presiedeva gli eventi della vita e dispensava alla cieca il bene e il male: era infatti rappresentata bendata e con i piedi alati, poggiata su una ruota, chiaro simbolo della sua instabilità. Il termine "azzardo", del resto, deriva dall'arabo antico in cui *az-zhar* significa dado.

Proprio un giocatore accanito favorì la formazione, nel Seicento, delle basi teoriche del calcolo delle probabilità: il Cavalier de Méré, siccome i risultati da lui ottenuti al gioco non corrispondevano alle previsioni che aveva fatto, sottopose il problema "della ripartizione della posta" a Pascal, che cominciò così ad occuparsi di questioni probabilistiche. Ne nacque una corrispondenza tra Pascal e Fermat, in cui vennero di fatto poste le basi della probabilità. Il primo trattato di calcolo delle probabilità può essere considerato il *De ratiocinis in ludo aleae* (1657), di Christiaan Huygens.

Tra la fine del Seicento e l'inizio del Settecento la teoria si consolida attraverso i contributi di eminenti matematici, quali Jakob Bernoulli, cui si deve la *Legge dei grandi numeri* e Abraham de Moivre, autore di una prima versione del *Teorema centrale del limite*. Con la *Théorie analytique des probabilités* (1812), di Pierre Simon Laplace, il calcolo delle probabilità assurge definitivamente al rango di disciplina matematica ormai consolidata, con pari dignità di altre.

Vale la pena sottolineare che in questa sua evoluzione teorica la probabilità resta comunque inevitabilmente permeata dall'idea da cui ha avuto origine, quella di "scommessa". È interessante notare, ad esempio, che nella sua famosa *Histoire naturelle* Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon (1707-1788), pone le basi di un moderno

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 6 dicembre 2012 presso l'ISIS "Sismondi-Pacinotti", Pescia (PT).

metodo del calcolo delle probabilità, il metodo Monte Carlo, studiando un gioco molto praticato a corte, *le jeu du franc-carreau*. Una versione semplificata del gioco conduce al cosiddetto esperimento dell'ago di Buffon: si getta un ago di una certa lunghezza su un piano su cui sono disegnate rette parallele equidistanti e si misura la frequenza con cui l'ago interseca una delle rette. Dopo un elevato numero di esperimenti la frequenza si attesta su un valore che, sulla base di considerazioni teoriche geometrico-probabilistiche, consente di ricavare una apprezzabile approssimazione di  $\pi$ .

Venendo ai giorni nostri, oggi il calcolo delle probabilità viene utilizzato, esplicitamente o implicitamente, in moltissimi ambiti, oltre, ovviamente, a quello matematico. Interviene, ad esempio, nelle scienze sperimentali, tutte le volte che si fa riferimento a misure; oppure, nella costruzione e lo sviluppo di modelli o di teorie, come quelli quantistici. Lo si usa in modo massiccio in ambito economico, finanziario e assicurativo; ma è presente anche in sede di diagnostica medica, di valutazione giudiziaria, di previsioni geo-meteorologiche, e via dicendo.

Ma come si definisce la probabilità che si verifichi qualcosa, la *probabilità di un evento*?

Certo, si resta spiazzati nel leggere quanto diceva Bruno De Finetti, uno dei più grandi probabilisti del secolo scorso: "La probabilità: chi è costei? Prima di rispondere a tale domanda è certamente opportuno chiedersi: ma davvero "esiste" la probabilità? E che cosa mai sarebbe? Io risponderei di no, che non esiste. ... Potrei dire, viceversa e senza contraddizione, che la probabilità regna ovunque, che è, o almeno dovrebbe essere, la nostra "guida nel pensare e nell'agire" e che perciò mi interessa." (Bruno De Finetti, alla voce "Probabilità", Enciclopedia Einaudi, 1970).

In realtà, queste affermazioni apparentemente provocatorie di De Finetti nascondono una difficoltà intrinseca alla base del calcolo delle probabilità: quale definizione di *probabilità* adottare?

Si può ricorrere alla ricetta classica che definisce la probabilità di un evento come il rapporto tra il numero dei casi favorevoli alla realizzazione dell'evento e il numero dei casi possibili (purchè questi siano tutti equiprobabili). Trascurando possibili contraddizioni insite nella definizione, questa ricetta funziona quando lo scenario in cui ci si muove (*lo spazio degli eventi*) ha un numero finito di elementi.

Altrettanto efficace è la definizione *frequentista*, secondo la quale la probabilità di un evento è il limite della frequenza con cui si verifica l'evento per il numero delle prove che tende all'infinito.

La definizione frequentista poggia sul *postulato empirico del caso*: ripetendo un certo numero di volte la stessa prova, la frequenza di un evento si avvicina sempre più alla probabilità dell'evento stesso, al crescere del numero delle prove. Questa legge, un po' vaga, traduce in modo pratico un risultato teorico della probabilità che prende il nome di *legge dei grandi numeri*, di Jakob Bernoulli.

La definizione frequentista e gli aspetti ad essa collegati, primo fra tutti l'uso del concetto di limite, vengono spesso equivocati ed interpretati in modo completamente

erroneo. Purtroppo questi errori, talvolta alimentati da soggetti interessati e in mala fede, provocano danni enormi. Pensiamo all'uso distorto che si fa di questi concetti per affermare che, nel gioco del Lotto, un numero ritardatario ha più probabilità di uscita di un numero uscito la volta prima. "Prima o poi il numero in ritardo uscirà": già, prima o poi? I mezzi di informazione danno sempre molta enfasi al volume delle vincite conseguenti all'uscita di un numero in ritardo, ma, colpevolmente, non dicono mai quanti soldi sono stati bruciati nelle settimane prima e quante persone si sono rovinare con la storia del "prima o poi".

Una definizione di probabilità apparentemente in contrasto con i requisiti che la matematica impone è quella *soggettiva*: la probabilità di un evento è il grado di fiducia che una persona ha nel verificarsi dell'evento. Più precisamente, la probabilità di un evento è il prezzo che una persona ritiene equo pagare per ricevere 1 se l'evento si verifica (e 0 se non si verifica). Questa definizione, da attribuire a Bruno De Finetti, ha una forte valenza operativa e si basa proprio sul concetto che è all'origine del calcolo delle probabilità, ossia quello di "scommessa".

Esiste poi una definizione *assiomatica*, secondo cui la probabilità è una funzione che soddisfa un certo numero di proprietà (assiomi), corrispondenti ai contenuti espressi dalle altre definizioni, secondo certi requisiti formali. Su questi assiomi si fonda e si sviluppa la teoria della probabilità.

Qualunque sia la definizione che si decide di adottare, a questa ed al complesso di elementi che ne derivano occorre sempre far riferimento. E' un'osservazione scontata, ma serve a sottolineare che, di fronte a problemi in cui la probabilità offre una soluzione, occorre prudenza; a volte l'intuizione porta completamente fuori strada.

Due esempi valgono per tutti.

Il primo è il cosiddetto *problema dei compleanni*, proposto (e risolto) da Richard von Mises nel 1939. Preso un gruppo di  $n$  persone, si tratta di determinare la probabilità che almeno due di queste compiano gli anni nello stesso giorno. Il risultato è abbastanza sorprendente e sicuramente contrasta con quanto ci si può aspettare: bastano 23 persone affinché la probabilità sia maggiore del 50% e con 50 persone siamo già al 97% ! Oltre alla presenza di possibili errori concettuali, la spiegazione di questo apparente paradosso si può forse ricondurre al fatto che il problema percepito - e mentalmente risolto - è diverso da quello realmente posto.

Il secondo esempio è fornito dal cosiddetto *problema di Monty Hall*, così chiamato dallo pseudonimo del conduttore di uno spettacolo televisivo americano trasmesso a partire dal 1963.

Si trattava di un gioco a premi in cui la prova finale era quella "delle tre porte". Il concorrente viene posto di fronte a tre porte identiche, chiuse. Dietro a ciascuna porta c'è una capra oppure un'automobile; in tutto, due capre e un'automobile. Il concorrente sceglie una delle tre porte, che però non viene aperta; a questo punto il conduttore, che conosce la disposizione segreta, apre una delle due restanti porte, mostrando una capra. Tocca di nuovo al concorrente, che, di fronte alle due porte rimaste chiuse, può

decidere se mantenere la sua scelta iniziale oppure cambiare porta. *Qual è la migliore strategia per il concorrente?* Nel 1990 la domanda fu posta a Marilyn Vos Savant, redattrice della rubrica “Ask Marilyn” sulla popolare rivista americana Parade. Marilyn rispose che conveniva cambiare e ... ricevette migliaia di lettere di protesta (anche da parte di sedicenti addetti ai lavori), che la accusavano di avere clamorosamente sbagliato. “Le due strategie hanno uguale probabilità di successo”, sostenevano i detrattori di Marilyn. Invece non è così. Semplificando un po' i termini della questione, si può dire che, se si mantiene la scelta, la probabilità di vincere è  $1/3$  (vinco tutte le volte che ho scelto inizialmente l'auto), mentre, se si cambia, la probabilità è  $2/3$  (vinco tutte le volte che ho scelto inizialmente una capra).

Se ora, forti di una buona attrezzatura probabilistica, andiamo a considerare i giochi di azzardo legali, ci accorgiamo, anche soltanto sulla base delle definizioni, che le regole in atto sono a sfavore dello scommettitore e favoriscono invece il banco: lo scommettitore abituale, che tenta la fortuna costantemente nel tempo e per un numero elevato di volte, è destinato a soccombere.

A titolo di esempio, prendiamo il più antico dei giochi gestiti dallo Stato, il gioco del Lotto. Il solito de Finetti lo ha definito *la tassa sugli imbecilli*, ma già nel lontano 1838, nella *Apologia del Lotto*, la caustica penna di Giuseppe Giusti lo prendeva di mira. Limitiamoci alla scommessa *dell'estratto semplice* su una fissata ruota: se il numero scelto esce su quella ruota, indipendentemente dall'ordine di estrazione, si riceve circa 10 volte la posta, mentre è facile calcolare che, se la scommessa fosse “equa”, la quota corrispondente alla probabilità è 18 e non 10. Anche per l'ambo, il terno, e così via, il calcolo fa risaltare un forte squilibrio tra la probabilità di vincere e la quota che si incassa in caso di successo; squilibrio che, ovviamente, è tutto a vantaggio del banco. Se a questa condizione di svantaggio per lo scommettitore si aggiungono poi fattori devianti, come credere che i numeri in ritardo siano favoriti rispetto agli altri (che “i numeri non hanno memoria” andrebbe insegnato fin dalla scuola materna!), ecco che un fenomeno dall'aspetto pittoresco come il Lotto cambia aspetto. E andando a consultare il sito ufficiale dei Monopoli di Stato, alle pagine in cui sono riportati i dati sul volume di gioco degli Italiani (gioco legale), si scoprono cifre che hanno dell'incredibile: nel 2011 sono stati giocati circa 80 miliardi (sic!) di Euro, di cui meno del 10% proviene dal Lotto, mentre quasi il 50% è ascrivibile agli “apparecchi”, ossia alle macchinette.

Di fronte alle dimensioni di questo fenomeno, che purtroppo vede coinvolti un numero sempre più alto di giovani, non si può non restare allarmati. La matematica può servire a mettere in guardia sui rischi di perdita insiti in questo tipo di giochi d'azzardo, ma siamo di fronte ad una vera e propria emergenza sociale, da affrontare con interventi che richiedono competenze specifiche.

Negli ultimi anni la frequentazione dei giochi d'azzardo è notevolmente aumentata in seguito alla legalizzazione di nuovi giochi, all'apertura di nuovi esercizi, alla diffusione delle slot-machine nei bar e alla diffusione di vari giochi in rete.

Il fenomeno è in continua ascesa e tale da creare un crescente allarme, perché se è

vero che vi è un qualche profitto per le casse dello Stato, è altrettanto vero che i comportamenti illeciti e socialmente nocivi derivanti dai debiti di gioco sono sempre più frequenti. Oggi esistono, grazie ad internet, casinò elettronici che consentono giochi d'azzardo di ogni tipo e che hanno creato un contesto molto diverso da quello "romantico" dei vecchi casinò, popolato da altri esseri umani che osservano, assistono e interagiscono. Davanti al casinò virtuale c'è solo il giocatore con la sua passione, resa ancora più irrefrenabile proprio da questa assenza di interazioni sociali.

Se da un punto di vista giuridico (art.721 cod. pen.) "sono giochi d'azzardo quelli nei quali ricorre il fine di lucro e la vincita o la perdita è interamente o quasi interamente aleatoria", da quello psicologico il gioco d'azzardo è "una modalità di interagire con la fortuna, con il caso, nell'illusione di controllare la realtà, di prenderne il sopravvento se pur nel breve tempo di una scommessa". In proposito, tutti gli autori che si sono occupati di questo fenomeno rilevano che il gioco d'azzardo può essere classificato come: (i) *adeguato*, quando si gioca fra conoscenti, per un periodo di tempo prestabilito, con perdite accettabili e predeterminate e specialmente con un coinvolgimento emotivo limitato al periodo del gioco; (ii) *inadeguato*, quando si registra un comportamento persistente e ricorrente tipico del giocatore professionista ma, in quanto tale, disciplinato ed inserito in un mondo di relazioni ed emozioni in parte separate da quelle connesse al gioco, comportamento che può creare problemi economico-sociali, con coinvolgimento relativo di familiari; (iii) *patologico* o GAP, gioco d'azzardo patologico, che è caratterizzato da comportamenti persistenti, ricorrenti e tali da compromettere seriamente le attività personali, familiari e lavorative. Quest'ultimo caso rientra nelle patologie da dipendenza intesa come "incapacità di fare a meno di qualcosa; in particolare, bisogno irresistibile di assumere sostanze o di rinunciare ad attività o comportamenti anche se ad alto rischio". Il GAP si accompagna ad emozioni forti che si provano solo col gioco d'azzardo, che diventa così uno sfogo alle sensazioni negative, alle insoddisfazioni e alle ansie della vita, alimentando speranze (come abbiamo visto statisticamente vane) di soluzione di problemi economici, sociali e personali. Ma l'aspetto più significativo è che questo tipo di giocatore afferma di ricercare l'avventura, uno stato di eccitazione ed euforia ancora più dei soldi. Divengono così necessarie scommesse e puntate progressivamente più ingenti e rischi maggiori per continuare a produrre il livello emotivo-sensoriale desiderato. Per questi motivi, il GAP venne incluso nel 1980 nel Manuale Diagnostico Statistico dei Disturbi Mentali (D.S.M.) e classificato tra i "disturbi del controllo degli impulsi non altrove classificati" assieme alla cleptomania, alla piromania, alla tricotillomania e al disturbo esplosivo persistente. Ciò permette di considerare il GAP una malattia e non un vizio e rende il malato un soggetto non perseguibile per i reati che può commettere come conseguenza della sua patologia, ma da inserire invece in un programma di recupero in apposite Comunità Terapeutiche.

Da un punto di vista psicologico-clinico il senso di onnipotenza caratterizza la personalità di questo giocatore ed è, in ogni caso, da correlarsi al senso di inadeguatezza e di precarietà che si ritrova alla base del suo carattere. Il fenomeno diviene più a rischio

nel periodo adolescenziale ove lo sviluppo della personalità predispone ad emozioni forti e nuove che il gioco d'azzardo può dare, sostituendosi alla naturale ricerca di reciprocità e di scambi emotivi con altri esseri umani. Corre così maggiori rischi in adolescenza chi ha più difficoltà a gestire le emozioni e presenta di conseguenza problemi nelle interazioni sociali e complessi di inferiorità.

Del resto, secondo un recente studio del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ben un milione di giocatori risultano minorenni, nonostante che la cosiddetta "legge di stabilità 2011" vieti loro di giocare per denaro. Il divieto è eluso ogni giorno sia nei punti scommesse che in vari esercizi commerciali: si pensi ai video poker e alle slot machines nelle sale giochi e nei bar, al lotto e superenalotto nelle tabaccherie, ai gratta e vinci reperibili ovunque e alle sale bingo. Si aggiunga la possibilità di giocare on line dove è facile aprire un conto a nome di un maggiorenne. Molti giocatori di *Texas hold'em* rinomati nell'ambiente delle *poker rooms* virtuali sono diciottenni con già un'esperienza alle spalle.

Questa facilità di accesso a strutture o a strumenti attraverso cui esercitare il gioco d'azzardo sta creando vere e proprie patologie adolescenziali inseribili nelle "Nuove Dipendenze". La gravità è costituita da un progressivo isolamento sociale e alla continua spinta a giocare nonostante i ripetuti sforzi per controllare, ridurre o interrompere il comportamento, con una ricerca spasmodica di emozioni che via via si ritrovano solo nel gioco. Compagnano inoltre irrequietezza e irritabilità quando si tenta di ridurre o di interrompere l'attività del gioco d'azzardo. Il soggetto viene man mano assorbito totalmente dal gioco, nell'illusione di dimenticare i problemi ed alleviare le sensazioni negative. Se scoperti, si comincia a mentire ai familiari e agli amici per nascondere il proprio coinvolgimento nel gioco e si finisce col rischiare di ricorrere a comportamenti antisociali per ottenere il denaro da reinvestire.

Per questo motivo è necessaria una prevenzione che, all'informazione sui pericoli insiti nel gioco d'azzardo, unisca la possibilità di intervenire sugli adolescenti a rischio attraverso una psicoterapia *ad hoc*: un'attività mirata a sviluppare un senso di individualizzazione e differenziazione attraverso l'apprendimento, a riconoscere e gestire le proprie emozioni, a facilitare la socializzazione, l'interazione e l'apertura al dialogo con i familiari, gli amici e gli altri componenti il contesto sociale.

## LE CONSEGUENZE DI UN TWITT<sup>1</sup>

LINDA PAGLI

*Dipartimento di Informatica, Università di Pisa*

Tutti noi usiamo allegramente i computer senza preoccuparci troppo di quali potrebbero essere le conseguenze. Sia che si acquisti on-line un biglietto aereo o ferroviario, o si scelga l'ultimo romanzo del nostro autore preferito, che si cerchino occasioni di vestiti firmati o si voglia prenotare un albergo di lusso a prezzo super scontato, dobbiamo sempre seguire dei passi obbligati. Ci dobbiamo registrare nel sito di turno, fornendo tutti i nostri dati personali, dobbiamo dare l'autorizzazione al trattamento dei dati mettendo una crocetta in un quadratino piccolo e poco visibile (cosa significhi questa autorizzazione non è chiaro per niente, quello che è chiaro che se non si autorizza non si può andare avanti nel processo di registrazione). In caso di pagamento dobbiamo dare anche i dati della nostra carta di credito o prepagata, per cui dobbiamo fare altre registrazioni e dare autorizzazioni, operazioni anche coperte da parole chiave scelte da noi, spesso così semplici e immediate come la nostra data di nascita, o ancor peggio 123456, che anche un hacker alle prime armi può scoprire in un attimo.

Ma c'è di più: alle enormi memorie di Google, affidiamo tutta la nostra corrispondenza elettronica se usiamo il servizio di posta elettronica Gmail, così comodo per l'utente che non ha più limiti di spazio nella sua casella postale. Gmail si ricorda non solo di tutti gli scambi tra utenti, ma anche dei contenuti delle mail! Con le reti sociali come Facebook e Twitter depositiamo nella rete la nostra storia personale, esprimiamo opinioni, manifestiamo emozioni, punti di vista e inclinazioni politiche, vizi e virtù personali. Gli accessi che facciamo ai siti internet sono anch'essi tutti registrati e indicano ulteriori curiosità e interessi degli individui. Insomma una valanga di informazioni, detta in gergo "Big Data" che opportunamente aggregate, elaborate, filtrate, incrociate e visualizzate per mezzo di algoritmi sofisticati e in breve tempo può rivelare informazioni implicite, relazioni inaspettate e tante altre informazioni interessanti. L'informazione ricavata viene usata per scopi di vario tipo, alcuni già chiari, come il marketing, altri meno e della cui portata e conseguenze non siamo del tutto consapevoli. È notizia recentissima il progetto già attuato dell'amministrazione Obama per l'analisi dei "Big Data" a scopi antiterroristici. L'operazione tenuta segreta e svelata da un giornalista inglese del *Guardian*, è stata recepita dall'americano medio, molto sensibile alle proprie libertà personali, come una sorta di schedatura universale per il controllo capillare dell'individuo. La *Casa Bianca* si difende dicendo che si stanno studiando le reti di relazioni tra

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 14 novembre 2012 presso l'ISIS Follonica, (GR) e collegata al seminario tenuto a Pisa, presso La Limonaia di Palazzo Ruschi, il 6 novembre 2013.

individui alla ricerca di quelle sospette, non il contenuto delle singole e-mail, e che se si vuole combattere il terrorismo forse qualche sacrificio a livello di privacy va anche fatto; ciò nonostante l'operazione ha avuto un forte impatto emotivo e provocato una sensazione di Grande Fratello che osserva tutto. Mi domando perché tanto stupore, quando si affida tutta la nostra privacy alla rete.

Bisogna inoltre considerare che gli interessi economici in ballo sono enormi e per dirla con Andrew Keen, scrittore esperto di problemi legati al web: "I dati personali sono il nuovo petrolio".

A livello personale è importante acquisire consapevolezza nell'uso della rete, sapere che ogni nostra azione sul web, anche la più insignificante viene registrata e potrà essere ricordata negli anni a venire, che tutte le informazioni che affidiamo alla rete direttamente o indirettamente potranno essere utilizzate. Significa essere coscienti che quando si fa un accesso a un sito proibito, c'è una polizia altamente specializzata, in Italia la polizia postale, che lo può vedere e perseguire. Anche l'operazione più semplice come un *twitt* può avere conseguenze, bisogna tener presente che in contatto con la rete non ci troviamo in una stanza isolata, ma in una pubblica piazza colma di persone.

Capire o anche solo intuire il funzionamento di un motore di ricerca o di un servizio web può aiutare. Analizziamo quindi come funziona *Twitter*, che è la rete sociale che ha avuto più successo di recente, ma il discorso potrebbe essere esteso a molti altri servizi di rete.



Figure 1. *Twittering Machine*, Paul Klee, 1922 – Museum of Modern Art (MoMA) New York

Twitter permette lo scambio di messaggi brevi, di dimensione standard che possono essere inviati anche da un semplice cellulare in forma di sms. Possiede inoltre un'architettura completamente aperta (*open source*), cioè non proprietaria in accordo alla filosofia di partecipazione e condivisione di tanti prodotti software (come Unix e Linux per esempio) tanto cara alla rete. Questo permette a utenti che siano anche programmatori esperti di accedere e migliorare i programmi di base e poter anche sviluppare nuove applicazioni da usare insieme a Twitter. A ogni utente che si registra viene assegnata una pagina personale, che può essere osservata da seguaci (*follower*) cioè altri utenti interessati a lui, che a sua volta può decidere di seguire le pagine di altri utenti (*following*). Nella pagina vengono mostrati i twitt in arrivo più recenti, sia quelli degli utenti che si seguono sia quelli che arrivano a tutti.

Ogni utente può inviare i twitt ai suoi seguaci oppure renderli pubblici, o ancora rimbalzare un twitt di rilievo (*re-twitt*). Per la sua semplicità e immediatezza il mezzo si è imposto molto velocemente come strumento utilissimo alla diffusione rapida di notizie. È stato così efficace che nel caso di alcuni eventi improvvisi come il disastroso terremoto in Giappone del 2011, ha permesso di coordinare i soccorsi e salvare persone. Le notizie portate da twitter hanno definitivamente stabilito un nuovo modo di fare informazione, che è diventato corale, composto da testimonianze dirette e immediate quindi cariche di emozioni, un vero e proprio termometro degli eventi. Il suo successo è decretato dai numeri della sua diffusione: 200 milioni di utenti di cui 2.5 solo in Italia per una media di 350 milioni di twitt al giorno. Dal 2009 funziona anche come motore di ricerca: le parole di interesse contenute nei messaggi vengono precedute da un simbolo speciale (#) per poter essere cercate in tutti i twitt. Si formano così gruppi d'interesse su argomenti specifici e le relazioni di vicinanza e gli scambi tra utenti privilegiano interessi e passioni comuni, piuttosto che l'amicizia, la parentela o vissuto comune, come in altre reti tipo *Facebook*. Twitter si discosta dalle altre reti perché riunisce persone con uguali interessi, è meno privata e riflette più il presente che la storia personale.

Twitter è diventato sinonimo della primavera araba perché attraverso i tweet dei manifestanti è stato possibile vivere con loro i cortei e le proteste, ascoltare da vicino le emozioni di orrore, di rivolta e il coraggio di tanti giovani nel rivendicare i propri diritti.

Con Twitter comunicano Obama e Medvedev, e così hanno mandato in pensione la famosa linea rossa, linea telefonica riservata i capi di stato americano e russo, dove si scambiavano messaggi crittografati durante la guerra fredda. Un twitt è arrivato da un astronauta della Nasa dallo spazio e la foto di un'auto in fiamme durante la corsa di Daytona è stata inviata in un twitt dal pilota dell'auto che la seguiva. Curiosità che indicano impieghi sempre nuovi e inaspettati della rete di informazione. La *sentiment analysis*<sup>2</sup>, è il procedimento con cui si analizzano i twitter scambiati sulla rete per capire

2 <http://www.ccs.neu.edu/home/amislove/twittermood/>

le sensazioni di campioni di persone; si è studiato per esempio come cambia dell'umore degli americani nelle diverse ore del giorno per scoprire che l'umore tende a peggiorare nelle ultime ore di lavoro e tra mezzanotte e le tre probabilmente a causa della solitudine e dell'insonnia di chi manda messaggi. Non sono grandi scoperte ovviamente, ma pur sempre interessanti perché estrapolate direttamente dai messaggi.

Twitter è dunque uno strumento migliorato dalla collaborazione di tanti, che permette di fare informazione dal basso, di grande aiuto in situazioni di emergenza, che funziona anche come motore di ricerca e tutto questo ci viene fornito gratuitamente. Ma come fa Twitter a guadagnare se il servizio è gratuito? La filosofia è un po' quella di *Google*, ci sono i messaggi sponsorizzati che vengono pubblicati a pagamento. La natura dei messaggi pubblicitari è indicata chiaramente e la loro veste non è invasiva. Ci sono stati grandi investitori che ci hanno creduto molto che ci hanno impegnato i loro capitali. Come faranno a guadagnarci?

Avere i dati a disposizione significa capire l'orientamento del pubblico e seguire i movimenti degli individui, una sorta di enorme intercettazione telefonica globale. Avere un'informazione prima degli altri può essere molto utile in vari campi. Immaginate un politico che intercetta gusti e tendenze dei giovani e se ne vuol fare portavoce, potrà anche usare lo stesso linguaggio. S'investirà più o meno su un prodotto di qualsiasi genere, un cantante, un film, un oggetto se si viene a sapere che piace in modo particolare. Queste sono le applicazioni più immediate che vengono subito in mente, prevedere le estreme conseguenze di questo meccanismo è ancora qualcosa che sfugge.

Un altro aspetto da considerare è l'analisi velocissima di insiemi di dati di enormi dimensioni. Che si possa fare lo sappiamo già attraverso l'esperienza diretta con i motori di ricerca. Facciamo una richiesta specificando una o più parole chiave e in un attimo abbiamo la risposta, che il più delle volte è più che soddisfacente. Com'è possibile? Per spiegarlo nel dettaglio dovremmo scrivere un trattato d'informatica. Contentiamoci di fornire alcune intuizioni sui complessi meccanismi che regolano il funzionamento dei motori di ricerca e di altri servizi web, rimandando i lettori interessati a testi più approfonditi.

Una delle chiavi del successo è un'enorme disponibilità di potenza di calcolo, unita a un uso massiccio del calcolo parallelo. Con calcolo parallelo (o distribuito) si indica un approccio alla risoluzione dei problemi ove insiemi di computer eterogenei, invece che un singolo computer, si associano per risolvere problemi su dati di grandi dimensioni e si accordano per stabilire strategie e modalità di comunicazione. La capacità intrinseca di risolvere problemi non cambia se a lavorare è un computer solitario o un gruppo di essi, quello che cambia radicalmente è la dimensione dei problemi che possono essere risolti. Se poi i problemi considerati godono di particolari caratteristiche, si prestano molto bene a essere risolti parallelamente, al che corrisponde un risparmio notevole in tempo di elaborazione. Ci sono invece dei problemi per cui la soluzione parallela con più computer non aiuta e a volte è addirittura controproducente.

La soluzione collettiva può essere dunque una mossa vincente o meno, a seconda delle situazioni e tenendo che nel calcolo parallelo sorgono problemi nuovi, a volte

complicati. È per esempio più difficile definire un algoritmo, e anche solo capirne l'esecuzione può risultare molto complicato, come seguire la conversazione animata di tante persone che parlano contemporaneamente.

Se i computer devono accedere a risorse comuni in maniera esclusiva, per esempio una porzione di memoria su cui devono poter scrivere, si dovranno stabilire delle precedenze e se queste si chiudono ciclicamente si possono presentare problemi di *deadlock* che fanno andare il sistema in un situazione di stallo. Ovviamente queste situazioni devono essere previste a priori ma non è così facile prevederle se le regole di priorità sono molte. Altre difficoltà possono insorgere perché i computer generalmente hanno solo una conoscenza parziale della rete, l'andamento del calcolo dipende dai ritardi sulla rete e va previsto per ogni eventualità e un algoritmo in genere corrisponde a numerose esecuzioni distinte.

Una soluzione collettiva di un problema è normalmente più veloce di una soluzione elaborata dal singolo computer quindi può essere necessaria in caso debba essere terminata entro una certa scadenza temporale; la soluzione collettiva può essere conveniente se si può facilmente decomporre il lavoro da fare tra computer diversi e ricombinare altrettanto facilmente le soluzioni ottenute, può essere invece inutile o dannosa nel caso che il tempo di coordinamento tra computer e della raccolta dei risultati sia maggiore del guadagno dovuto al parallelismo. Si possono trovare tantissimi problemi "veri" che si adattano a una qualsiasi delle situazioni precedenti.

L'uso del parallelismo si è rivelato vincente proprio per i motori di ricerca e per servizi web che analizzano dati. I motori di ricerca e anche Twitter fanno un uso aggressivo del parallelismo. Quando si articola una domanda, la risposta appare sul video in modo praticamente istantaneo. In questo brevissimo intervallo di tempo le parole chiave sono state cercate sulle pagine se non di tutto almeno di una parte cospicua del web. Le nostre parole chiave contemporaneamente a tutte le altre viaggiano nella rete a milioni al secondo.

Varie copie dell'informazione contenuta nel web è registrata nelle memorie private dei motori che costruiscono anche i dizionari di parole chiave. Le memorie private, dette *cluster*, sono costituite da grandi insiemi di computer, normalmente semplici PC, e dislocate in varie parti del mondo. Una richiesta viene inviata al cluster più vicino oppure a quello meno affollato. Anche se i dati complessivi hanno dimensioni enormi essi possono essere decomposti in piccoli pezzi di ugual dimensione e la richiesta distribuita in tantissime copie a tutti quanti. La ricerca è un algoritmo da ripetere identico su tutti i pezzi contemporaneamente. Le ricerche procedono indipendenti una dall'altra e non devono comunicare dati parziali. Il risultato finale è semplicemente una concatenazione dei risultati ottenuti da ciascun pezzo. Siamo nella situazione ideale per il calcolo parallelo, i benefici sono ottimali e i risultati si vedono!

Esiste dunque un'enorme mole di dati accumulati dall'interazione tra la rete e i suoi utenti. L'analisi di questi dati, apparentemente impossibile viste le dimensioni, può essere realizzata in parte in modo relativamente semplice e veloce con l'uso del paralleli-

smo. Il web ci fornisce tanti bei servizi apparentemente gratuiti, ma questi ci prelevano tutti i nostri dati personali. I nostri dati personali hanno sicuramente un grande valore sul mercato, ma forniscono anche strumenti molto potenti di controllo sull'individuo. Chiediamoci se è uno scambio equo.

Vogliamo concludere però con una buona notizia: Twitter si distingue dalle precedenti reti sociali e anche dai motori di ricerca perché mette a disposizione, oltre ai suoi programmi, anche parte dei suoi dati. Una piccola percentuale (l'1%), ma sempre una grandissima quantità di twitt è resa pubblica a chiunque la voglia "ascoltare"; basta avere un account su Twitter, accedere a un determinato indirizzo web<sup>3</sup> per scaricare un flusso continuo di twitt. I twitt portano con sé informazioni preziose come per esempio il numero di seguaci di chi l'ha emesso, utili per stabilire la rilevanza del twitt stesso. Si può utilizzare il programma *open source* Map-Reduce<sup>4</sup> che permette di gestire problemi radicalmente paralleli come quelli visti sopra. Tutto il lavoro di smistamento dei dati ai vari computer, la replicazione delle domande, l'organizzazione e il bilanciamento del carico, è realizzato automaticamente dal programma stesso senza che chi lo usa si debba preoccupare minimamente di gestire il parallelismo. Scrivere un programma che usa questa tecnica per analizzare dati è relativamente semplice e prescinde dalla complicazione di dover esplicitamente dirigere le operazioni parallele. Con un po' di disponibilità di rete dedicata, che si può tranquillamente affittare a poco prezzo, possiamo analizzare i twitt come meglio crediamo, per fare affari, ricerca o politica, per scoprire nessi o prevedere eventi e magari inventarsi un lavoro.

Intanto, in via precauzionale, cerchiamo di lasciare nel web il minor numero di tracce possibile...<sup>5</sup>

---

3 <https://stream.twitter.com/1/statuses/sample.json>

4 Rilasciata da Google.

5 Vedi anche L. Pagli: "Tu twitti, loro guadagnano" *X la tangente*, n.36 dicembre 2012.

*Area delle Scienze Geologiche  
e Ambiente*



# I BIOINDICATORI DELLA QUALITÀ AMBIENTALE<sup>1</sup>

ROBERTO BARGAGLI

*Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*

Molti dati ambientali forniti dai mezzi di informazione non sono facilmente comprensibili e si prestano anche ad interpretazioni distorte o strumentali. Anche la qualità ambientale (l'insieme delle caratteristiche e proprietà di un ambiente naturale o antropizzato), con una visione antropocentrica e piuttosto riduttiva, viene spesso intesa come la misura della capacità di un ambiente di soddisfare le esigenze (materiali, economiche e sociali) dell'uomo. Nel caso del suolo, per esempio, molti ritengono che esso sia di qualità se è in grado di assicurare buoni raccolti. Ma il suolo svolge molti altri importanti "servizi ecologici" come il mantenimento della diversità di piante, animali e microrganismi, la regolazione del ciclo dell'acqua e del carbonio, l'attenuazione dei possibili effetti degli inquinanti ambientali e dei microrganismi patogeni, il mantenimento dell'integrità del territorio (prevenzione di frane e smottamenti, riduzione del trasporto solido e salvaguardia delle zone umide). Quindi, la produzione di alimenti è solo uno dei principali servizi forniti dal suolo e la fertilità è solo una delle tante proprietà conferite al suolo dalle sue caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche.

## 1. Il biomonitoraggio ambientale.

Scopo di questa lezione è quello di illustrare il ruolo degli organismi nel rilevare la qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo e di far comprendere come il biorilevamento costituisca un indispensabile complemento alle procedure di monitoraggio chimico-fisico, previste dalle normative per la protezione della salute e dell'ambiente. L'osservazione diretta delle risposte fornite da opportuni bioindicatori, consente la valutazione personale della qualità ambientale, aumenta la consapevolezza degli studenti e li aiuta a comprendere/interpretare il loro territorio ed dati forniti dalle agenzie (nazionali e territoriali) [1]. Le piante, sono state impiegate per secoli come indicatrici della fertilità dei suoli o dell'eventuale presenza di acqua e di depositi di minerali nel sottosuolo. In Cina, già nel 1000 a.C., le aree da destinare ad attività agricole venivano individuate con la mappatura della vegetazione; si conoscevano le specie tipiche delle aree con depositi di ferro e rame e durante la dinastia Ming si ottenevano metalli come Cu ed Ag dal loro incenerimento. In Europa, nel 1556 fu pubblicato il primo trattato sull'attività mineraria e metallurgica ("*De re metallica*") e l'autore (Georg Bauer; Agricola) suggeriva di "leggere i segni della natura" per individuare i depositi metalliferi perché

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 15 novembre 2012 presso il Liceo Scientifico "N. Rodolico", Firenze e il 6 dicembre 2012 presso IIS "A. Poliziano" e ISIS "Redi-Caselli", Montepulciano (SI).

sopra di essi crescono determinate specie di piante diverse da quelle presenti nelle aree circostanti. Ebbero così inizio le prospezioni geobotaniche, tuttora applicate nei paesi come Russia, Canada o Australia che hanno vaste porzioni di territorio poco esplorate. Gli studenti delle scuole toscane possono compiere interessanti esperienze di ricerca sulla vegetazione dei numerosi affioramenti di rocce ignee (serpentini) come quelli del Monte Ferrato o della Valle del Cecina. Alcune piante endemiche di queste zone come *Alyssum bertolonii* possono accumulare nei loro tessuti oltre il 5% di nichel! Le piante servono anche per comprendere la natura del suolo (es. le gariche nei substrati calcarei e le brughiere in quelli silicei) ed altre importanti esperienze (sul campo ed in laboratorio) possono esser fatte dagli studenti sulla vegetazione o le comunità edafiche (acari, collemboli, molluschi, lombrichi, ecc.) nei suoli con diversi valori di pH. Comunque, dopo la Rivoluzione Industriale, con lo sfruttamento del carbone e delle altre risorse del sottosuolo ed il progressivo inquinamento ambientale, gli organismi vegetali hanno assunto un ruolo importante soprattutto come *biomonitors* della qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo.

Il monitoraggio chimico-fisico della qualità dell'aria e nell'acqua è difficile e costoso, perché molti contaminanti sono presenti in concentrazioni minime ed estremamente variabili nello spazio e nel tempo. Molte specie di muschi, licheni e piante vascolari esposte agli inquinanti possono mostrare specifici effetti tossici (bioindicatori) e/o possono accumulare nei loro tessuti i contaminanti persistenti (bioaccumulatori) in concentrazioni superiori di ordini di grandezza rispetto a quelle presenti in aria o in acqua. Quindi, la determinazione delle concentrazioni di inquinanti nei tessuti vegetali è più semplice e non richiede campionamenti ripetuti perché i bioaccumulatori integrano nel tempo ciò che è biodisponibile nel loro ambiente. Le specie da impiegare come bioindicatori debbono fornire specifiche risposte agli inquinanti (a livello molecolare, biochimico, di tessuti o organi, di specie, di popolazioni o comunità), mentre i bioaccumulatori debbono essere abbastanza resistenti ai più comuni inquinanti atmosferici e capaci di accumulare quelli persistenti in concentrazioni che riflettono quelle mediamente presenti in aria, in acqua o nel suolo. Per effettuare il biomonitoraggio su larga scala (es. il territorio di un comune o di una provincia) è necessario che la specie prescelta abbia un'ampia distribuzione ed *optimum* ecologico nell'area di studio, sia di facile identificazione, reperibile in tutte le stagioni ed abbia una biomassa adeguata per le analisi di laboratorio. Il biomonitoraggio viene detto passivo se le osservazioni e/o le analisi chimiche utilizzano organismi naturalmente presenti nell'area di studio mentre è di tipo attivo se vengono opportunamente esposti (es. in una città) dei muschi o licheni raccolti in aree poco o affatto contaminate. Se correttamente impostato ed eseguito il biomonitoraggio fornisce con poca spesa ed in tempi brevi, dati qualitativi e/o quantitativi complementari a quelli rilevati nelle stazioni di monitoraggio. Di solito, i risultati vengono riportati come indici sintetici o mappe con diversi colori, facilmente accessibili anche agli studenti ed alla popolazione in generale. Questi approcci consentono di rilevare gli effetti biologici (integrati nel breve e medio termine) degli inquinan-

ti, la loro distribuzione spaziale (anche in aree remote) ed eventualmente, di ricostruire la storia dei processi di inquinamento. Di seguito vengono descritti alcuni dei metodi di biomonitoraggio tra quelli più diffusi e facilmente applicabili anche nelle scuole.

## **2. Biorilevamento della qualità dell'aria**

L'aria che respiriamo ha una composizione estremamente variabile, sia a causa delle molteplici sorgenti di emissione dei contaminanti (antropiche e naturali, istantanee e continue, puntiformi e diffuse, mobili e fisse), sia per la variabilità delle condizioni climatiche ed ambientali che influiscono sulla dispersione, deposizione e sull'eventuale trasformazione degli inquinanti primari in secondari (es. l'O<sub>3</sub> troposferico). Negli ultimi decenni, anche in conseguenza di eventi molto gravi come il *Great Smog* di Londra (1952) o gli incidenti di Seveso (1976) e Bopal (India, 1984), è aumentata la consapevolezza dei problemi igienico-sanitari ed ambientali posti dall'inquinamento atmosferico, ma nonostante l'introduzione di nuove norme e tecnologie, come riporta anche un recente rapporto dell'OMS [2], in molte aree urbane il problema è ancora largamente irrisolto. La soluzione non attiene solo alla sfera scientifica o tecnologica, ma richiede scelte politiche e crescita della cultura per lo sviluppo sostenibile per favorire il rispetto dei trattati internazionali per la riduzione delle emissioni, il risparmio energetico, la produzione di energia da fonti rinnovabili, la revisione del sistema dei trasporti ecc.. I sistemi automatici di monitoraggio (le centraline) collocate nelle aree urbane ed industriali, hanno elevati costi di acquisto e di gestione, forniscono dati di tipo puntiforme e su un numero limitato di inquinanti (alcuni di questi, come l'O<sub>3</sub>, si formano anche in zone rurali); quindi, non consentono di prevedere i possibili effetti biologici (spesso sinergici o additivi) dell'esposizione cronica alla complessa miscela d'inquinanti presenti nell'aria delle nostre città.

## **3. Licheni e muschi come biomonitori**

I licheni sono una associazione simbiotica tra un fungo (micobionte) ed un'alga (fotobionte), sono privi di radici e cuticole cerose e per il loro nutrimento dipendono dalle deposizioni atmosferiche. Le ife fungine che formano il tallo, avvolgono le alghe e le proteggono da radiazioni eccessive e dall'essiccamento, forniscono loro acqua e soluti ed in cambio ricevono dall'alga i prodotti della fotosintesi. La simbiosi è una di quelle di maggior successo sulla Terra ed i licheni crescono anche negli ambienti più estremi, come i deserti freddi dell'Antartide, ma, a causa degli scambi con l'atmosfera, subiscono gli effetti degli inquinanti fitotossici come SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, HF. Da oltre due secoli è nota la loro sensibilità specie-specifica agli inquinanti, dipendente soprattutto dalla loro morfologia e dalla superficie di scambio con l'aria (le forme fruticose e fogliose sono molto più sensibili di quelle crostose). Basandosi sul numero di specie presenti nelle comunità, sono stati elaborati diversi indici di qualità dell'aria (*Index of Atmospheric Purity*, IAP) ed il metodo ANPA [3], applicato anche in molte scuole, prevede il rilevamento del numero di specie sul tronco di alberi, per lo più a scorza acida come tigli e querce. La procedura è standardizzata, richiede minime conoscenze

di sistematica e fornisce dati oggettivi sulla qualità dell'aria, soprattutto in aree con condizioni climatiche piuttosto omogenee. In ogni stazione di rilevamento si scelgono 3-12 alberi della stessa specie, con tronco diritto e circonferenza di almeno 70 cm; nei 4 punti cardinali del tronco, ad 1 m di altezza dal suolo, si applicano dei telai, ognuno con 5 quadrati di 10x10 cm; si rilevano le specie all'interno di ciascun quadrato e la loro frequenza (il numero di maglie nella quale sono presenti). Dalla somma delle frequenze di tutte le specie presenti in ciascun telaio ed in ciascun albero e dalla media dei valori rilevati negli alberi degli stessa stazione si ricava l'indice di diversità lichenica. I risultati consentono di tracciare mappe dell'inquinamento atmosferico, utili per la localizzazione di centraline di monitoraggio o per validare i dati dei modelli di trasporto e deposizione degli inquinanti. Con l'analisi delle concentrazioni di inquinanti nei talli di specie più resistenti (bioaccumulatori) si ottengono mappe di deposizione di molti degli inquinanti non rilevati nelle centraline come metalli pesanti, radionuclidi e composti organici persistenti (es. IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici e PCB: Policlorobifenili).

I muschi hanno molte caratteristiche in comune con i licheni: mancano di apparato radicale, sono ampiamente distribuiti anche nelle regioni estreme e dipendono dalle deposizioni atmosferiche per il loro metabolismo. I fusticini dei muschi hanno foglioline (spesso costituite da un unico strato di cellule) e nelle specie ectoidriche (prive di vasi di trasporto) mancano di cuticole superficiali. Quindi, come nei licheni, tutta la superficie esterna dei muschi assorbe acqua, ioni ed i contaminanti atmosferici. I muschi vengono utilizzati soprattutto come bioaccumulatori (passivi ed attivi) dei contaminanti poiché hanno anche una morfologia adatta ad intrappolare la particelle aerotrasportate. La tecnica è stata sviluppata intorno al 1970 nei paesi scandinavi per valutare le "importazioni" dai paesi dell'Europa centrale di acidità, metalli, radionuclidi e composti organici persistenti (POP). Da allora, ogni 5 anni, il Nordic Council of Ministers promuove il biomonitoraggio con i muschi su scala sovranazionale per rilevare i *trends* spazio-temporali delle deposizioni di inquinanti. Il metodo prevede la raccolta di una specie di muschio tra quelle più diffuse nell'aria di studio (ad almeno 5 m di distanza dalla chioma degli alberi e 200 m da costruzioni e strade) e le analisi chimiche in laboratorio, della porzione apicale dei caulidi (di colore verde), che corrisponde alla biomassa prodotta negli ultimi 2-3 anni. Nelle aree urbane ed industriali dove non è sempre possibile reperire campioni di muschio e licheni, i talli dei licheni ed i caulidi dei muschi, raccolti in aree ad elevata naturalità, opportunamente preparati ed esposti in reticelle di nylon (*moss bags*) per diverse settimane o alcuni mesi, costituiscono una delle metodologie più semplici ed a basso costo per acquisire mappe di deposizione dei contaminanti persistenti.

Un ulteriore vantaggio dei biomonitori rispetto ai sistemi convenzionali di monitoraggio è la possibilità di effettuare indagini retrospettive sull'andamento delle deposizioni atmosferiche di contaminanti. Possono essere analizzate porzioni dei talli dei licheni o foglie di alberi (es. aghi delle conifere) di diversa età, oppure gli anelli di

accrescimento del tronco degli alberi. Quest'ultimo approccio (*dendrochemistry*) si basa sul presupposto che i contaminanti assorbiti dalle radici siano accumulati nel tessuto legnoso prodotto in quell'anno, senza trasferimento radiale agli altri anelli e necessita di specie arboree a legno duro come querce o olmi. Comunque, le migliori ricostruzioni storiche si ottengono con l'analisi delle sezioni di carote prelevate nelle torbiere. [4] Nei climi freddi, la materia organica prodotta annualmente dagli sfagni va incontro a lentissima degradazione e si accumula formando i depositi di torba; se i muschi si sono sempre sviluppati al di sopra del livello delle acque (ombrotrofici) la composizione chimica della torba riflette quella delle deposizioni atmosferiche.

#### 4. Il ruolo delle piante vascolari

Sebbene le foglie delle piante vascolari siano protette dalle cere epicutcolari, circa il 2% della loro superficie è occupata dagli stomi ed i contaminanti gassosi come  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  ed HF possono penetrare all'interno. Nel caso dell' $\text{O}_3$  troposferico per esempio, le piante hanno sistemi enzimatici e producono sostanze antiossidanti per detossificare/neutralizzare le specie reattive dell'ossigeno (ROS), ma se le concentrazioni di  $\text{O}_3$  sono elevate si ha riduzione della fotosintesi, clorosi delle foglie e scarsa resa agronomica delle colture. La cultivar Bel-W3 della pianta di tabacco è molto sensibile all' $\text{O}_3$  e manifesta tipiche lesioni anche per esposizioni di poche ore, a concentrazioni di soli 40 ppb. [5] Spesso le concentrazioni di  $\text{O}_3$  sono più elevate nelle zone agricole e forestali che nelle città e l'esposizione di piante di tabacco consente di acquisire informazioni sulla sua distribuzione anche nelle zone prive di centraline di rilevamento. Il biomonitoraggio può essere eseguito anche dalle scolaresche, nell'ambito di programmi di educazione ambientale, addestrando gli studenti alla valutazione dell'intensità del danno di ogni foglia, mediante il confronto con tavole iconografiche, che rappresentano la distribuzione delle aree necrotiche in foglie di diversa età. L'inquinamento da fluoruri determina la necrosi degli aghi di pino o dei margini e degli apici delle foglie di molte piante ornamentali (es. gladioli e tulipani) o degli alberi da frutto (pesco, vite, ciliegio) ed anche in questo caso gli studenti possono eseguire esperienze di biomonitoraggio in prossimità di impianti per la produzione di laterizi, ceramiche e cristalli, ampiamente distribuiti nel territorio della Toscana.

La maggior parte delle piante vascolari prevengono l'assorbimento e la traslocazione degli inquinanti presenti nel suolo immobilizzandoli nella membrana plasmatica delle radici e grazie a questa capacità di "esclusione" riescono a crescere anche in aree con suoli inquinati, mantenendo piuttosto costante la composizione chimica dei loro tessuti. Per questo motivo, negli ultimi decenni, le foglie di molte specie vegetali ad ampia distribuzione, sono state impiegate come bioaccumulatori delle deposizioni di metalli e inquinanti organici. Il biomonitoraggio con le piante erbacee è l'unico approccio possibile per poter valutare il trasferimento dei contaminanti persistenti negli erbivori. La morfologia della pianta e delle foglie gioca un ruolo importante nell'ad/assorbimento degli inquinanti e oltre agli aghi delle conifere, vengono impiegate le

foglie di faggio, pioppo, quercia, robinia e ailanto. Il leccio (*Quercus ilex* L.) è uno degli alberi più comuni della macchia mediterranea ed è ampiamente diffuso nei viali e nei parchi di molte città italiane; le foglie persistono sui rami per circa 3 anni ed hanno una morfologia particolarmente adatta per l'accumulo dei contaminanti atmosferici persistenti. Biomonitoraggi con foglie di leccio hanno consentito di acquisire mappe di deposizione di metalli in tracce ed IPA in numerose città italiane come Firenze, Siena, Roma, Napoli e Palermo. Nell'area urbana di Firenze i *patterns* di accumulo degli elementi in tracce nelle foglie di leccio riflettono quelli rilevati nei campioni di particolato atmosferico PM<sub>10</sub>, analizzato con le stesse procedure e raccolto nelle centraline di monitoraggio situate in prossimità dei lecci.

### **5. Bioindicatori della qualità dell'acqua e del suolo**

Le prime proposte di valutazione biologica della qualità delle acque risalgono ad oltre un secolo fa e si basavano sulle variazioni di composizione delle comunità biotiche in relazione all'inquinamento organico ed alla disponibilità di O<sub>2</sub>. Nei corsi d'acqua, i macroinvertebrati bentonici (generalmente >1mm) compiono spostamenti limitati, sono facilmente campionabili, comprendono taxa con ciclo biologico abbastanza lungo ed hanno diversa sensibilità agli inquinanti. Da molti anni in Italia viene applicato con successo, anche da parte di molte scuole, l'Indice Biotico Esteso (IBE) [6]. I valori dell'indice vengono raggruppati in 5 classi di qualità, facilmente visualizzabili sulle mappe dei corsi d'acqua, mediante l'impiego di colori o retinature; forniscono informazioni di tipo integrato ed hanno buona capacità di sintesi. Per una valutazione complessiva della qualità dei corsi d'acqua, viene applicato anche l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) [7] che, oltre ai dati sulle comunità del macrobenthos e delle piante acquatiche, considera anche la morfologia delle rive e dell'alveo, la vegetazione delle fasce ripariali, le condizioni idriche, le strutture di ritenzione in alveo e lo stato di decomposizione della materia organica. La scheda per la rilevazione dell'IFF prevede 14 domande (ciascuna con quattro risposte predefinite ed un valore numerico che individua in modo relativo, l'importanza della caratteristica definita). La compilazione della scheda termina con il calcolo della somma dei valori e la definizione dello *score*, che può assumere valori compresi tra 14 e 300. Anche i valori dell'IFF sono riconducibili a 5 livelli con giudizio di funzionalità e relativo colore. Abbastanza diffuso è l'impiego delle diatomee epilittiche, caratterizzate da sensibilità specie-specifica alle variazioni delle concentrazioni di materia organica, nutrienti e cloruri. Anche le diverse specie di macrofite acquatiche hanno specifiche esigenze trofiche ed ecologiche e sono ritenute un'utile strumento di valutazione dello stato ecologico di fiumi e laghi. Sono stati proposti diversi indici biotici anche per le comunità ittiche, basati sul fatto che in condizioni di "naturalità" esse dovrebbero ospitare popolazioni indigene in buone condizioni ed essere prive di specie alloctone. Il valore dell'indice si ottiene dalla comparazione tra una comunità ittica attesa e quella reale, dai dati sull'abbondanza dei pesci e sulla loro struttura in classi di età.

Come gli ecosistemi acquatici, anche i suoli sono capaci di autodepurarsi e in funzione delle loro caratteristiche, possono ridurre la biodisponibilità dei contaminanti mediante l'attività dei microrganismi e processi di adsorbimento, complessazione e precipitazione. Tuttavia, ogni suolo ha una determinata capacità di autodepurazione e la sua funzionalità può subire danni irreversibili in conseguenza di inquinamenti di tipo acuto o cronico e/o di variazioni delle condizioni ambientali. La funzionalità di molti agroecosistemi è gravemente compromessa dall'uso di sostanze xenobiotiche come diserbanti, insetticidi e fungicidi ed anche nelle aree urbane, industriali ed in quelle con discariche, la composizione e la struttura delle comunità edafiche possono risultare profondamente alterate. La pedofauna influenza la capacità di resilienza di un suolo ed i parametri biotici (abbondanza, diversità, struttura delle reti trofiche e stabilità delle comunità) stanno assumendo un ruolo sempre più importante come indicatori della qualità e della funzionalità del suolo. Anche per i suoli, sono stati definiti degli indici biotici, sia qualitativi (che prescindono dal numero di individui presenti nel campione e si basano sul valore indicatore di alcuni taxa), che quantitativi (basati sulla valutazione della ricchezza in taxa e della loro composizione). [8] Tuttavia, mentre i primi bioindicatori dell'inquinamento atmosferico e delle acque furono individuati sin dagli inizi del secolo scorso ed hanno acquisito notevoli livelli di diffusione e standardizzazione, nel caso dei suoli, le tecniche di biomonitoraggio hanno avuto un sviluppo molto più recente e tardano ad affermarsi, anche a causa della complessità delle comunità edafiche e delle conoscenze tuttora insufficienti sull'ecofisiologia di molte specie.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bargagli, R., *Ecologia Applicata. Per un Uso Consapevole dell'Aria, dell'Acqua e del Suolo*. Amon, Padova 2012.
- [2] World Health Organization, *Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution-First results*, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 2013.
- [3] ANPA, *Indice di Biodiversità Lichenica*, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Manuali e Linee Guida, Roma 2001.
- [4] Bargagli, R., *Trace Elements in Terrestrial Plants- An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*, Springer-Verlag, Berlino 1998.
- [5] Lorenzini, G., Nali, C., *Le Piante e l'Inquinamento dell'Aria*. Springer, Milano 2006.
- [6] APAT, IRSA-CNR, *Metodi Analitici per le Acque. 9010. Indice Biotico Esteso (I.B.E.)*, Manuali e Linee Guida, Roma 2003.
- [7] ISPRA, I.F.F. 2007 - *Indice di Funzionalità Fluviale*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma 2007.
- [8] Biagini, B., Barbuto M., Zullini, A., *Bioindicatori della qualità del suolo*. *Biologia Ambientale* 20(2):19-41, 2006.

## IL GEOLOGO SULLA SCENA DEL CRIMINE<sup>1</sup>

GIOVANNA GIORGETTI

*Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena*

La geologia forense è una scienza nata più di 100 anni fa e che si è sviluppata parallelamente alle conoscenze geologiche, geomorfologiche, mineralogiche e metodologiche accumulate nel corso dei decenni [1].

Le competenze del geologo che possono essere utili per indagini sia in cause civili che penali sono molte e abbracciano praticamente tutte le branche della geologia. Il geologo, infatti, riconosce i diversi tipi di terreno e di rocce; riconosce la morfologia del suolo; riconosce i diversi minerali naturali e sa riconoscere anche materiali prodotti dall'uomo. Il geologo inoltre sa usare strumentazioni che gli consentono di datare reperti e di caratterizzarli da un punto di vista chimico-fisico. I giudici, quindi, si possono rivolgere ai geologi per avere risposte di vario tipo: 1) identificare il tipo di roccia o di minerali; 2) identificare sepolture; 3) datare reperti (ad esempio, opere d'arte); 4) identificare residui di sparo e/o caratterizzare chimicamente proiettili.

Di seguito vengono riportati alcuni esempi in cui sono state richieste competenze geologiche per cercare di risolvere diversi tipi di procedimenti.

### **Cause civili**

Un esempio famoso in cui è stata richiesto l'utilizzo di una metodologia "geologica" è la datazione della Sacra Sindone, il sudario, conservata nel Duomo di Torino, che si pensa abbia avvolto il corpo di Gesù. Nel 1988 tre campioni del lenzuolo di lino, quindi di un composto organico costituito anche da carbonio, furono inviati a tre diversi laboratori geologici (Oxford, Zurigo e Tucson) e furono effettuate tre diverse datazioni con il <sup>14</sup>C. Tale metodologia si usa, di norma, per datare reperti fossili relativamente recenti, non più vecchi di 50000 anni. Il metodo ha un intervallo di tolleranza di +/-50 anni. I risultati dei tre diversi laboratori fornirono età, per il lenzuolo, comprese fra 1260 e 1390 anni, cioè medievali.

In altre occasioni il giudice ha chiesto a geologi di caratterizzare delle rocce che erano oggetto di cause fra due parti.

In un caso, si trattava di una causa fra un istituto di previdenza e un proprietario di cave. Il proprietario sosteneva che la cava era impostata su materiale sciolto (roccia incoerente), l'istituto, al contrario, che si stava cavando roccia coerente. Nelle due diverse situazioni (roccia incoerente o roccia coerente) si procede con metodi di cavatura estremamente diversi e le indennità per gli operai variano tantissimo da

---

1 Lezione tenuta il 22 gennaio 2013 presso l'ITIS "A. Meucci", Firenze

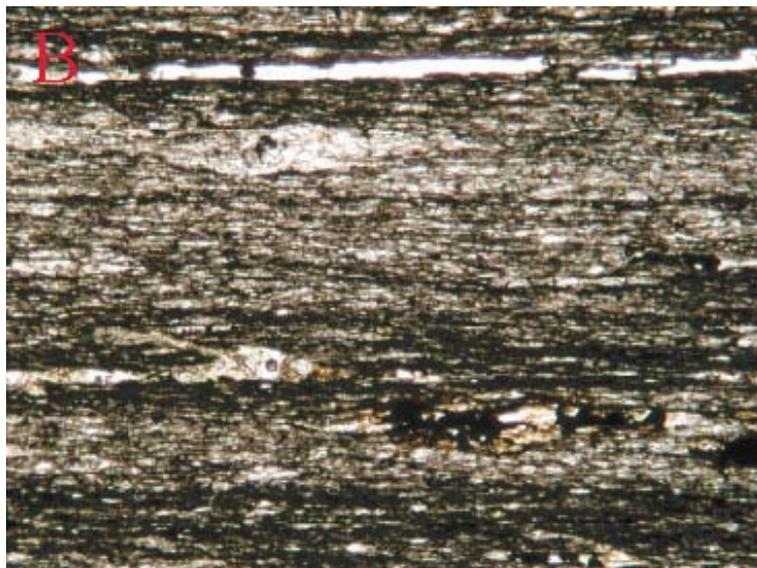
caso a caso. Il geologo, recatosi in cava, ha verificato, con la semplice osservazione e caratterizzazione del materiale cavato, che si trattava di materiale sciolto, cioè roccia incoerente.

Le conoscenze petrografiche e mineralogiche più approfondite sono state necessarie per risolvere una causa fra una ditta fornitrice di materiale lapideo (marmi s.l.) e una impresa edile. L'impresa aveva ordinato una roccia (Pietra del Cardoso) nota e adatta per fare soglie, davanzali, scalini, comunque rivestimenti da esterni. La ditta fornitrice aveva inviato il materiale che, secondo l'impresa, non era quello richiesto ed aveva caratteristiche geotecniche assolutamente inadatte per essere utilizzato come rivestimento da esterni. Il giudice chiese al geologo di analizzare il materiale lapideo fornito e verificare se fosse, effettivamente, Pietra del Cardoso. Il geologo si procurò un campione di Pietra del Cardoso s.s. e ne fece una analisi petrografica, attraverso il microscopio ottico a luce trasmessa: tale Pietra è una roccia metamorfica, molto dura e omogenea, costituita da quarzo e feldspati.



*Figura 1a. Immagine al microscopio ottico a luce trasmessa (solo polarizzatore) di una sezione sottile (spessore ca. 30 micron) di un campione di Pietra del Cardoso; il campione è costituito principalmente da granuli di quarzo (cristalli bianchi) di circa 50 micron.*

La stessa analisi petrografica effettuata sul materiale lapideo fornito alla impresa edile rivelò che si trattava di una roccia sedimentaria, con una forte anisotropia planare (cioè si sfaldava lungo superfici parallele), costituita da fillosilicati e materiale carbonioso.



*Figura 1b. Immagine al microscopio ottico a luce trasmessa (analizzatore inserito) di una sezione sottile (spessore ca. 30 micron) di un campione del materiale fornito alla impresa edile; il campione è costituito principalmente da fillosilicati di 5-10 micron (lamelle chiare) e di materiale carbonioso (livelli neri)*

Non si trattava, quindi, della Pietra del Cardoso comunemente intesa dal punto di vista sia petrografico che merceologico.

### **Cause penali**

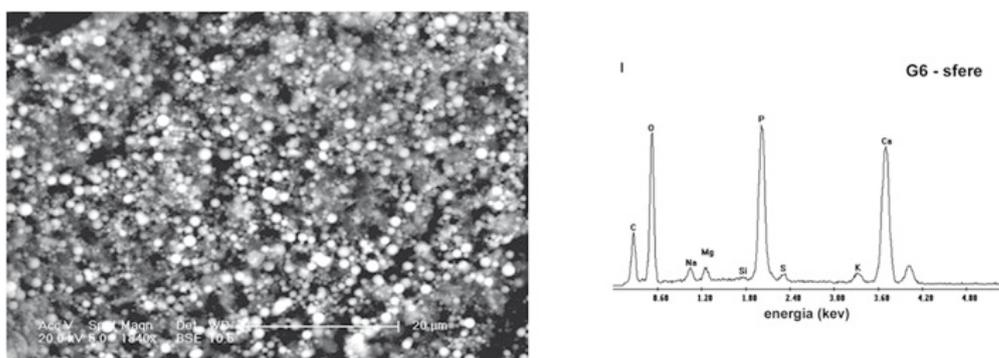
Il geologo può contribuire a risolvere crimini cruenti o, ad esempio in caso di rapimenti, a localizzare i nascondigli. Le competenze che vengono richieste sono, anche in questi casi, molteplici.

Un famoso fatto di sangue avvenne nel 1978, a Roma, quando fu rapito l'On. Aldo Moro e sterminati gli uomini della sua scorta. Dopo molte settimane di prigionia il corpo dell'On. Moro fu fatto ritrovare nel bagagliaio di un'auto nel centro della capitale. Nei risvolti dei pantaloni indosso al cadavere fu ritrovata della sabbia e si interpellò un geologo per accertarne la provenienza e sperare, così, di individuare il luogo di prigionia (o di uccisione) dell'onorevole. Il geologo, attraverso l'analisi mineralogica e petrografica dei granuli costituenti la sabbia, riconobbe che il campione proveniva da un tratto ben preciso (circa 7 km in lunghezza) del litorale laziale a Nord di Ostia. In realtà, quando anni dopo i terroristi responsabili dell'atto criminoso furono catturati e interrogati ammisero di aver messo appositamente la sabbia sul corpo per sviare le indagini.

Anche durante le indagini per un rapimento avvenuto negli anni novanta in Sardegna fu richiesta la consulenza del geologo, per analizzare i residui di terreno campionati su scarpe e auto (pneumatici, tappetini) di alcuni indiziati. Il bambino era stato rapito in Costa Smeralda, area dove affiorano rocce granitiche, caratterizzate quindi da specifici minerali (quarzo e feldspati). I residui sotto indagine, invece, risultavano essere costituiti da minerali tipici di altri tipi di rocce (rocce basaltiche) che, in Sardegna, af-

fiorano solo in due località: Macomer (Sardegna occidentale), Dorgali (Sardegna orientale). In queste due aree, inoltre, le rocce basaltiche sono leggermente diverse e l'analisi approfondita del chimismo dei minerali provenienti dai reperti permise di individuare in Dorgali l'area di provenienza. Si suppose, quindi, che la prigione del bambino si trovasse in questa zona.

La conoscenza delle tecniche di microscopia elettronica (SEM) e di analisi chimica puntuale con un sistema a dispersione di energia (EDS) ha fatto sì che il geologo abbia indagato su reperti reattivi al luminol e ritrovati sulla scena di un delitto. Le macchie reattive al luminol erano all'esterno di una casa dove era stato ucciso un bambino. Se quelle macchie fossero state di sangue, che è luminol-attivo, allora si poteva supporre che l'omicida fosse fuggito dall'appartamento; in caso contrario si poteva supporre che l'omicida fosse sempre stato in casa. Una analisi sia morfologica che chimica delle macchie al SEM-EDS rivelò che erano costituite da nanosfere di fosfato di Calcio idrato; non si trattava quindi di sangue.



*Figura 2. A sinistra una immagine al microscopio elettronico a scansione delle macchie reattive al luminol. Sono visibili nanosfere bianche brillanti. A destra un spettro EDS ottenuto facendo una analisi puntuale su una nanosfera: la presenza di P, Ca, O e i rapporti di intensità dei picchi indicano che trattasi di un fosfato di Calcio idrato (idrossiapatite)*

La loro luminescenza era dovuta alle loro dimensioni, tali da interferire con la lunghezza d'onda della luce fluorescente.

In seguito, una attenta indagine bibliografica contribuì a capire l'origine di queste nanosfere: si trattava di escrementi di gatto (c'era, in effetti, un gatto domestico) che aveva mangiato una particolare marca di croccantini.

L'utilizzo del microscopio elettronico è fondamentale per l'analisi di proiettili e per la ricerca dei residui di sparo. Frammenti di proiettile, di dimensioni microscopiche, estratti dalle vittime, posso essere analizzati chimicamente e, magari, confrontati con i proiettili in possesso degli indiziati. I proiettili sono fatti piombo e posso avere una camiciatura composta di vari metalli. In una indagine su un incidente di caccia in cui la vittima era stata probabilmente uccisa, incidentalmente, dal suo compagno, venne analizzato il frammento estratto dal cranio del deceduto: aveva una camiciatura di rame e zinco, analoga ai proiettili dell'amico indiziato.

Per verificare se un indiziato ha veramente utilizzato un'arma, si eseguono tamponi su mani ed abiti alla ricerca di residui di sparo. La legge stabilisce che si devono considerare "residui di sparo" delle particelle sferiche di 5 micron di diametro, costituite da Pb, Ba e Sb; se almeno tre di queste particelle vengono trovate sui tamponi allora si può dire che l'indiziato ha sparato. Viste dimensioni e composizione, la ricerca dei residui viene effettuata con il SEM-EDS.

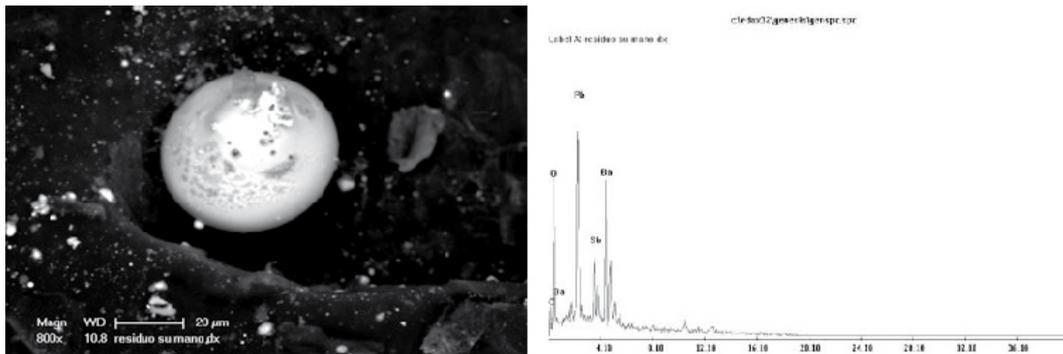


Figura 3. A sinistra una immagine al microscopio elettronico a scansione di una microparticella di residuo di sparo ritrovata sulla mano destra di un indiziato. A destra lo spettro EDS ottenuto facendo una analisi puntuale sulla microparticella: la presenza di Pb, Sb, Ba confermano trattarsi di un residuo di sparo

Fin dai tempi in cui lo scrittore Arthur Conan Doyle attribuì al suo famoso investigatore Sherlock Holmes conoscenze geologiche utili per le sue famose deduzioni, il ruolo dei geologi nelle indagini sia per dipanare cause civili che penali ha preso piede. Sia le conoscenze geologiche *sensu strictu*, sia la conoscenza delle metodologie che il geologo utilizza per le sue ricerche contribuiscono a risolvere questioni nate fra due parti o a risolvere indagini. Pensiamo ad esempio ai famosi "pacchi": un carico di valore parte da un porto e arriva per nave in una località da dove prosegue il viaggio in camion. Alla destinazione finale arrivano dei "pacchi" di egual peso, ma pieni di sabbia o ghiaia. Dove è avvenuto lo scambio e, quindi, a quale assicurazione si addebita l'indennizzo? A quella navale o a quella su gomma? Il geologo stabilisce da dove proviene la sabbia (o la ghiaia). Pensiamo al famoso terrorista Osama Bin Laden, che si attribuì la responsabilità dell'11 Settembre in un video. Dato che alle sue spalle compariva un affioramento roccioso, il geologo individuò l'area afghana dove risiedeva il terrorista.

E' da tenere presente che, in tutti i casi citati, il geologo fornisce delle indicazioni e dà un giudizio sulla compatibilità fra due indizi. La sabbia nei pacchi è compatibile con la sabbia proveniente dalla spiaggia davanti alla quale è transitata la nave con il carico prezioso; le rocce di un video sono analoghe a rocce che affiorano in una certa area.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] MURRAY, R.C., *Evidence from the Earth: Forensic geology and criminal investigation*, Mountain Press Publishing Company, Missoula, Montana 2011.
- .

# *Area Storico-Filosofica*



---

**SAPERI UMANISTICI E SAPERI SCIENTIFICI**  
**DAL RINASCIMENTO ALL'ERA DELLA GLOBALIZZAZIONE:**  
**UNIVERSITÀ, CULTURA, SOCIETÀ<sup>1</sup>**

GABRIELLA ALBANESE

*Università di Pisa*

Benedetto Croce ha insegnato che ogni storia è storia contemporanea: è una linea che ha origini molto lontane, in area classica, nella nota definizione di Cicerone della «*historia magistra vitae*», nel concetto del futuro-passato, vale a dire dell'attualità della storia del passato per una consapevole gestione del presente e una responsabile proiezione del futuro. L'attualità della storia appare legata al nocciolo di fondo della ricerca di identità e di radici culturali, indispensabili all'uomo di tutti i tempi per organizzare e costruire il suo mondo.

Questo bisogno di identità e questa esigenza di individuare radici e appartenenze culturali con lo strumento più appropriato della scienza storica si presenta con forza ancora maggiore, ma anche con maggiore difficoltà, nell'apertura di questo terzo millennio, caratterizzato da svolte epocali sia socio-politiche che culturali. Venuta meno la centralità dello stato nazionale con l'emergenza sempre più importante dei grandi organismi politici internazionali, sotto la spinta della globalizzazione economica e dell'unificazione politica, tendono ad appannarsi e a perdere di significato i confini nazionali mentre si acuiscono, al contatto più diretto, i problemi dell'incontro/scontro con l'Altro da sé. L'ideale di un'economia globalizzata e di una democrazia da esportare con tutti i mezzi non hanno ancora saputo radicare la consapevolezza di una comune appartenenza all'umanità, senza divisioni e senza confini. Le identità e le appartenenze non sono scomparse, ma si ridisegnano in base a fattori non solo etnici, ma anche economici, religiosi e culturali, che spesso prevedono scontri di civiltà e chiedono verifiche e chiarificazioni.

La sensazione che un passato condiviso custodisca le chiavi dell'identità collettiva è diffusa oggi a tutti i livelli; e proprio il radicamento nel passato è spesso invocato, anche a livello politico, per fondare un sistema di valori e individuare un'appartenenza comune. La civiltà formatasi in Europa e nel Mediterraneo nel corso dei millenni, dall'invenzione della democrazia in Grecia e del diritto a Roma, alla diffusione delle due grandi religioni gemelle, Cristianesimo e Islam, nate dallo stesso ceppo ebraico, alla fondazione della scienza moderna nel Rinascimento, costituisce oggi il fondamento

---

1      Lezione tenuta il 7 novembre 2012 presso il Liceo "Carducci" di Pisa.

della nuova civiltà globale: una situazione che si presenta per la prima volta, con tutte le sue incognite, nella storia dell'umanità.

Occorre dunque rintracciare una tradizione culturale a cui fare ancora oggi riferimento, come bussola sicura per una consapevole costruzione degli orientamenti identificativi dell'era post-moderna appena iniziata. E oggi più che mai questo saldo punto di riferimento può essere identificato nella tradizione culturale dell'umanesimo greco-latino, nelle sue varie tappe dall'antichità classica al Rinascimento europeo: ad essa dobbiamo la costruzione del poliedrico patrimonio di tutti i saperi, umanistici e scientifici, che hanno concorso, nella loro coesa unità, alla elaborazione di quel concetto rinascimentale dell' "uomo universale", che, solo, può oggi rappresentare un modello di orientamento culturale per l'era della globalizzazione.

Heidegger individuava un "primo umanesimo" nell'incontro fecondo tra la civiltà greca e la *virtus* romana, lentamente meditato e operosamente costruito lungo quasi un millennio, dall'VIII secolo a.C. al VI d.C., che legittimò tra XIV e XVI secolo una vera e propria *renascentia romanitatis* nell'epoca che assume poi la definizione ufficiale di "Umanesimo e Rinascimento". La forza imperiale di Roma e la civiltà ellenistica, infatti, contribuirono all'unificazione del mondo conosciuto, sovrapponendosi a molte culture e lingue locali (che comunque portarono il loro contributo all'immenso mosaico della civiltà antica) e unificandole con gli strumenti poderosi della lingua (latino e greco rimarranno la voce ufficiale della cultura e delle istituzioni politico-religiose per tutti i secoli a venire), ma anche del patrimonio culturale, in particolare la filosofia e la scienza greca e il diritto romano. La cifra essenziale di questo primo umanesimo si può riconoscere nella definizione dell'individuo come perfetto equilibrio dei valori di libertà e giustizia, il che ha molti risvolti in vari campi della politica, della società e della cultura.

Appaiono dunque evidenti i referenti che l'attuale civiltà globale presenta con il precedente della grande *reductio ad unum* dell'ecumene romana e risultano chiare le ragioni per cui fino allo scorso secolo il mondo occidentale si è riconosciuto come figlio di questo primo umanesimo greco-latino, strutturando le proprie coordinate culturali nella linea di questa tradizione e in essa radicando la propria identità. Ma la cultura classica da sola risulta oggi modello insufficiente a rappresentare nella loro interezza le radici religiose e scientifiche del mondo attuale.

L'avvento della religione cristiana, infatti, mutava in profondità l'ecumene governata da Roma, e dalle macerie dell'impero nasceva un'Europa diversa che innestava la tradizione antica sul nuovo filone di una cultura cristiana e moderna, in quel Millennio medievale, che nella sua fase finale, tra XV e XVI secolo, darà vita alla rinascita dell'Umanesimo e all'apertura di nuove frontiere alla scienza moderna.

Dopo i durissimi conflitti ideologici e la tragedia delle dittature e delle guerre mondiali novecentesche, e dopo il fallimento delle esperienze politiche legate al marxismo-comunismo, si è costituita nel giro di pochi anni, a cavallo tra il secondo e il terzo millennio, una civiltà tecnologica che ha caratteri diversi dalla società borghese otto-novecentesca: non è infatti solo una società basata sul capitale, ma si fonda sulla tecnologia,

cioè su un sistema di accumulazione e comunicazione in tempi reali e in contemporaneità su tutti gli spazi possibili, che annulla il tempo e domina lo spazio, producendo il fenomeno della globalizzazione. In questo contesto di frontiera, che ha bruciato la continuità con il passato, emerge un disorientamento che esprime un bisogno collettivo profondo: l'esigenza cioè di ritrovare una radice comune più vicina e adeguata della classicità per potere ad essa riferire l'insieme dell'esperienza contemporanea.

Questo punto di riferimento appare riconoscibile proprio nel progetto culturale e formativo del Rinascimento europeo, in quanto equilibrio perfetto tra passato e futuro ed armonia dei saperi e dei poteri, svolta qualificante dalla quale nasce e si avvia l'epoca moderna, veicolando l'eredità e la tradizione classica da un lato nell'"umanesimo cristiano", dall'altro nello sviluppo di una scienza moderna, basata sul pensiero classico ma aperta ad una più ampia epistemologia. La poliedrica fisionomia del dotto rinascimentale si forma nella fucina di tutti i saperi, umanistici e scientifici, e ha come oggetto di studio l'uomo universale.

I mezzi con cui questa svolta culturale e politico-sociale poté imporsi e diffondersi furono fondamentalmente due: la nascita e lo sviluppo delle Università in Europa a partire dal XII secolo e l'invenzione di Gutenberg della stampa in Germania alla metà del XV, ambedue destinate a rimanere colonne fondanti della civiltà moderna per tutto il secondo millennio.

L'Università, un'istituzione culturale originalissima ed esclusiva dell'Occidente latino, nacque in un'Europa ancora di immagine medievale, a Parigi, Oxford, Padova, Bologna, con una caratterizzazione universale della comunità dei dotti, per cui i professori conseguivano lo *ius ubique docendi*, una sorta di libera docenza in tutto il territorio di lingua latina, che era la lingua universale della cultura. L'articolazione interna era inizialmente in quattro Facoltà: una basilare di Arti, propedeutica alle Facoltà superiori professionalizzanti, Diritto, Medicina e Teologia. Le Arti erano distinte secondo una bipartizione tra discipline umanistiche, dette arti del *Trivium* (grammatica, dialettica e retorica), e discipline scientifiche, dette arti del *Quadrivium* (matematica, geometria, astronomia, musica). Una bipartizione destinata a rimanere in buona sostanza invariata, nonostante il progetto epistemologico subisse poi vari ampliamenti e mutamenti, con l'arrivo della filosofia greco-araba, che comprendeva anche fisica e medicina, fondata prioritariamente sull'opera scientifica di Aristotele; in un secondo tempo, con la riforma degli *studia humanitatis* dell'Umanesimo; e infine in età moderna, con lo slittamento del dibattito culturale all'esterno dell'Università, nelle Accademie rinascimentali, che costituirono uno dei momenti fondanti della nascita della scienza moderna: basti pensare, per tutte, all'Accademia dei Lincei, nata nel 1603, di cui fece parte anche Galileo. L'Università ebbe comunque uno sviluppo costante e centrale per tutta la storia della società e della cultura moderna, con la grande Scuola Gesuitica, fino all'università Humboldtiana: fondata sulla civiltà classica e sullo studio delle sue lingue, ma aperta alle nuove esperienze scientifiche che si andarono via via delineando nel corso dei secoli, l'Università rappresenta la coscienza intellettuale dell'Occidente.

Vi si può riconoscere ancora oggi il principale punto di riferimento per l'irradiazione dei valori culturali universalmente in tutto il mondo civile, senza frontiere geografiche e linguistiche, essendosi mantenuto costante quel ruolo di proficuo scambio culturale di docenti e studenti che aveva caratterizzato sul nascere le università medievali con il fenomeno della mobilità intellettuale su tutto il territorio europeo (i cosiddetti *clerici vagantes*), oggi potenziato con l'organizzazione istituzionale di programmi di scambio allargati a tutto il mondo, che significativamente sono intitolati "Erasmus", "Leonardus", "Socrates".

Ciò costituisce l'applicazione perfetta di quella utopia dell'intellettuale come "cittadino del mondo", che cominciò ad essere prospettata da Dante, con una suggestiva metafora ripresa da Ovidio (*Fasti*, I, 493: «Omne solum forti patria est, ut piscibus equor»)<sup>2</sup>:

Nam quicumque tam obscene rationis est ut locum sue nationis delitiosissimum credat esse sub sole, hic etiam pre cunctis proprium vulgare licetur, idest maternam locutionem, et per consequens credit ipsum fuisse illud quod fuit Ade. Nos autem, cui mundus est patria velut piscibus aequor, quanquam Sarnum biberimus ante dentes et Florentiam adeo diligamus ut, quia dileximus, exilium patiamur iniuste, rationi magis quam sensui spatulas nostri iudicii podiamus. Et quamvis ad voluptatem nostram [...] in terris amenior locus quam Florentia non existat, revolvens et poetarum et aliorum scriptorum volumina quibus mundus universaliter et membratim describitur, [...] multas esse perpendimus firmiterque censemus et magis nobiles et magis delitiosas et regiones et urbes quam Tusciam et Florentiam, unde sumus oriundus et civis, et plerasque nationes et gentes delectabiliore atque utiliori sermone uti quam Latinos.

[Chiunque ha una mente così oscena da credere che il posto dove è nato sia il più delizioso sulla faccia della terra, costui privilegia anche la propria lingua materna al di sopra di ogni altra e crede che essa sia proprio quella di Adamo. Invece noi, a cui è patria il mondo come ai pesci il mare, benché abbiamo fin da piccoli bevuto l'acqua dell'Arno e amiamo Firenze tanto da soffrire ingiustamente l'esilio, giudicheremo secondo ragione. E benché per noi non esista al mondo luogo più caro di Firenze, tuttavia, leggendo i volumi dei poeti e degli scrittori che hanno descritto il mondo, [...] giudichiamo che esistono molte regioni e città più nobili e più amabili della Toscana e di Firenze, di cui siamo nativi e cittadini, e che molti popoli usano una lingua più bella e utile di quella degli italiani].

Un concetto che si affermò stabilmente nell'Umanesimo, da Petrarca (*Epistole metriche*, III, 19, 16: «incola ceu nusquam, sic sum peregrinus ubique») fino a Erasmo da Rotterdam (*Epistola a Zwingli*: «ego mundi civis esse cupio, communis omnium vel peregrinus magis»)<sup>3</sup>. La patria/mondo, paragonata al mare per i pesci e al cielo

2 *De vulgari eloquentia*, I, 6, 2-3, ed. M. Tavoni, in DANTE ALIGHIERI, *Opere*, dir. M. Santagata, I, Mondadori, I Meridiani, 2011, pp. 1172-7.

3 ERASMO DA ROTTERDAM, *Epistola a Zwingli* (Basilea, settembre 1522), nella quale Erasmo rifiu-

per gli uccelli, è la “repubblica delle lettere”: la cultura universale intesa come *humanitas*.

Il secondo, non meno importante mezzo di diffusione del modello culturale dell'Umanesimo fu l'invenzione della stampa: una vera e propria rivoluzione tecnologica basata sull'invenzione dei caratteri mobili e di quella *ars* tipografica che innovò totalmente il sistema di trasmissione e riproduzione del libro, fino ad allora manoscritto, nell'Europa della seconda metà del Quattrocento. La stampa crebbe e sviluppò le proprie risorse, sostituendo e facendo gradualmente tramontare il sublime ma elitario artigianato degli amanuensi e dei codici manoscritti, e diffondendo la comunicazione culturale per tutta l'area europea con una velocità e una simultaneità mai esistita e in nessun modo immaginabile per l'intero arco della tradizione classico-medievale. Si trattò in definitiva di un evento tecnologico sfociato in una vera e propria globalizzazione culturale, che segnò una svolta epocale, storicamente paragonabile solo alla rivoluzione informatica che ha scosso dalle fondamenta il sistema di comunicazione culturale della società contemporanea alla fine del XX secolo, segnando l'avvento di una vera e propria *aetas* informatica.

Ma la rivoluzione tipografica del XV secolo, anche se ebbe importanti ricadute materiali ed economiche, non prevaricò mai sulla propria matrice umanistica. Il programma epistemologico umanistico-rinascimentale, infatti, per cui tutte le scienze e tutte le arti ricercano armonicamente l'ideale dell' “uomo universale”, era ugualmente bipartito fra le due culture, umanistica e scientifica: fra gli *studia humanitatis* di ciceroniana memoria, poi allargati alle sette arti liberali, incentrate sull'uomo e sul mondo umano, da un lato, e gli studi di filosofia naturale e scienza, centrati sull'universo della natura, dall'altro. Ma l'istruzione intera nel suo complesso era concepita come *humanitas*, secondo la lucida definizione di uno dei primi maestri della scuola umanistica, Coluccio Salutati, che ne spiegava così l'etimologia:<sup>4</sup> «*cum homini proprium sit doceri et docti plus hominis habeant quam indocti, convenientissime prisci per humanitatem significaverint et doctrinam*» [Dato che l'apprendimento è una caratteristica dell'uomo e che le persone istruite sono più umane di quelle ignoranti, gli antichi definivano giustamente tutta l'istruzione nel suo complesso *humanitas*].

E ancora Leonardo Bruni, storico e politico tra i più importanti del primo Umanesimo fiorentino, linguista e raffinato classicista, traduttore dei filosofi greci e teorico della moderna traduzione letteraria, spiegava l'etimologia degli studi umanistici con la significativa ragione «*propterea studia humanitatis nuncupantur, quod hominem perficiunt*» (*Epist.* VI, 6): perché formano e costruiscono l'uomo.

L'esempio più perfetto di questa armonica *polumathia*, che recupera la tradizione

---

ta l'invito dell'amico con questa motivazione: «*habeo summam gratiam pro tuo tuaeque civitatis in me affectu; sed ego mundi civis esse cupio, communis omnium vel peregrinus ubique*». Cfr. ed. P.S. Allen, *Opus epistolarum Des. Erasmi Roterodami*, V, Oxford 1992, *Ep.* 1314, p. 129, 2.

<sup>4</sup> COLUCCIO SALUTATI, *Epistola a Carlo Malatesta, Signore di Rimini*, 10 settembre 1401: ed. F. Novati, *Epistolario di Coluccio Salutati*, III, Roma 1896, *Ep.* XII, 8, p. 536.

degli studi classici e apre alla trasformazione della società e della scienza moderna, è Leon Battista Alberti, architetto, pittore, scultore, filosofo, oratore, linguista e letterato, che già alla metà del XV secolo prefigura il genio rinascimentale di Leonardo da Vinci, con profonda consapevolezza del nesso profondo fra scienza e arte, fra letteratura e filosofia morale. La più bella metafora di questo umanesimo integrale la disegna proprio Alberti nelle sue *Intercoenales (Picturae)*, immaginando così la pittura della *Mater Humanitas*:<sup>5</sup>

Loco primo mira imago adest pictae mulieris, cui plurimi variique unam in cervicem vultus conveniunt: seniles, juveniles, tristes, iocosi, graves, faceti et huiusmodi. Complurimas item manus ex iisdem habet humeris fluentes, ex quibus quidem aliae calamos, aliae lyram, aliae laboratam concinnamque gemmam, aliae pictum excultumve insigne, aliae mathematicorum varia instrumenta, aliae libros tractant. Huic superadscriptum nomen: 'Humanitas Mater'.

[Al primo posto c'è l'immagine di una donna dall'aspetto incredibile. Ha un'unica testa, ma in essa confluiscono diverse facce: senili, giovanili, tristi, allegre, gravi, facete e simili. Ha due spalle, ma da esse discendono parecchie mani: alcune impugnano penne, altre una lira; altre gemme cesellate con eleganza, altre un emblema dipinto o scolpito, altre svariati strumenti matematici, altre libri. Al di sopra di lei è scritto il suo nome: 'Madre Umanità'].

Così egli poteva coniare la formula *cogitare manibus* ('pensare con le mani') e perseguire le più alte acquisizioni culturali senza perdere il gusto e il contatto con l'opera artigianale e con le arti meccaniche, fino ad allora marginalizzate dall'alta cultura universitaria. Alberti le recupera e le immette nei circuiti della dottrina umanistica, retorica, filosofica, fornendo le prime trattazioni teoriche delle scienze e delle arti moderne (architettura, pittura, scultura, matematica, cartografia, archeologia, antiquaria) e i relativi lessici tecnici specifici, sulla base dell'eredità classica, come dichiara nella dedica al grande architetto Filippo Brunelleschi nel trattato *Della pittura*.<sup>6</sup>

Ma per tutte queste moderne professioni Alberti prevede una formazione propedeutica che sia al contempo rigorosamente scientifica e specialistica ma anche largamente finalizzata a costruire una figura di intellettuale dotto: il pittore, lo scultore, l'architetto, il matematico devono essere dotti in tutte le arti liberali, leggere i poeti, gli oratori e i filosofi, leggere i classici antichi, e al contempo riconoscere le ragioni e l'ordine delle cose nella natura, attraverso la geometria e la matematica, ma senza perdere i contatti con l'etica e la politica del mondo moderno, cioè con gli *studia humanitatis*.

La formazione culturale di Alberti avviene infatti in contatto di fecondo scambio con letterati e filosofi dell'avanguardia umanistica, ma anche con scienziati come Paolo

5 LEON BATTISTA ALBERTI, *Intercenali inedite*, ed. E. Garin, "Rinascimento", IV (1964), pp. 125-258, part. p. 131.

6 LEON BATTISTA ALBERTI, *Della Pittura*, ed. L. Mallé, Firenze 1950, pp. 53-54; LEON BATTISTA ALBERTI, *Opere volgari*, ed. C. Grayson, Bari, Laterza, III, 1973.

dal Pozzo Toscanelli e artisti, come Filippo Brunelleschi, Donatello, Masaccio. Per questa via egli poteva teorizzare le scoperte tecniche degli iniziatori del nuovo modo di costruire, scolpire, dipingere, ma anche elaborare una nuova concezione dell'artista universale, costruttore di un cosmo in cui l'uomo è inserito, e pertanto espressione più completa e alta della civiltà, in quanto raccoglie in sé tutto: scienza, concezione del mondo, poesia, morale, politica.

Basti pensare al rinnovamento tecnico delle arti figurative quattrocentesche, che si colloca a metà strada fra perpetuazione di modelli antichi e innovazione scientifica. La rivoluzionaria scoperta della prospettiva, effettuata nel circolo di Brunelleschi, Masaccio e Alberti grazie all'applicazione alle arti figurative della geometria euclidea e dei principi della scienza ottica, è perfezionata poi da Piero della Francesca e Leonardo da Vinci.

Ma è soprattutto l'architettura, strettamente connessa con l'ingegneria e l'urbanistica, la scienza che qualifica in senso moderno e completo la civiltà rinascimentale, con nuove figure professionali di artisti-architetti-ingegneri come Filippo Brunelleschi e Alberti. Il trattato *De re aedificatoria* di Alberti innalza l'architettura a centro e punto di riferimento di ogni attività umana: l'uomo è da natura portato a edificare, ed è proprio la sua capacità costruttiva che ha modificato e modificherà sempre il mondo. D'altra parte, i mutati contesti ambientali e socio-politici del mondo moderno richiedevano nuove soluzioni di gestione degli spazi pubblici e privati, che tenessero sempre presente i modelli classici e la perfezione delle forme raggiunta dai monumenti antichi, insieme al metodo scientifico moderno di progettazione di palazzi, chiese, piazze e città basato su un organico insieme di regole matematiche e geometriche.

L'archeologia, la filologia e l'ingegneria furono utilizzate da Alberti per studiare i monumenti antichi, sia direttamente che sulla scorta delle fonti letterarie. Importanza fondamentale ebbe Vitruvio, il cui trattato *De architectura*, perduto nel medioevo, fu riscoperto all'inizio del XV secolo nel Monastero di Montecassino e immesso vorticosamente nel circuito culturale, fino a passare alla stampa già nel 1486 ed essere poi tradotto in tutte le lingue nazionali. Alberti studiava l'urbanistica della città di Roma, rilevando scientificamente nella sua *Descriptio urbis Romae* una pianta di Roma classica e moderna «ex mathematicis instrumentis», cioè con gli strumenti congiunti della cartografia e dell'antiquaria. E proprio da Vitruvio Alberti riprendeva la concezione dell'architettura come scienza esatta basata sulle regole matematiche, per cui la bellezza di un edificio risultava dall'integrazione razionale delle sue proporzioni. Teorizzava l'esperienza di frontiera di Brunelleschi e inaugurava una moderna figura sociale dell'architetto-artista, che progetta creativamente e matematicamente, per eguagliare l'armonia e l'inventività della natura; proponeva un'architettura razionalista che privilegiava la funzionalità dei singoli edifici, pubblici e privati, e la loro connessione con la natura, secondo una linea oggi più che mai attuale. In una tale prospettiva di razionalismo scientifico ricadeva anche la revisione dell'architettura sacra, per cui la chiesa ideale veniva ricondotta da Alberti alle forme archetipiche del tempio classico pagano. Un progetto fattivamente realizzato dall'architetto-filosofo nel Tempio Malatestiano per il Signore di Rimini,

Sigismondo Pandolfo Malatesta: la facciata della chiesa è per la prima volta ispirata alle forme dell'arco di trionfo e degli acquedotti romani, un mirabile esempio del dialogo tra ideali estetici dell'antichità classica e valori spirituali cristiani.

La rinascita moderna dell'architettura come scienza completa dell'uomo operata da Alberti fu compresa a pieno già dagli umanisti contemporanei: l'umanista fiorentino Ugolino Verino lo giudicava non minore di Euclide e superiore anche allo stesso Vitruvio;<sup>7</sup> il grande storico e geografo Biondo Flavio lo definiva «geometra nostri temporis egregius», nel senso di matematico e fisico, dato che la geometria è «pars physicae» per gli antichi (Plinio, Virgilio, Quintiliano, Varrone), ma anche nell'accezione tipicamente vitruviana di architetto-ingegnere (cfr. Vitruvio I, 1, 3: «architectus est eruditus geometria»). Significativa appare in tal senso la visualizzazione simbolica della professionalità e della cultura di Alberti nel ritratto dell'autore, splendidamente miniato nel frontespizio del manoscritto estense di dedica del *De re aedificatoria*,<sup>8</sup> e raffigurato con in mano un pennello e un compasso, simboli della sua poliedrica teoria e prassi della pittura, della matematica, della geometria e della architettura.

Un episodio che bene illustra quanto intensa fosse la sinergia tra saperi scientifici e umanistici nel Rinascimento è il tentativo compiuto da Alberti, patrocinato dal cardinale Prospero Colonna, di recupero archeologico di due relitti navali di epoca romana, sommersi nelle acque del lago di Nemi, non distante da Roma, con la partecipazione dello storico Biondo, che ne lasciò dettagliata testimonianza nell'*Italia illustrata*, sottolineando il *versatile ingenium* dell'umanista:<sup>9</sup>

Quare vir ipse [Prospero Colonna], bonarum artium studiis et in primis historiae deditissimus, nec minus vetustatis indagator curiosissimus, quid magnae naves parvo et altissimis undique circumdato montibus in lacu ibi induissent nosse animum adiecit, nosterque Leo Baptista Albertus, geometra nostri temporis egregius, qui De re aedificatoria elegantissimos composuit libros, ad id operis est vocatus.

[Il famoso cardinale Prospero Colonna, esperto conoscitore di storia e appassionato cultore di antichità, volendo svelare il mistero di due grandi navi collocate dagli antichi Romani nel piccolo lago di Nemi, si rivolse a Leon Battista Alberti, famoso architetto dei nostri tempi, il quale compose gli elegantissimi libri dell'Architettura].

7 UGOLINO VERINO, *De illustratione urbis Florentiae*, III, 110: «nec minor Euclide est Albertus; vincit et ipsum Vitruvium».

8 Modena, Biblioteca Estense, ms. Lat. 419; ma cfr. anche il ms. di Olomuc [Moravia], Biblioteca Capitolare, CO. 330; e l'*editio princeps* del *De re aedificatoria*.

9 Cfr. BIONDO FLAVIO, *Italia illustrata, regio tertia, Latina*, ed. Froben, Basileae 1559, p. 326E; BIONDO FLAVIO, *Italy illuminated*, I (books I-IV), edited and translated by J. A. White, Cambridge (Mass.) – London, Harvard University Press, 2005, *liber II, Regio tertia. Latina*, 47, p. 190. In proposito si veda P. PONTARI, *Alberti e Biondo: archeologia a Nemi*, in *Alberti e la cultura del Quattrocento*, Atti del Congresso internazionale (Firenze, 16-18 dicembre 2004), edd. R. Cardini - M. Regoliosi, Firenze, Polistampa, 2007, pp. 495-539.

Non disponendo di mezzi tecnici idonei, Alberti si servì di una squadra di palombari specializzati, chiamati appositamente da Genova per verificare la posizione e lo stato di conservazione dei relitti, e studiò un complesso sistema ingegneristico per il recupero delle navi, costituito da zattere galleggianti su cui poggiavano delle enormi carrucole. L'impresa riuscì solo parzialmente, ma mostrò la scienza ingegneristica di Alberti: il brandello di nave riportato a riva ed altri materiali archeologici rinvenuti nei fondali gli permisero di scrivere un trattatello sull'ingegneria navale antica e moderna, dal titolo *Navis*.

Il ritratto più completo di questo nuovo ruolo dell'intellettuale è fornito da Bartolomeo Facio, in un importante trattato di storia della società e della cultura del XV secolo, il *De viris illustribus*, che inquadra la complessa figura di Alberti nell'ambito di tutte le categorie intellettuali e sociali della società rinascimentale (poeti, oratori, giuristi, medici e filosofi, pittori e scultori, signori, condottieri, principi e re):<sup>10</sup>

Baptista Albertus florentinus non eloquens modo, verum et ad omnes reliquas liberales artes natus videtur. Eloquentiae ac philosophiae mathematicas addidit. Picturae studiosus ac doctus de artis ipsius principiis librum unum edidit. Scripsit et De architectura libros duos, alios item duos quos *Intercoenales* inscripsit.

[Battista Alberti fiorentino non è solo eloquente, ma sembra proprio nato per tutte le altre arti liberali, e anzi aggiunge all'eloquenza e alla filosofia anche la matematica. Appassionato ed esperto di pittura, ha pubblicato un trattato sulla teoria dell'arte pittorica e dell'architettura, e i libri di letteratura e filosofia *Intercoenales*].

Significativo in tal senso l'autoritratto di Alberti di profilo, idealizzato all'antica su medaglia di Matteo de' Pasti, che nel verso raffigura in una corona d'alloro il suo famoso emblema, l'occhio alato, simbolo dello sguardo indagatore dell'uomo universale e dello scienziato, che vola alto sopra tutte le cose del mondo e dell'universo, interrogando la natura con il motto «Quid tum?».

Era nata così alle soglie dell'età moderna una nuova professione intellettuale di alto profilo sociale, quella dell'architetto ingegnere progettista, che è rimasta centrale fino alla società odierna. Essa si afferma nel Cinquecento grazie ai trattati teorici di Sebastiano Serlio, che era stato assistente di Raffaello, e di Andrea Palladio, che diffusero la teoria vitruviana e albertiana dell'architettura in tutta Europa e imposero nel mondo sia uno stile architettonico sia anche la nuova parola 'architetto', presente nel XVI secolo in tutte le lingue moderne. Nel momento in cui si afferma la nuova architettura anche per gli edifici pubblici nasce la figura dell'architetto ufficiale del re: Serlio era noto in Francia come *architecte ordinaire du roi*, mentre contemporaneamente, a

10 Cfr. BARTOLOMEO FACIO, *De viris illustribus (De oratoribus, Baptista Albertus Florentinus)*, ed. L. Mehus, Firenze 1745, p. 13; edizione critica e commento del passo in G. ALBANESE, *Leon Battista Alberti nella storiografia letteraria e artistica dell'Umanesimo e del Rinascimento*, "Rinascimento", s. II, XLVII (2008), pp. 49-91, part. p. 57.

metà secolo Pierre Lescot venne incaricato della realizzazione del palazzo del *Louvre*, che avrebbe dovuto ospitare Francesco I. Lo spagnolo Juan de Herrera, *architecto de su Magestad*, progettava e costruiva il *Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial* per Filippo II. A Firenze Cosimo de' Medici commissionò la *Galleria degli Uffizi* al Vasari per ospitare la sua vasta collezione d'arte. A Venezia il Sansovino progettava la *Biblioteca Marciana*, definita da Palladio "l'edificio più ricco e sontuoso dai tempi dell'antichità". E lo stesso Palladio progettava a Vicenza la *Basilica*, cioè il Municipio, il *Teatro Olimpico*, *Palazzo Chiericati*, e la celebre serie di ville per i patrizi veneziani (come *Villa Barbaro di Maser*, commissionata da Daniele Barbaro, editore di Vitruvio), che diffusero in tutto il mondo il tipico modello dell'architettura palladiana, ispirata ai templi e alle terme romane. Ma sono anche rilevanti i primi esempi cinquecenteschi della nuova architettura applicata alle Università. Due esempi per tutti: l'imponente facciata della *Università di Alcalà*, e la costruzione del primo moderno centro di ricerca scientifica sull'isola di Hven, tra Danimarca e Svezia, *Uraniborg*, voluta da Federico II per l'astronomo Tycho Brahe, progettata come una vera e propria città di studi ideale, un prototipo di politecnico di stile utopico rinascimentale, incastellato in una razionale pianta architettonica di giardini e mura di cinta con al centro uno splendido palazzo dotato di biblioteca e laboratori e il celebre osservatorio di *Stjerneborg*, per il quale Brahe commissionò una "galleria di uomini illustri" con i ritratti di astronomi famosi, compresi Tolomeo, Copernico e lo stesso Brahe.

La progettazione urbanistica doveva, infatti, creare nuovi canoni per la costruzione della città moderna tenendo conto di esigenze pratiche nuove e del rapporto con il contesto ambientale e socio-politico della corte nell'Italia delle Signorie: nasce così la città ideale, come progetto utopico condiviso del dotto umanista-architetto e del Principe o Papa illuminato.

L'esempio teorico più completo è offerto dal più importante continuatore di Brunelleschi e Alberti, Antonio Averlino, detto il Filarete, architetto ufficiale del Duca di Milano, Francesco Sforza, e ingegnere della fabbrica del Duomo di Milano, che nel suo *Trattato di architettura*, più volte tradotto nell'Europa del Rinascimento, lasciò il progetto della città ideale *Sforzinda*, dedicata al suo Signore, da cui prendeva nome: una città con pianta concentrico-radiale a forma di stella a otto punte, ispirata a criteri di geometrismo razionalista e al contempo a un ricercato simbolismo astrologico, che avrebbe avuto molta fortuna per tutto il secolo, anche nella pittura. Basti pensare a celebri raffigurazioni pittoriche della 'città ideale', come quelle conservate a Urbino, Baltimora e Berlino. Francesco di Giorgio Martini alla fine del Quattrocento unificherà la problematica architettonica civile e militare nel suo *Trattato di architettura civile e militare*, offrendo con la Rocca di San Leo (Montefeltro, Urbino) il più alto esempio di architettura militare.

La realizzazione pratica più famosa dell'utopia della città ideale fu realizzata in Toscana su committenza di un grande papa umanista, Enea Silvio Piccolomini, Pio II, con la trasformazione del paese natio di Corsignano (Siena) nella rinascimentale

Pienza su progetto di due grandi architetti-filosofi, Leon Battista Alberti e Bernardo Rossellino. E veri e propri piani regolatori ideali diedero forma alla ristrutturazione di altre città-stato umanistiche, residenza delle corti di dotti mecenati, come la Urbino di Federico da Montefeltro e la Ferrara di Borso ed Ercole d'Este.

Era l'affermazione più completa e perfetta dell'umanesimo di Alberti, secondo cui architettura, arte di governo e ordine della famiglia vengono a convergere nella 'città ideale', descritta nella sua struttura fisica nel IV libro del *De re aedificatoria* come *domus-civitas*, e definita nella sua dimensione morale nei libri *Della famiglia* e *De ierarhia* come *famiglia-società*: «civitas maxima quaedam est domus, et contra domus ipsa minima quaedam civitas» ("la città è come una grande casa, la casa è come una piccola città"). Il trattato *Della famiglia*, uno dei più alti testi etici di tutte le letterature, valuta la famiglia come il nerbo della società e considera nella sua totalità la vita umana nell'equilibrio delle virtù sociali, di città ordinate come antiche, sagge, prudenti famiglie, all'insegna di un ideale di misura che è di origine aristotelica, ma si trasfigura in un'armonia platonico-pitagorica. Quella *harmonia mundi* che sarà la cifra distintiva di tutto l'Umanesimo, scientifico, artistico e storico-letterario: la *concordia discors* del mondo poetico perfetto di Ludovico Ariosto, la teoria della "armonia dello stato" del teorico della politica Jean Bodin, il trattato *Harmonice mundi* con cui l'astronomo Keplero applicava il concetto scientificamente all'ordine dell'universo. La sintesi di questa cultura è coesa come l'acciaio e non ammette fratture: una sola unica realtà è considerata nei suoi aspetti e funzioni molteplici, senza che si perda mai il nesso unitario.

È questa la lezione più importante dell'Umanesimo, che determina e genera le grandi esperienze degli scienziati rinascimentali, geni poliedrici capaci di abbracciare la totalità della natura, dell'arte e della filosofia, gettando le basi dei saperi scientifici moderni in perfetta coesione con una consapevole riflessione etica, politica, sociale e culturale. L'emblema universale si può indicare in Leonardo da Vinci, ingegnere civile e militare, artista, pittore, scultore, architetto, che polemicamente si dichiarava "omo senza lettere", ma in realtà profondamente cercava l'incontro tra scienza, lettere e arte. Nei 7000 fogli manoscritti, lasciati in eredità all'allievo Francesco Melzi, appunti, trattati *in nuce*, disegni, scoperte, favole e facezie compongono il progetto di una grande enciclopedia della scienza e della tecnica moderna, il cui centro ideale è la "scienza del pittore", come Leonardo la chiamava, che coordina ogni altra scienza e filosofia, la totalità delle cose e il loro nesso segreto. Al trattato della pittura infatti sono finalizzate le sezioni relative all'anatomia umana e animale, alla botanica, alla matematica, all'ottica e alla prospettiva, alla fisica, con gli studi sulla forza, sul moto e sul peso, che si sviluppano ulteriormente nella meccanica, nelle ampie sezioni e disegni del libro della scienza delle macchine. Un immenso sforzo di rendere ragione del tutto, che successivamente avrebbe dato vita al genere delle enciclopedie universali, dal Rinascimento all'Illuminismo fino ad oggi.

Ma l'elemento di spicco dell'enciclopedia della scienza di Leonardo sta nell'intuizione della potenza universalizzante delle arti figurative, rivolta all'intera umanità in

un discorso veramente ‘universale’. Al centro di questa filosofia sta una figura titanica e demiurgica di scienziato-artista che ha come prerogative principali la creatività e la comunicazione; con il suo sapere scientifico interpreta la natura e scopre le sue leggi segrete e con la sua tecnica artistica ricrea il mondo e lo rappresenta per i suoi simili, secondo la teoria esposta nel *Trattato della pittura*:<sup>11</sup> «se il pittore vuol vedere bellezze che lo innamorino, egli ne è signore di generarle; e se vuol vedere cose mostruose, che spaventino o commuovano, egli ne è signore e dio. E in effetti ciò che è nell’universo per essenza, presenza o immaginazione, egli lo ha prima nella mente e poi nelle mani; e queste sono di tanta eccellenza, che in pari tempo generano una proporzionata armonia in un solo sguardo con cui ricreano le cose.»

In questa linea della cultura di avanguardia dell’Umanesimo, aperta da Alberti e Leonardo, si inserisce anche la riforma delle scienze fisiche e il perfezionamento delle tecniche legate alle nuove professioni, che aprono nuovi orizzonti geografici e nuove frontiere.

La scienza della navigazione e l’ingegneria navale soprattutto progredirono rapidamente tra XV e XVI secolo, grazie al perfezionamento delle tecniche di costruzione delle navi e dei principali strumenti in uso per la navigazione, come la bussola e l’astrolabio, una sfera armillare che letteralmente ‘cercava le stelle’, vero e proprio computer del Rinascimento. Tutto ciò, insieme ai progressi della cartografia, aprì le porte all’epoca delle grandi esplorazioni geografiche di Spagnoli e Portoghesi e alla scoperta del “nuovo mondo” e delle diverse civiltà delle Americhe. Le città delle grandi popolazioni indigene del Centro e Sud America furono elemento di vero stupore per i *conquistadores* giunti dalla Spagna con preconcetti di superiorità culturale. L’architettura precolumbiana, maya, azteca e inca, razionale e imponente, risultava per questo molto simile alla tipologia delle città ideali umanistiche: Machu Picchu, Chitzen Itza, Tenochtitlan apparivano espressione concreta di un sistema culturale complesso e raffinato, ma assolutamente estranee rispetto alle rovine romane, alle cattedrali gotiche, ai palazzi rinascimentali del Vecchio Continente.

Ultima frontiera della ‘rinascita’ umanistica fu la riforma delle scienze naturali, dell’astronomia, con Copernico, Keplero e Galilei; della chimica, con il tedesco Andrea Libavio; e della medicina, con Vesalio e Paracelso: i filosofi naturali del Rinascimento, come allora venivano denominati, dato che la parola ‘scienziato’ appartiene al lessico del XIX secolo. In quanto filosofi, essi inseriscono i loro studi, le ricerche e le scoperte scientifiche nel sistema di pensiero e dibattito dialettico delle scienze umane; in quanto scienziati, progrediscono sulla base dell’autorevole scienza antica verso nuove e più avanzate frontiere della scienza moderna, anche correggendo o contraddicendo gli antichi, in una parola superandoli. Così, le Università venivano a costituire il naturale bacino di formazione e di incubazione della “scienza nuova”, e i dotti moderni si consideravano, per usare una metafora molto fortunata nell’Umanesimo, “nani sulle spalle dei giganti”,

11 LEONARDO DA VINCI, *Trattato della pittura*, ed. H. Ludwig, in *Leonardo “omo senza lettere”*, a cura di G. Fumagalli, Firenze 1938, p. 37.

capaci grazie proprio alla sinergia con l'antichità di salire più in alto e vedere più lontano. Per questo la fondazione delle scienze moderne venne considerata privilegiatamente come una *renovatio* del corrispondente dominio disciplinare dell'antichità.

L'astronomo tedesco Regiomontano, che studiò Tolomeo sul testo greco originale, e Copernico furono definiti restauratori della scienza astronomica, e il grande umanista luterano Filippo Melantone poteva affermare: «*renata est haec philosophia de rebus coelestibus*» (la filosofia celeste, cioè l'astronomia, è ora rinata). E Andrea Vesalio di Bruxelles, medico personale dell'imperatore Carlo V e professore di anatomia nelle Università di Padova e Pisa, a metà del secolo XV ebbe il coraggio di correggere le tesi anatomiche di Galeno, elaborate sulla dissezione di scimmie e non di corpi umani, e anche di confutare lo stesso Aristotele con la pubblicazione del suo rivoluzionario trattato *De humani corporis fabrica* (Basilea 1555), in cui presentava il suo lavoro all'imperatore come un contributo alla rinascita della medicina:

Vetus medicina a pristino decore ante plures annos descivit. Porro cum illa iam pridem in tanta huius saeculi (quod tuo numine prudenter moderari volunt superi) felicitate cum omnibus studiis ita reviviscere atque a profundissimis tenebris caput suum erigere coepisset, ut veterem candorem citra controversiam in nonnullis Accademiis propemodum recuperasse videretur nihilque illa impensius adhuc desideraret, prorsus emortuam humani corporis partium scientiam [...] et medicinam prospere renasci vidimus.

*[Già da molti anni l'antica medicina è decaduta dall'antico splendore. In questa età fortunata (che saggiamente gli dei hanno voluto affidare al tuo governo) la medicina, come tutte le altre discipline, sta iniziando a rivivere e a rialzare la testa dalle oscure profondità in cui era stata cacciata, di modo che sembra che abbia recuperato il suo antico splendore in molte Accademie e che non abbia niente da desiderare ora: assistiamo ora a una grande rinascita dell'anatomia, che era quasi morta, e della medicina].*

Con la caduta dell'impero romano, infatti, il progresso della scienza medica si era arrestato o addirittura era regredito: nell'alto medioevo la preghiera era divenuta il più prezioso dei farmaci e solo a partire dal XIII secolo la cultura araba aveva cominciato a recuperare il sapere medico greco con i contributi di grandi medici-filosofi, come Averroè, che confluirono nella gloriosa Scuola medica Salernitana, primo esempio di scuola universitaria d'avanguardia. L'Umanesimo opera un recupero più completo e filologico della produzione medica classica, evidenziandone il profondo legame con lo sviluppo del pensiero filosofico e religioso, fin dalle più antiche radici: dal primo medico greco Asclepio (Esculapio per i Romani) al più celebre Ippocrate, che aveva unito a una teorizzazione del sapere scientifico e a una visione deontologica della pratica medica una superiore visione filosofico-religiosa, per cui la conoscenza del corpo è in connessione con la natura del tutto, quale corrispondenza fra macrocosmo e microcosmo; fino ai latini Celso e Galeno, che sostanziarono la metodologia clinica di Ippocrate con la filosofia di Aristotele.

E dunque anche per la medicina, come per le altre scienze, il Rinascimento rappresenta il secolo della rinascita, specie degli studi di Anatomia: le prime cattedre di Anatomia furono infatti attivate nelle Università di Padova e Pisa da Vesalio e dal suo allievo Realdo Colombo. La rinascita avvenne ad opera di scienziati come Vesalio, Falloppio, Ingrassia, Fracastoro, che fu anche un grande infettivologo, e soprattutto Paracelso (1493-1541), medico, astrologo, alchimista, che in contrasto con Galeno fu il primo a spiegare chimicamente fenomeni fisiologici, sempre contestualizzando la scienza medica nel macrocosmo della natura e considerando l'uomo nella sua totalità.

Anche la rinascita dell'astronomia fu operata in base a nuove scoperte tecnologiche che segnarono una svolta epocale nella conoscenza dell'universo. L'invenzione del 'cannocchiale' permise a Galileo sconvolgenti scoperte attraverso le prime osservazioni telescopiche: dai rilievi lunari, alle macchie solari, ai satelliti di Giove, rese note nello straordinario *Sidereus nuncius*. Queste sconvolgenti novità causarono conseguentemente un teso e aspro dibattito sui sistemi del mondo, ossia sulla lettura e relativa rappresentazione dell'universo noto, coinvolgendo l'intero sistema epistemologico dell'Europa moderna. Galileo rappresentò nel suo *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* il confronto tra le tre visioni cosmologiche in contrasto: quella tradizionale di Tolomeo, geocentrica e geostatica, basata cioè sulla centralità e immobilità della terra, sostenuta dalla filosofia aristotelica; quella di Copernico, eliocentrica, che alla metà del XVI secolo ribaltava la tradizione classico-aristotelica, asserendo la mobilità della terra e l'immobilità del sole, difesa da Keplero e Galileo; e quella proposta da Tycho Brahe nel 1577, che poneva ancora la terra immobile al centro dell'universo, con il sole che le ruota attorno, circondato dai pianeti e dalle comete orbitanti attorno ad esso. Il dibattito esulò dall'ambito scientifico e coinvolse l'autorità ecclesiastica e il tribunale del Santo Uffizio, che condannò Copernico e Galileo. La cultura scientifica cristiana, rappresentata dalla prestigiosa istituzione gesuitica del Collegio Romano, prese posizione sostenendo la posizione di Tycho Brahe e la teoria delle comete, per bocca del matematico gesuita Orazio Grassi.

La rigorosa critica di Galileo, pubblicata nel famoso libello *Il Saggiatore*, sancì la condanna definitiva non solo del sistema ticonico, ma anche del principio dogmatico nella scienza, nel cui ambito vale solo la conoscenza razionale e matematica, perché in tale lingua è scritto il libro della natura:<sup>12</sup> «*la filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non si impara a intenderne la lingua, e conoscere i caratteri nei quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri sono triangoli, cerchi e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne agli uomini la parola; senza questi mezzi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto*». Galileo riprende la metafora medievale del "liber naturae", secondo la quale Dio si rivela all'uomo in due libri, le Sacre Scritture e il libro della natura, ma sana l'opposizione tra scienza laica e fede religiosa, affermando

12 Cfr. GALILEO GALILEI, *Il Saggiatore*, 6, 36-37, ed. Besomi, Padova, Antenore, 2005, pp. 119-20.

risolutamente che l'oggetto proprio e più alto della filosofia è il libro della natura, opera di Dio; che l'opera di Dio è maggiormente visibile nella costituzione dell'universo, la cui comprensione scientifica, con gli strumenti della matematica e della fisica, rappresenta perciò per l'uomo la più alta conoscenza filosofica. Era la stessa posizione di Keplero, che subito dopo sarà ripresa nella filosofia della scienza di Campanella, che scrisse la bellissima e coraggiosa *Apologia di Galileo*.

Nel Rinascimento e oltre il Rinascimento, si ricomponivano, dunque, in dialettica concordia, i saperi scientifici e i saperi teologici, la parola e i numeri, le lettere e le scienze, la filologia e la filosofia, la libera ricerca e la tradizione cristiana. Erasmo da Rotterdam, il grande umanista cristiano, raccoglieva e recuperava dall'ardita lezione della scienza e della filologia laica tutto quello che poteva stare in equilibrio con la più illuminata tradizione cristiana, offrendo il modello della conciliazione degli opposti alle civiltà a venire.

È indispensabile dunque ripristinare questo modello culturale di un sapere circolare e integrale, in cui si esprime anche una visione completa del mondo e della *humanitas*, in questa nostra era tecnologica e postideologica, nella quale il sapere si scompone in molteplici e chiusi specialismi e il cammino dell'uomo non somiglia più a un circolo, dove principio e fine in un punto coincidono, bensì ad una linea, diretta non si sa da chi e verso dove. La nascita di nuove scienze, la bioetica, la biopolitica, le biotecnologie, che rapportano alla struttura fisica dell'uomo le scienze tradizionali, testimonia la necessità di un "nuovo umanesimo", come di recente lo ha definito Edgar Morin, e di una "nuova laicità", per dare le risposte che scienza e tecnologia da sole non possono dare, e armonizzare i rapporti tra cultura, religione, stato e una società civile ormai multietnica.

Per questo è consentito individuare proprio nella scuola un forte elemento di continuità fra la secolare tradizione dell'Umanesimo e l'era della globalizzazione, ed uno dei principali fattori di stabilità e pace fra i popoli, in quanto promotore di processi culturali che allontanano ogni tentazione di isolamento e di violenza e riconducono le più diverse identità a comuni referenti culturali della storia pregressa. In tal senso si può interpretare costruttivamente il concetto di globalizzazione come capacità aperta e collaborativa dell'uomo a tutte le sfere di attività, civile, politica, religiosa, umanistica e scientifica, finalizzata all'adattamento e alla creatività, alla partecipazione alla società civile in qualità di cittadino libero e consapevole dei suoi diritti-doveri.



---

## DAI LIBRI AL CANNOCCHIALE: GALILEO, IL RINASCIMENTO E LA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA<sup>1</sup>

GABRIELLA ALBANESE

*Università di Pisa*

Nel 2009 tutto il mondo ha celebrato il IV centenario dell'invenzione del telescopio astronomico, costruito nel 1609 dal grande scienziato pisano Galileo Galilei, che con l'impiego del nuovo strumento per l'osservazione del cielo pervenne a straordinarie scoperte sul sistema cosmico dell'universo, aprendo la via alla scienza moderna e alle esplorazioni spaziali. L'*International Council of Science of United Nations* ha proclamato il 2009 "International Year of Astronomy", per rendere omaggio all'innovazione dei saperi e del metodo scientifico del 'genio universale' di Galileo.

Gli studi condotti a Pisa, dove Galileo nacque nel 1562 da una nobile famiglia fiorentina, e dove si formò e insegnò nella prestigiosa Università che qui oggi rappresento, lo condussero alla formulazione di rivoluzionarie scoperte sulle leggi del moto (attraverso esperimenti sulla 'caduta dei gravi nel vuoto' condotti nel Duomo e dalla torre di Pisa) e alla fondazione della meccanica e dell'astronomia moderna, per la quale ebbe un ruolo determinante il nuovo strumento, il *perspicillum* o 'occhiale', poi denominato 'cannocchiale' o 'telescopio', di cui si conserva oggi l'esemplare originale di Galileo presso l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze. Con esso lo scienziato pisano poté studiare per la prima volta da vicino il vero volto dell'universo, fino ad allora sconosciuto, la Luna e le "stelle vaganti", che apparvero prepotenti nella loro reale fisionomia davanti ai suoi occhi sbalorditi, aiutati da un cannocchiale potenziato fino a venti ingrandimenti, capace di mostrare la superficie lunare 400 volte più grande, che gli permise di effettuare il primo ritratto realistico della vera faccia della Luna, con i suoi monti, i crateri e i mari, nei famosi acquerelli nei quali raffigurò di sua mano le fasi della Luna nel novembre-dicembre 1609 (oggi conservati nel ms. Gal. 48, c. 28r, della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze). Nei primi mesi del 1610 arrivò a scoprire altre inaudite 'novità celesti': gli ignoti quattro satelliti di Giove, fino ad allora "totalmente invisibili per la loro piccolezza", che in onore di Cosimo II de' Medici, signore di Firenze, denominò 'pianeti medicei'; l'ammasso di stelle che costituisce la cosiddetta 'Via Lattea', fino ad allora oggetto di fantasiose interpretazioni mitologiche; le macchie solari; le fasi di Venere; e gli anelli di Saturno, che Galileo percepiva confusamente come rigonfiamenti laterali e interpretò erroneamente come satelliti.<sup>2</sup> Lo scienziato

---

1        Lezione tenuta il 7 dicembre 2012 presso l'I.I.S. "P. Rossi" di Massa.

2        I disegni eseguiti da Galileo che illustrano le macchie solari si conservano ancora oggi nel ms.

toscano divulgò immediatamente la sequenza delle osservazioni telescopiche e delle sue scoperte in un trattato scientifico pubblicato già nella primavera del 1610, il *Sidereus Nuncius*, letteralmente “Annunciatore di novità celesti”, che si diffuse rapidamente sulle scrivanie dei più importanti dotti europei con accoglienza interessata ma anche assai contrastata, e divenne un vero e proprio *bestseller* della vicenda libraria dell’Europa rinascimentale, esaurendo subito tutta la prima tiratura.

Galileo fu presto consapevole delle implicazioni epocali dei fenomeni che, primo fra tutti, aveva osservato con il suo telescopio in quelle notti insonni di quattro secoli fa. Già da anni impegnato nella battaglia a favore del sistema eliocentrico di Copernico, elaborato fin dal 1543 contro la teoria tradizionale di Aristotele e Tolomeo della centralità e immobilità della Terra, ebbe finalmente in mano le prove sicure per riformare radicalmente la visione dell’universo e delle sue leggi. Nella storia dell’umanità non vi è rivoluzione più importante di questa, che, partita dall’invenzione del telescopio come strumento scientifico per l’osservazione stellare, segna la fine di una plurimillennaria tradizione di astronomia posizionale e la fondazione della scienza e della filosofia moderna.

In occasione della bella iniziativa regionale toscana di ‘Pianeta Galileo’, che si tiene a breve distanza da questa importante ricorrenza, vorrei oggi proporre agli allievi dell’Istituto Rossi un’indagine particolare sui libri di Galileo, tentando la ricostruzione della biblioteca dello scienziato pisano, per meglio comprendere le basi culturali classiche, medievali e rinascimentali della sua formazione, e il suo particolare rapporto con i libri cartacei e con il grande “libro della natura”. Da questa sinergica coesione scaturisce il nuovo metodo della ricerca scientifica e sperimentale da lui donato al mondo moderno, in opposizione alla tradizione medievale basata solo sul ‘principio di autorità’ e rappresentata da dotti che, come scriveva Galileo, «rivolgevano notte e giorno gli occhi intorno ad un mondo dipinto sopra le carte, senza mai sollevarli a quello vero e reale, che, fabbricato dalle proprie mani di Dio, ci sta, per nostro insegnamento, sempre aperto innanzi».

Proprio il *Sidereus Nuncius*, infatti, che annuncia al mondo la straordinaria potenza del *perspicillum*, l’occhiale puntato verso il cielo capace di rivelare i segreti dell’universo, è stato il vero protagonista del centenario galileiano, ed è diventato l’emblema della nuova scienza strumentale nella quale lo studio dei libri perde improvvisamente la sua centralità. Ma in realtà la rivoluzionaria opera di Galileo si fonda sulla stretta complementarità tra il momento sperimentale e quello speculativo, legato da un lato a una formazione culturale ampia e approfondita sulle fonti antiche e medievali dei saperi scientifici e umanistici, e dall’altro alla letterarietà della scrittura.

La fisionomia della biblioteca personale di Galileo, caratterizzata da tipologie di libri assai eterogenei, che rispecchiano letture scientifiche, filosofiche, letterarie e poetiche, antiche e moderne, conferma quanto fecondo fosse in lui il nesso fra interessi let-

---

Gal. 57, c. 69r della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze; quelli relativi alle fasi di Venere e agli Anelli di Saturno si possono vedere nell’edizione romana del 1623 de *Il Saggiatore*.

terari e interessi scientifici, fra tradizione classica e medievale e cultura rinascimentale, quanto intenso e costante il rapporto con la scrittura sua e di altri. Attraverso il mondo librario di Galileo sarà possibile con più completezza definire il suo metodo scientifico, legato alla concatenazione organica tra mondo di carta e mondo della natura; il suo rapporto con i libri, con la scrittura e con la lingua, sia latina che italiana; il passaggio sinergico e biunivoco dalle biblioteche al telescopio, dall'universo dei libri all'universo celeste; e infine evidenziare il ruolo fondamentale che lo scienziato toscano ebbe nella rivoluzione astronomica e nella formazione del linguaggio scientifico.

La biblioteca personale di Galileo è oggi conservata, seppure parzialmente, a Firenze nei volumi originali, segnati da *ex libris*, note di possesso o annotazioni autografe di lettura, e negli stessi esemplari autografi delle sue opere o nelle prime edizioni a stampa. La raccolta libraria si formò attraverso le peregrinazioni nelle città che furono teatro della parabola culturale di Galileo: Pisa, che ne vide la formazione e l'avvio all'insegnamento universitario; Padova, dove effettuò straordinarie scoperte scientifiche nei 18 anni di docenza come professore di matematica, dal 1592 al 1615, che Galileo definì i migliori della sua vita; e Firenze, dove rientrò con il titolo di "matematico e filosofo del Granduca" per dedicarsi, grazie al mecenatismo dei Medici, totalmente alla ricerca scientifica e alle attività dell'Accademia della Crusca; Roma, dove fu accolto nella prestigiosa Accademia dei Lincei, massimo riconoscimento del suo valore scientifico; e infine Arcetri, l'ultimo rifugio dopo la condanna del Tribunale dell'Inquisizione, dove morì. A causa di questi spostamenti, il Fondo Galileiano, composto anche dai volumi del padre Vincenzo e lasciato in eredità all'allievo e biografo Vincenzo Viviani, di cui spesso registrano le annotazioni autografe, subì dispersioni inevitabili e sopravvisse in parte all'estinzione delle famiglie Galilei prima e Viviani dopo; acquistato all'inizio del XIX secolo dal granduca Ferdinando III, e poi passato allo Stato Italiano con il resto della biblioteca di Palazzo, fu raccolto, in tutto ciò che ne rimane, presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, di cui costituisce oggi una delle raccolte più preziose, e presso la Biblioteca e l'Archivio dell'Accademia della Crusca. Su questa importante documentazione aveva già puntato l'attenzione alla fine dell'Ottocento Antonio Favaro, il curatore dell'Edizione Nazionale di tutte le opere dello scienziato toscano, offrendone una prima ricostruzione nel saggio *La Libreria di Galileo*, ma oggi si può contare su nuovi importanti ritrovamenti.

Nella biblioteca figuravano i più importanti classici greci scientifici e filosofici, negli esemplari divulgati dalla giovane e fiorente stampa cinquecentesca europea, annotati con postille autografe, che testimoniano il rapporto dialettico, attivo e critico che Galileo stabiliva con le sue fonti, studiate approfonditamente ma mai accettate dogmaticamente come autorità incontestabili, bensì tutte da verificare alla luce del progresso della scienza, con l'appoggio alle prove inoppugnabili offerte dalla nuova strumentazione tecnologica. Primeggiano gli interlocutori più diretti della sua rivoluzione scientifica, come i grandi trattati di matematica, geometria e fisica di Archimede ed Euclide, fittamente postillati da Galileo e poi dal Viviani; la cosmografia e la geografia

di Tolomeo e la fisica e la metafisica di Aristotele, con i commenti, tra cui quello del neoplatonico Giovanni Filopono alla *Fisica*, recentemente ritrovato, postillato in corrispondenza dei temi su cui si articolavano le più innovative scoperte di Galileo, come la velocità di caduta dei corpi nel vuoto.<sup>3</sup>

Accanto a questi libri scientifici figurano, però, anche i grandi classici antichi e moderni del sapere umanistico, rappresentati soprattutto dalla poesia latina e italiana, privilegiata nelle letture di Galileo, che spaziava però anche nel territorio della letteratura greca: si provò perfino nella traduzione in versi italiani del testo greco della *Batracomiomachia* (*La battaglia dei topi con le rane*) di Omero, e nella lettura del testo bilingue greco-latino delle *Favole* di Esopo in una bella cinquecentesca stampata a Basilea e recentemente identificata. Ma i testi prediletti appartenevano alla poesia latina antica e a quella italiana moderna: un prezioso Orazio stampato a Venezia da Manuzio nel 1509, su cui orgogliosamente segnava il suo *ex libris* (“Pertinet mihi Galileo Galilei”), annotando le sue impressioni di lettura; un Plauto comprato a Lucca per due scudi, come è ricordato nella nota di possesso, e fittamente postillato; le *Satire* di Giovenale, insieme alle grandi opere della critica classica latina, come l’importante edizione completa di Macrobio, con nota di possesso; e, tra i testi della letteratura italiana, la *Commedia* di Dante Alighieri, con osservazioni annotate da Galileo e tratte dal più importante Commento dantesco dell’Umanesimo, quello dell’umanista e critico fiorentino Cristoforo Landino; il *Canzoniere* di Francesco Petrarca, in un’edizione di Basilea corredata di uno dei più importanti commenti rinascimentali, quello di Ludovico Castelvetro, con la nota di possesso autografa “Galileo Galilei” apposta sul frontespizio (a cui si può aggiungere ora il *Labirinto d’amore* di Giovanni Boccaccio, recentemente ritrovato con dedica autografa di Galileo vergata in data 1610); l’*Orlando Furioso* di Ludovico Ariosto, che Galileo fece ripetutamente oggetto di correzioni e annotazioni, e di cui possedette vari esemplari, ritenendolo il capolavoro massimo della poesia rinascimentale sia per la lingua e lo stile che per l’ideale razionale dell’arte, di gran lunga superiore alla *Gerusalemme liberata* del suo contemporaneo Torquato Tasso.

Sui due grandi poemi italiani di Ariosto e Tasso, oltretutto, Galileo esercitò anche una critica letteraria militante, sia in lettere, come quella famosa a Francesco Rinuccini del 1640, che in saggi critici specifici, come le *Postille all’Ariosto* e le *Considerazioni al Tasso*, oggi conservate in un manoscritto della Biblioteca Vaticana. In questi saggi Galileo allestiva il suo celebre paragone tra i due maggiori poeti del Rinascimento italiano, assegnando l’Ariosto all’acme e il Tasso alla decadenza della poesia rinascimentale. Una visione critica assai vicina e consonante con le posizioni ufficiali della fiorentina Accademia della Crusca, nel cui ambito era stato lanciato da Leonardo Salviati il dibattito sulla poesia di Ariosto e Tasso già dal 1585 con deciso privilegio dell’Ariosto:

3 Giovanni Filopono, *Commentaria in primos quatuor Aristotelis de naturali auscultatione libros* (traduzione in latino del testo greco di Guglielmo Doroteo), Venezia, Ottaviano Scoto, 1546, con note autografe di Galileo.

elemento che molto pesò nella nomina di Galileo ad “Accademico della Crusca”, motivata con la sua attività sia di critico letterario sia di fondatore del lessico scientifico moderno della ancora giovane lingua italiana. Nella lettera al Rinuccini Galileo stesso racconta il suo metodo di lavoro critico su Ariosto e Tasso, direttamente svolto su un esemplare a stampa del poema del Tasso «rilegato con l'interposizione di carta in carta di fogli bianchi, dove avevo non solamente registrati i riscontri dei luoghi di concetti simili in quello dell'Ariosto, ma ancora aggiunti discorsi secondo che mi parevano questi o quelli dovere essere anteposti».

Ma la sezione più consistente della biblioteca di Galileo è riservata alle opere pubblicate dagli scienziati contemporanei, connesse con la grande rivoluzione scientifica rinascimentale, e soprattutto legate al dibattito europeo sulla riforma dell'astronomia: il *De revolutionibus orbium coelestium* di Niccolò Copernico, la *Astrologia* di Tommaso Campanella, la *Astronomia* del danese Tycho Brahe, la *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* di Johannes Kepler, la *Libra astronomica ac philosophica* di Orazio Grassi. Nei volumi di queste opere della biblioteca di Galileo, oggi ancora conservati, figurano fitte annotazioni autografe che dimostrano il serrato rapporto dialettico, spesso fortemente polemico, dello scienziato pisano con gli astronomi e i filosofi coevi.

Soprattutto risultano rilevanti le ricchissime postille polemiche autografe all'edizione del 1619 della *Libra* del gesuita Orazio Grassi, matematico del Collegio Romano, una delle più prestigiose istituzioni culturali d'Europa, che ci sono oggi testimoniate ancora dall'esemplare del volume appartenuto alla sua biblioteca (Bibl. Nazionale di Firenze, ms. Gal. 60). Esse scaturirono a caldo direttamente dalla lettura del libro dell'avversario, nel vivo della polemica sul sistema astronomico e sui suoi risvolti di ordine filosofico e teologico, scatenatasi in occasione della comparsa, alla fine di novembre 1618, di una grandissima cometa, che nei due mesi successivi si spostò dalla costellazione della Bilancia a quella dell'Orsa Maggiore, seguita con attenzione da tutti gli astronomi (copernicani, anticopernicani o ticonici), per tentare di dedurre indizi a sostegno della tesi dell'immobilità della terra o della sua mobilità. La polemica era partita dalla pubblicazione nel 1619 della *De tribus cometis disputatio astronomica*, con cui Grassi, appoggiandosi alla teoria delle comete, sosteneva il sistema geostatico e geocentrico, affiancato dal Collegio Romano dei Padri Gesuiti, perché compatibile con la tradizione biblica e cristiana. Galileo ne contestò subito le tesi con la pubblicazione a Firenze del *Discorso sulle comete*, che distruggeva la concezione aristotelica e cometaria, a cui il Grassi reagì con la risposta polemica della *Libra* nell'ottobre 1619.

Le puntuali annotazioni polemiche di Galileo a quest'opera diedero corpo al *Saggiatore*, pubblicato nel 1623, che riporta, secondo il sistema tipico delle invettive dell'Umanesimo, il testo originale latino della *Libra*, sottoponendolo punto per punto alla contestazione scientifica in italiano. Le ricche e diffuse postille, dunque, possono essere considerate la prima stesura del *Saggiatore*, e offrono un campione significativo del metodo di lavoro di Galileo: dalla lettura dei libri degli scienziati contemporanei alla verifica sperimentale delle loro tesi e alla dimostrazione conseguente delle proprie.

Anzi, una delle più forti contestazioni metodologiche fatte al Grassi riguarda proprio l'uso di fonti letterarie per attestare la validità di proposizioni fisiche. "La natura non si diletta di poesie", affermava Galileo nel *Discorso sulle comete* per contestare la natura divina della cometa, sostenuta dal Grassi sulla base di una citazione di Virgilio, e poi annotava così il passo corrispondente nella *Libra*: «Nec poetis nec philosophis credo, dum experientia est in contrario» («Non credo né ai poeti né ai filosofi quando l'esperienza mostra il contrario»).

Il Fondo Galileiano conserva anche le opere dello scienziato nei primi esemplari a stampa, il moderno mezzo di diffusione libraria che, inventato alla metà del XV secolo e ormai diffuso in tutta Europa, fu molto amato e usato da Galileo. Egli, infatti, organizzava direttamente per la stampa le prime stesure autografe dei suoi scritti, come attesta il prezioso manoscritto autografo del *Sidereus Nuncius* (Bibl. Nazionale di Firenze, ms. Gal. 48), che mostra con evidenza una stesura nata e sviluppatasi rapidamente come tappa intermedia per l'approdo a una stampa immediata. Galileo la affidò al tipografo veneziano Tommaso Baglioni all'inizio del 1610, partecipando in tipografia alla preparazione del processo di stampa, con continue aggiunte e correzioni *in itinere*, come egli stesso scriveva, «per fare stampare alcune osservazioni le quali col mezzo di un mio occhiale ho fatto nei corpi celesti». Una maggiorazione della tiratura di 550 esemplari fu richiesta al tipografo da Galileo, che intendeva diffondere l'opera in Europa il più ampiamente e velocemente possibile per garantire una comunicazione in tempo reale delle sue straordinarie scoperte («Stimo inoltre necessario il mandare a molti principi non solamente il libro, ma lo strumento ancora, acciò possano riscontrare la verità della cosa») e, a tale scopo, prevedeva subito la necessità di una ristampa («Sarà anco necessario tra brevissimo tempo ristampare l'opera compita con moltissime osservazioni, le quali vo continuando, e con molte e bellissime figure tagliate in rame da valente uomo, il quale ho già incaparrato e lo conduco meco a Padova»). E infatti i celebri acquerelli in cui Galileo raffigurò di sua mano la vera faccia della luna trovarono poi espressione a stampa nelle incisioni dell'edizione veneziana del *Sidereus Nuncius* del 1610, oggi conservata alla Bibl. Nazionale di Firenze (Post. 110). Intenso fu il rapporto di Galileo con le officine tipografiche di avanguardia, particolarmente fiorenti a Venezia, che fu capofila in Italia per il lancio della stampa nel Cinquecento e per la ricchezza e diffusione europea delle opere edite. Lo scienziato comprese fino in fondo la portata mediatica della moderna innovazione tecnologica in campo librario e la sfruttò per trovarsi al centro di un vivace mercato librario ed entrare così nel dibattito scientifico europeo: lo dimostra la presenza di esemplari del *Sidereus Nuncius* alla Fiera del Libro di Francoforte nello stesso anno della prima stampa, il 1610. Particolarmente favorevole a Galileo risultava inoltre la libera politica editoriale della tipografia veneziana, in contrasto con l'Inquisizione Romana.

In seguito, dopo il trionfale viaggio a Roma del 1611, che stabilisce un rapporto privilegiato con l'Accademia dei Lincei, di cui è chiamato a far parte, e soprattutto con il principe Federico Cesi, che ne diventa protettore e promotore, Galileo entra

trionfalmente nella politica editoriale dell'Accademia con *Il Saggiatore*, e il suo tipografo a Roma diviene Giacomo Mascardi. Le edizioni Lincee delle opere galileiane sono stampe di grande pregio, come dimostra in particolare l'edizione della *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (Roma, Mascardi, 1613), tirata in 1400 esemplari e illustrata da 38 tavole incise da Martino Greuter su disegno dello stesso Galileo. L'improvvisa morte del Cesi impedì che anche il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* fosse stampato a Roma, e Galileo si rivolse a Firenze al tipografo Giovan Battista Landini. Ma subito dopo, a seguito del processo e della condanna del libro da parte del Tribunale dell'Inquisizione romano, e della conseguente impossibilità di pubblicare in Italia, Galileo sceglie tipografie ed editori stranieri e pubblica i suoi libri in traduzione francese, come *Les Mécaniques*, ristampato poi a Lione nel 1641, il *Sistema cosmicum*, stampato a Strasburgo nel 1635, i *Discorsi e le dimostrazioni matematiche*, stampato a Parigi nella traduzione francese del padre Mersenne.

Il *Vocabolario della Crusca*, la cui prima edizione nel 1612, sette anni dopo l'ingresso di Galileo nell'Accademia, segnava l'inizio della codificazione ufficiale del lessico scientifico italiano, può essere considerato il fulcro costante della biblioteca di Galileo. Lo scienziato nutrì sempre un interesse primario per la lingua italiana, considerandola strumento innovativo ed emblema della nuova scienza fisica e matematica, in sostituzione del lessico latino della vecchia scuola aristotelica e peripatetica, abitualmente impiegato dalla comunità scientifica europea. All'allestimento del *Vocabolario* Galileo partecipò attivamente, con la stesura delle voci inerenti i neologismi scientifici, in linea con l'esigenza, avvertita come urgente dall'Accademia, di creare la lingua delle scienze moderne, data la carenza nell'italiano cinquecentesco di termini appropriati per le nuove scienze, che tradizionalmente si servivano del latino. Per la seconda edizione (1623) elaborò continui aggiornamenti dei neologismi scientifici accolti nella prima, da lui considerati flessibili e in rapporto costante con il progresso della tecnologia e della scienza. E infine la terza edizione del 1691 finirà per accogliere la totalità del lessico tecnico-scientifico galileiano, attraverso lo spoglio di tutte le sue opere affidato dall'Accademia al lessicografo, matematico e astronomo fiorentino Mario Guiducci, suo allievo.

L'esempio di neologismo scientifico galileiano più interessante, registrato dall'Accademia dei Lincei e nel *Vocabolario della Crusca*, riguarda proprio lo strumento da lui inventato, il 'cannocchiale', termine coniato da Galileo con la fusione delle denominazioni delle due parti di cui era composto: un 'cannone' (accrescitivo di 'canna', cioè 'una lunga canna', un 'tubo'), e un 'occhiale', cioè una lente di ingrandimento che fino ad allora si soleva porre sul naso, davanti agli occhi, per aiutare la vista. Il nuovo termine composto 'cannocchiale' fu infatti usato da Galileo quando si trovò a descrivere la fabbricazione del nuovo strumento, mentre ancora nel *Sidereus Nuncius*, scritto in latino, era indicato con le parole latine corrispondenti, *perspicillum*, cioè 'occhiale', e *organum*, cioè 'strumento'. Il neologismo italiano 'cannocchiale' da lui coniato restò sempre il suo preferito, anche quando l'Accademia dei Lincei denominò il nuovo strumento con il

più dotto grecismo ‘telescopio’, dalla radice greca τηλε- (‘lontano’) e dal verbo σκοπεῖν (‘vedere’), che entra nella terza edizione del Vocabolario come sinonimo di ‘cannocchiale’, e solo nella quarta edizione settecentesca viene definito «strumento matematico per contemplare le stelle. Occhiale, in latino *telescopium*».

L’interesse di Galileo per la lingua era, dunque, soprattutto ideologico: il latino e l’italiano corrispondevano per lui a due visioni opposte della scienza, rispettivamente quella aristotelica tradizionale e quella moderna. L’allontanamento dal latino, inizialmente usato nel *Sidereus Nuncius* per comunicare le sue scoperte agli scienziati ed essere capito dalla comunità scientifica internazionale, significò per Galileo prendere definitivamente le distanze dalla lingua peripatetica, dall’aristotelismo, e quindi da una visione del mondo e dei fenomeni naturali spiegati attraverso motivazioni teologiche e con termini generici e imm modificabili: conseguenziale la scelta di pubblicare in italiano i grandi dialoghi filosofici della maturità. Ben lo dimostra *Il Saggiatore*, che Galileo presenta in forma bilingue, facendo esporre le due opposte visioni della scienza alternativamente in latino all’avversario, che riporta, come si è visto, le tesi della *Libra* di Orazio Grassi, e in italiano ai personaggi che sostengono le teorie copernicane e galileiane di avanguardia.

Alla fine del Seicento l’Accademia della Crusca dedicava *post mortem* al suo più celebre accademico un segno tangibile di omaggio, la Pala, ancora oggi conservata, che lo identifica con i simboli più gloriosi della sua parabola culturale: il nome accademico di ‘Linceo’ e un cannocchiale puntato verso la costellazione della Vergine, rappresentata con la simbologia astrologica tradizionale della spiga di grano, dal nome della stella principale della costellazione, denominata appunto ‘Spiga’. La pala porta la didascalia “Occhiale per cui si osservi la spiga della Vergine celeste”, e il motto “Non mi ti celerà l’esser sì bella”, tratto dai versi della *Divina Commedia* (*Paradiso*, III 48), in cui l’anima di Piccarda Donati si presenta a Dante nel cielo della Luna, consapevole che la luce della beatitudine che la trasfigura non gli impedirà di riconoscerla.

Ma la più grande novità della biblioteca di Galileo, rispetto alle biblioteche dei dotti del medioevo, è il ‘libro dell’universo’, come egli lo denominava, in cui affermava essere scritta direttamente da Dio la filosofia e la matematica insieme, ma in caratteri diversi da quelli dell’alfabeto, per cui non può essere letto e compreso da tutti, ma solo da chi impara a conoscere la ‘lingua matematica’: «La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l’universo), ma non si può intendere se prima non si impara a intenderne la lingua, e conoscere i caratteri nei quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri sono triangoli, cerchi e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne agli uomini la parola; senza questi mezzi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto» (*Il Saggiatore*, 6, 36-37, ed. Besomi, Padova, Antenore, 2005, pp. 119-20). Galileo riprende la metafora, di origine medievale, del *liber naturae*, secondo cui Dio si rivela all’uomo in due libri, le *Sacre Scritture* e il libro della natura, ma sana l’opposizione tra scienza laica e fede religiosa, affermando risolutamente che l’oggetto proprio e più alto

della filosofia è il libro della natura, opera di Dio; che l'opera di Dio è maggiormente visibile nella costituzione dell'universo, la cui comprensione scientifica, con gli strumenti della matematica e della fisica, rappresenta per l'uomo la più alta conoscenza filosofica. Perciò i tradizionali saperi filosofici e teologici, basati sull'aristotelismo medievale e tramandati dai libri di carta, secondo Galileo dovevano essere misurati alla luce degli esperimenti effettuati nella natura, terrena e celeste, con i nuovi strumenti tecnologici inventati grazie al progresso delle scienze moderne, come appunto il telescopio. Le stesse dottrine di Aristotele, considerate indiscutibili, dovevano essere corrette. Galileo, anzi, si dichiarava sicuro che lo stesso Aristotele, se fosse tornato a vivere al tempo del telescopio, avrebbe sicuramente accettato le nuove scoperte e avrebbe corretto i propri libri: «Io non dubito che se Aristotele fosse all'età nostra, muterebbe opinione. [...] E quando Aristotele vedesse le novità scoperte nuovamente in cielo, che egli affermò essere inalterabile e immutabile, perché nessuna alterazione vi si era fino ad allora veduta, indubbiamente egli, mutando opinione, direbbe ora il contrario: e mentre egli diceva che il cielo era inalterabile, perché non vi si era veduta alterazione, direbbe ora essere alterabile, perché vi si scorgono alterazioni. Avete dunque voi dubbio che quando Aristotele vedesse le novità scoperte in cielo, egli non dubitasse di emendare i suoi libri per accostarsi alle dottrine più vere e sensate?»<sup>4</sup>.

La luminosa sicurezza di Galileo nel progresso delle scienze derivava fondamentalmente dal suo nuovo metodo sperimentale e matematico, che metteva la verità della natura come fine precipuo di qualunque filosofia («Credo di aver appreso dagli innumerevoli progressi matematici puri, mai fallaci, tale sicurezza nel dimostrare che, se non mai, almeno rarissime volte io sia nel mio argomentare caduto in equivoci. Tra le sicure maniere per conseguire la verità è l'anteporre l'esperienza a qualsiasi discorso, non essendo possibile che la sensata esperienza sia contraria al vero. [...] Aristotele fu un uomo, vide con gli occhi, ascoltò con gli orecchi, discorse col cervello. Io son uomo, vedo con gli occhi, e assai più che non vide lui») e collegava sinergicamente matematica e filosofia: «Sileant, profecto sileant, qui philosophiam consequi posse autumant absque divinae mathematicae cognitione. Quis unquam negabit hac sola duce verum a falso dignosci posse, huius auxilio ingenii acumen excitari, hac denique duce quicquid inter mortales vere scitur percipi et intelligi posse?»<sup>6</sup>. Tutto ciò implicava una profon-

4 Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi tolemaico e copernicano*; *Carteggio*, Lettera a Fortunio Liceti (15 settembre 1640), in Galileo Galilei, *Le Opere*, Edizione Nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il re d'Italia, diretta da Antonio Favaro, VII, Firenze, 1897.

5 Galileo Galilei, *Carteggio*, Lettera a Fortunio Liceti (15 settembre 1640); Lettera a Francesco Ingoli sopra la *Disputa de situ et quiete terrae*, in Galileo Galilei, *Le Opere*, Edizione Nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il re d'Italia, diretta da Antonio Favaro, XVIII, Firenze, 1906, p. 249.

6 «Tacciano coloro che credono che si possa fare filosofia senza conoscere la matematica. Chi mai potrà negare che solo con l'ausilio della matematica si può distinguere il vero dal falso, acuire l'intelligenza, apprendere e capire ogni verità del mondo umano?». Cfr. Galileo Galilei, *De motu*, in Galileo Galilei, *Le Opere*, Edizione Nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il re d'Italia, diretta da Antonio Favaro, I,

da rivoluzione scientifica e filosofica che riproponeva in termini nuovi il rapporto tra uomo e cosmo, ma anche tra scienza e libertà. La battaglia di Galileo contro il principio di autorità, sia nella sua interpretazione laica che religiosa, per un 'libero filosofare' rappresenta uno dei caratteri distintivi dello spirito della modernità.

I due temi che sembrano contrassegnare tutta la coscienza storico-culturale del Rinascimento sono, infatti, il concetto di "progresso del tempo" in cui si snoderanno le conquiste degli "ingegni speculativi", e la consapevolezza dell'esigenza di una scienza nuova, anche se edificata sulle fondamenta della cultura del passato. Essa approderà alla fine di un lungo processo, che passa per i mondi intravisti da Niccolò Cusano e Giordano Bruno, al nuovo sistema dei mondi dimostrato scientificamente da Copernico, Galileo, Keplero, Newton, e consolidato filosoficamente da Cartesio e Bacone, da Hobbes, Spinoza e Leibniz, fino alla "Scienza nuova" di Vico. E di tale progresso dell'umanità e della scienza si mostrava sicuro sostenitore Galileo: «Il dire che le opinioni più antiche e inveterate siano le migliori è improbabile; perché, così come di un uomo particolare le ultime determinazioni pare che siano le più prudenti e che con gli anni cresca il giudizio, così della universalità degli uomini pare ragionevole che le ultime determinazioni siano le più vere».<sup>7</sup>

Per questo non ebbe timore di proclamare il 'moderno' scienziato Copernico, e i Copernicani, da lui fortemente sostenuti, superiori agli antichi dotti Aristotele e Tolomeo, per un inarrestabile progresso delle scienze umane: «Né Aristotele né Tolomeo hanno mai pensato né invalidato alcuno degli argomenti con i quali i Copernicani sostengono la mobilità della Terra; ma i Copernicani hanno dimostrato la vanità delle ragioni di Aristotele e Tolomeo [...], i quali, benché così grandi, dagli stessi Copernicani sono stati fatti restare assai piccolini. [...] Aristotele e Tolomeo sarebbero stati col Copernico, se avessero avuto cognizione delle osservazioni e ragioni che mossero il Copernico»<sup>8</sup>. La base di questa sinergica e articolata concezione di Galileo del progresso dell'umanità e della scienza sta nel progetto culturale e formativo del Rinascimento europeo, in quanto equilibrio perfetto tra passato e futuro ed armonia dei saperi e dei poteri, svolta qualificante dalla quale nasce e si avvia l'epoca moderna, veicolando la tradizione classica nello sviluppo di una scienza moderna, basata sul pensiero classico ma aperta ad una più ampia epistemologia.

La poliedrica fisionomia culturale di Galileo, ben rappresentata anche dalla sua biblioteca, coincide con quella del 'genio universale' del Rinascimento, di cui è emblema Leonardo da Vinci, che si forma in maniera completa nella fucina di tutti i saperi, umanistici e scientifici, che hanno concorso, nella loro coesa unità, alla elaborazione

---

Firenze, 1890, p. 401.

7 Galileo Galilei, *Scritture e frammenti di data incerta*, in Galileo Galilei, *Le Opere*, Edizione Nazionale diretta da Antonio Favaro, VIII, Firenze, 1898, p. 640.

8 Galileo Galilei, *Dal libro di G.B. Morin Famosi et antiqui problematis de telluris motu et quiete hactenus optata solutio. Con le note di Galileo*, in G. Galilei, *Le Opere*, Edizione Nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il re d'Italia, diretta da Antonio Favaro, VII, Firenze, 1897, p. 562.

di quel concetto rinascimentale dell'“uomo universale”, che Leonardo definiva *Homo Vitruvianus*: perfetto e armonico accordo tra microcosmo e macrocosmo, tra terra e cielo, tra matematica e filosofia. Galileo è infatti l'estrema ipostasi dell'ideale del dotto rinascimentale, che di volta in volta tende all'eccellenza in una specifica disciplina, ma conservando il patrimonio culturale di una *humanitas* completa, garantito da una formazione di alto profilo. Non a caso la formazione propedeutica dei grandi dotti rinascimentali era al contempo rigorosamente scientifica e specialistica, ma anche largamente impostata sulle scienze umane: lo scienziato, l'architetto, il matematico, il pittore, lo scultore, devono essere dotti in tutte le arti liberali, leggere i poeti, gli oratori e i filosofi, leggere i classici latini antichi, e al contempo riconoscere le ragioni e l'ordine delle cose nella natura, attraverso la geometria e la matematica, alla luce della *sapientia* antica, ma senza perdere i contatti con l'etica e la politica del mondo moderno, cioè con gli *studia humanitatis*, la riflessione sull'uomo e sul mondo umano.

La riforma vera e propria delle scienze si colloca nel secolo successivo a questo primo grande rinnovamento del sapere scientifico, come sua naturale evoluzione e conseguenza: la riforma dell'astronomia, con Copernico, Keplero e Galilei; della chimica, con il tedesco Andrea Libavio; e della medicina, con Vesalio e Paracelso, i filosofi naturali del Rinascimento, come allora venivano denominati, dato che la parola 'scienziato' appartiene al lessico del XIX secolo. In quanto filosofi, essi inseriscono le loro ricerche e scoperte scientifiche in un dibattito dialettico, che si appoggia a tutto il patrimonio tradizionale delle scienze umane, che prendeva come punto di riferimento l'autorità degli scrittori antichi e i testi dei grandi scienziati del mondo classico: Ippocrate e Galeno per la medicina, Tolomeo per la geografia e la cosmologia, Strabone e Plinio per la geografia e le scienze naturali, Aristotele per qualsiasi branca della conoscenza umana. In quanto scienziati, progrediscono su quella autorevole base verso nuove e più avanzate frontiere, talora correggendo o contraddicendo gli antichi, in una parola superandoli. La gestazione della scienza moderna si può individuare, infatti, in un lungo periodo di 150 anni, emblematicamente racchiusa tra il 1543, data della pubblicazione del *De revolutionibus orbium coelestium* di Copernico e del *De humani corporis fabrica* di Vesalio, e il 1687, anno in cui apparvero i *Principia mathematica* di Newton.

Proprio al centro di questo lungo periodo di gestazione, la svolta determinante è segnata da Galileo, che è divenuto l'emblema della rinascita dell'astronomia e della fondazione della meccanica, poi codificata da Newton, da cui scaturirà la fisica moderna. Il rinnovamento delle due scienze era, infatti, strettamente connesso. Lo stesso Galileo aveva iniziato i suoi studi fin dal periodo giovanile pisano, tra il 1586 e il 1592, proprio con le ricerche sul moto dei corpi, condotte facendo rotolare delle sfere su piani di inclinazione decrescente e con i celebri esperimenti sulla caduta dei gravi dalla sommità della torre di Pisa, rappresentati nei bellissimi affreschi della Tribuna di Galileo di Palazzo Torrigiani a Firenze, che ritraggono Galileo mentre ne dà dimostrazione al Granduca Giovanni de' Medici; e inoltre studiando le leggi del movimento oscillatorio del pendolo per mezzo dell'osservazione del moto impercettibile ma costante della

lampada sospesa al soffitto del Duomo di Pisa, che gli faceva esclamare la celebre frase: “Eppur si muove!”, anticipando il principio poi formulato organicamente da Foucault. Così Galileo era giunto a superare le concezioni fino ad allora dominanti della fisica aristotelica, secondo la quale la velocità di caduta di un oggetto dipendeva dal suo peso e dalla resistenza del mezzo; e a postulare il concetto, inconcepibile per la tradizione aristotelica, del “vuoto”, nel quale tutti i corpi cadono con la stessa accelerazione, qualunque sia il loro peso, e a formulare il principio di relatività, oggi noto come “principio di equivalenza”. Isaac Newton lo utilizzerà per arrivare a formulare la sua famosa “legge di gravitazione universale” e Albert Einstein lo trasformerà in principio chiave della teoria della relatività generale. In tal modo Galileo non solo gettava le basi della moderna meccanica, ma cercava anche una fisica per il copernicanesimo, riuscendo a sorreggere il sistema astronomico eliocentrico con una teoria meccanica scientifica, che Copernico non aveva ancora saputo postulare.

Ecco perché l'insieme di questa nuova scienza, astronomica e meccanica, venne presentato nell'importantissimo *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. L'immagine dell'universo si era stabilizzata nella tradizione antica nella forma di una sfera perfetta, operata dalla cultura greca e consolidata grazie a un raffinato impianto geometrico in età alessandrina; aveva registrato scoperte scientifiche di alto valore offerte dai maggiori rappresentanti della cultura araba; aveva poi subito nel Medioevo la straordinaria operazione di evangelizzazione del cosmo pagano compiuta dai Padri della Chiesa e dai grandi esponenti del pensiero teologico, per divenire nella stagione rinascimentale ancora di più una scienza globale e universale, connessa con le problematiche del moto dei corpi nello spazio, cioè con la scienza della fisica, ancora mancante a Copernico, e con profonde ripercussioni dei temi cosmologici e astrologici anche in ambito filosofico e teologico, artistico e architettonico.

Galileo rappresentò con chiarezza nel suo *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* le divergenti concezioni coeve sulla natura del mondo, in presenza del confronto tra tre visioni cosmologiche in contrasto: quella tradizionale di Tolomeo, geocentrica e geostatica, che spiegava i moti celesti con un complesso sistema di sfere ruotanti intorno alla terra, sostenuta dalla filosofia aristotelica; quella di Niccolò Copernico, eliocentrica, che alla metà del XVI secolo ribaltava la tradizione classico-aristotelica, asserendo la mobilità della terra e l'immobilità del sole, intorno a cui ruotavano gli altri pianeti, difesa nei primi decenni del XVII secolo dal matematico imperiale di Praga Johannes Kepler e dallo stesso Galileo; e la più recente, proposta dall'astronomo danese Tycho Brahe nel 1577, che poneva ancora la terra immobile al centro del mondo, con il sole che le ruota attorno, circondato dai pianeti e dalle comete orbitanti attorno ad esso.

Il dibattito esulò dall'ambito scientifico e coinvolse l'autorità ecclesiastica e il Tribunale del Santo Uffizio, che condannò Copernico e Galileo, costringendolo alla fine della sua vita all'abiura delle sue tesi. La condanna del rivoluzionario *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, con cui Galileo dimostrava, con prove inoppugnabili fornite dall'esperienza scientifica e dalla documentazione resa possibile dai nuovi strumen-

ti tecnologici, la verità del sistema eliocentrico, contro la tradizionale tesi tolemaica dell'immobilità e centralità della terra, sostenuta dal vecchio metodo dell'astronomia posizionale, si basava sostanzialmente su un equivoco: e cioè l'interpretazione scientifica delle parabole allegoriche delle Sacre Scritture, che in realtà erano volte solo alla direzione spirituale degli uomini e aliene da ogni finalità di studio matematico, astronomico, fisico dell'universo. Una teoria che ancora al tempo di Galileo era sostenuta come indiscutibile metodo della ricerca scientifica anche dai più accreditati scienziati europei. Giovan Battista Morin, professore 'reale' di matematica al Collège de France, difendeva contro le evidenze scientifiche della rivoluzione Copernicana e Galileiana il sistema tolemaico in un'opera avallata ufficialmente dalle istituzioni politiche e accademiche come confutazione ufficiale delle tesi di Galileo, la *Famosi et antiqui problematis de telluris motu vel quiete hactenus optata solutio*, dedicata al Cardinale Richelieu e approvata dalla Sorbona, appoggiata solo alla parola allegorica delle Scritture, usata come prova scientifica indiscutibile perché di provenienza divina. L'opera recava orgogliosamente come motto il versetto dell'*Ecclesiaste*: "Terra stat in aeternum: sol oritur et occidit".

A nulla valsero le *Note per il Morino*, scientificamente argomentate da Galileo, a cui il Morin inviò la sua opera prima della pubblicazione, nel 1631, oggi conservate autografe nel Fondo Galileiano fiorentino. A nulla valse il durissimo giudizio di Cartesio, che denunciava l'abuso e l'errore metodologico di fare di un'opinione astronomica vecchia di millenni un articolo di fede con cui governare e tentare di fermare la rivoluzione scientifica. La condanna del Santo Uffizio sancì per l'Europa intera quel divorzio tra scienza moderna e religione, e di conseguenza tra etica e politica, che per i secoli a venire avrebbe pesato sul progresso culturale e sulla crescita morale della società moderna, senza tuttavia riuscire a fermare l'inarrestabile progresso della scienza. Le teorie enunciate da Galileo nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, messo all'Indice dalla Chiesa, e ribadite compiutamente alla fine della sua vita, nel 1638, nel suo capolavoro, i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai movimenti locali*, avrebbero comunque da lì a poco trionfato nella prima elaborazione completa della meccanica moderna di Isaac Newton, che nel terzo e ultimo libro dei suoi *Principia mathematica philosophiae naturalis*, pubblicato nel 1687, dal significativo titolo *Il sistema del mondo*, introduce la legge di gravitazione universale e illustra come essa spieghi definitivamente la caduta degli oggetti sulla terra, i moti di rivoluzione della Luna intorno alla Terra e dei pianeti intorno al Sole, le maree, i moti delle comete, accogliendo e sviluppando il principio di equivalenza di Galileo e le leggi sul moto dei pianeti di Keplero. La meccanica di Galileo e Newton rimarrà per più di due secoli la teoria generale del moto dei corpi dotati di massa e energia nello spazio e nel tempo, evolvendosi all'inizio del Novecento nella meccanica relativistica di Einstein, che ha esteso il proprio dominio a corpi con velocità molto grande, uguale a quella della luce, e poi ancora all'inizio del XXI secolo nella meccanica quantistica, che tratta oggetti di dimensioni molto piccole.

Ecco perché fare i conti con Galileo significa capire cosa sia stata la scienza e la filosofia europea tra Seicento e Ottocento, la radicale rottura dell'immagine del cosmo medievale, le scoperte geografiche e la grande svolta occidentale della modernità. Il sogno di Galileo fu ancora più grande: e giunse a prospettare una ragione e una scienza capaci davvero di costruire un "systema cosmicum" unitario, ove anche l'uomo e la storia trovassero posto. La tragedia della mente moderna nacque dalla rottura di quella utopica e armoniosa unità, sancita dalla condanna da parte del Tribunale dell'Inquisizione del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, il grande libro con cui Galileo quattrocento anni fa aveva voluto superare quella scissione fra due mondi, fisico-matematico e morale-religioso, che tanto avrebbe dovuto pesare sui secoli a venire.

## EDIZIONI DI RIFERIMENTO DELLE OPERE DI GALILEO GALILEI

- Galileo Galilei, *Opere*, Edizione Nazionale a cura di Antonio Favaro, voll. I-XX, Firenze, Giunti-Barbera, 1890-1909 (ristampa 1968).
- Galileo Galilei, *Pensieri, motti e sentenze*, Edizione Nazionale delle opere per cura di Antonio Favaro, vol. XVI, Firenze 1949.
- Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, edizione critica e commento a cura di Ottavio Besomi e Mario Helbing, Padova, Antenore, 1998.
- Galileo Galilei, *Discorso delle Comete*, edizione critica e commento a cura di Ottavio Besomi e Mario Helbing, Padova, Antenore, 2002.
- Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica ed i movimenti locali*, a cura di E. Giusti, Torino, Einaudi, 1990.
- Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, edizione critica e commento a cura di Ottavio Besomi e Mario Helbing, Padova, Antenore, 2005.
- Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, a cura di A. Battistini, traduzione italiana di M. Timpanaro Cardini, Venezia, Marsilio, 1993 (*Le messenger céleste*, texte, traduction et notes établis par I. Pantin, Paris, Les Belles Lettres, 1992).

## BIBLIOGRAFIA

- Bibliografia Internazionale Galileiana*, a cura di Patrizia Ruffo, Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze ([www.imss.fi.it/sezione Biblioteche e Archivi](http://www.imss.fi.it/sezione/Biblioteche_e_Archivi)).
- Portale Galileo (<http://brunelleschi.imss.fi.it/portalegalileo>).
- Accademia Nazionale dei Lincei, *L'Accademia dei Lincei e la cultura europea nel XVII secolo. Manoscritti, libri, incisioni, strumenti scientifici*, Roma 1992.
- Accademia Nazionale dei Lincei, *Galileo, i primi Lincei e l'astronomia*, a cura di Ebe Antetomaso, Alessandro Romanello, Andrea Trentini, Roma 2009.
- Albanese Gabriella, "Homo universalis". *Literatura, arte y ciencia desde el humanismo clásico al Renacimiento*, in *Problemas del imaginario en la cultura occidental*, compilador Hugo Francisco Bauzá, Centro de Estudios del Imaginario, Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 2010.
- Albanese Gabriella, *Las nuevas tierras de Colón y los nuevos cielos de Galileo: el principio de la edad moderna y la renovación del saber*, «Anales de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires» (con la colaboración del Istituto Italiano di Cultura di Buenos Aires), 28 abril 2009.
- Altieri Biagi Maria Luisa, *Galileo e la terminologia tecnico-scientifica*, Firenze, Olschki, 1965.
- Anselmi Gian Mario, *L'età dell'Umanesimo e del Rinascimento: le radici italiane dell'Europa moderna*, Roma, Carocci, 2008.
- Berti Domenico, *Storia dei manoscritti Galileiani della Biblioteca Nazionale di Firenze ed indicazione di parecchi libri e codici postillati da Galileo*, «Atti della Reale Accademia dei Lincei», 273, ser. 2, vol. 3 (1875-76), pp. 96-105.
- Besomi Ottavio, *Tra scienza, filologia, letteratura: Galileo*, Padova, Bertolotto, 2005.
- Burke Peter, *Il Rinascimento europeo: centri e periferie*, Roma-Bari, Laterza, 1999.
- Camerota Michele, *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della Controriforma*, Roma, Salerno Editrice, 2004.
- Favaro Antonio, *La libreria di Galileo Galilei descritta e illustrata*, «Buletino di bibliografia e di storia delle Scienze matematiche e fisiche pubblicato da B. Boncompagni», XIX, 1886, pp. 219-93.
- Il futuro di Galileo: scienza e tecnica dal Seicento al terzo millennio*, Catalogo della Mostra (Padova, 28 febbraio - 28 giugno 2009) a cura di Giulio Peruzzi e Sofia Talas, Milano, Skira, 2009.
- Galileo e l'universo dei suoi libri*. Mostra bibliografica (Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, 5 dicembre 2008 - 28 febbraio 2009) a cura di Silvia Alessandri, Piero Scapechi, Isabella Truci; Catalogo a cura di Elisabetta Benucci et al., Firenze, Vallecchi, 2008.
- Galileo: immagini dell'universo dall'antichità al telescopio*, Catalogo della Mostra (Firenze, Palazzo Strozzi, 13 marzo - 30 agosto 2009) a cura di Paolo Galluzzi, Firenze, Giunti, 2009.

- Garin Eugenio, *Scienza e vita civile nel Rinascimento italiano*, Roma-Bari, Laterza, 1975.
- Garin Eugenio, *Dal Rinascimento all'Illuminismo*, Firenze, Le Lettere, 1993.
- Manni Paola, *Galileo accademico della Crusca*, in *La Crusca nella tradizione letteraria e linguistica italiana*, Atti del Congresso per il IV Centenario dell'Accademia della Crusca, Firenze 1985, pp. 118-36.
- Migliorini Bruno, *Galileo e la lingua italiana*, in *Lingua e cultura*, Roma, Tumminelli, 1948.
- Pizzamiglio Pietro, *Le biblioteche di Copernico e Galileo: il ruolo della stampa nella nascita della scienza moderna*, in *Galileo e Copernico: alle origini del pensiero scientifico moderno*, a cura di C. Vinti, Assisi 1990, pp. 115-40.
- Stabile Giorgio, *Linguaggio della natura e linguaggio della Scrittura in Galilei*, «Nuncius», 9 (1994), pp. 37-64.
- Torrini Michele, *La biblioteca di Galileo e dei Galileiani*, «Intersezioni: rivista di storia delle idee», 21, n. 3 (2001), pp. 545-58.



## IL PROBLEMA DEL DETERMINISMO E LA LOGICA<sup>1</sup>

FRANCESCO ADEMOLLO

*Università di Firenze*

L'argomento di cui intendo parlarvi è il problema del determinismo. Mi propongo di distinguere due forme diverse che questo tipo di dottrina può prendere: una, che chiameremo determinismo fisico, e un'altra, che chiameremo determinismo logico. Mi soffermerò più brevemente sul determinismo fisico, per poi distinguere il determinismo logico, offrirne una caratterizzazione e soffermarmi su alcune delle questioni che esso implica.

Cominciamo dunque dal *determinismo fisico*<sup>2</sup>. Potremmo definire questa tesi nella sua forma classica – senza prendere in considerazione formulazioni più recenti e sofisticate – come la tesi che sostiene questo:

Lo stato del mondo a ogni istante determina un unico futuro; un soggetto (ideale) che conoscesse lo stato del mondo a un dato istante  $t_0$  e le leggi di natura operanti a  $t_0$  conoscerebbe, in virtù di questo, lo stato futuro del mondo a un qualsiasi istante  $t_1 > t_0$ .

Una versione storicamente concreta di questo tipo di formulazione, spesso citata sui libri di testo, si deve al grande matematico e astronomo francese Pierre-Simon de Laplace, autore nel 1814 di un *Saggio filosofico sulle probabilità*:

Tutti gli eventi, anche quelli che per la loro piccolezza sembrano non dipendere dalle grandi leggi della natura, ne sono una conseguenza altrettanto necessaria delle rivoluzioni del sole. [...] Noi dobbiamo dunque considerare lo stato presente dell'Universo come l'effetto del suo stato precedente, e come la causa di quello che seguirà. Una intelligenza che, in un istante dato, conoscesse tutte le forze che animano la natura, e la situazione rispettiva degli esseri che la compongono, se fosse inoltre così vasta da sottoporre questi dati all'analisi, abbraccerebbe nella stessa formula i moti dei più grandi corpi dell'universo e dell'atomo più leggero: nulla sarebbe incerto per essa, e il futuro come il passato sarebbe presente ai suoi occhi.<sup>3</sup>

Naturalmente nessun'intelligenza umana o comunque finita potrebbe mai avere realmente le caratteristiche dell'intelligenza di cui parla Laplace e possedere questo tipo di

1 Lezione tenuta il 6 novembre 2012 presso il Liceo Michelangiolo di Firenze e il 7 febbraio 2013 presso l'IIS "Montessori-Reperti" di Marina di Carrara (MS).

2 Una stimolante introduzione ai problemi connessi col determinismo fisico è offerta da [1, pp. 96–137].

3 Ho leggermente modificato la traduzione di Giorgio Israel, in [3, p. 45].

conoscenza. Ma questo non è un problema: possiamo immaginare che il discorso valga per un'ipotetica intelligenza infinita, come quella di Dio, se esiste. Ciò che importa è come Laplace concepisce il mondo e le sue leggi, cioè che per lui il mondo sia fatto in un modo tale che *in linea di principio* un'intelligenza di questo tipo, *se esistesse*, potrebbe prevedere ogni sviluppo di una situazione data. Per questo nella mia formulazione iniziale ho parlato di un soggetto *ideale*.

Una tesi di questo tipo si colloca bene nel contesto storico in cui essa è stata avanzata, caratterizzato da un grande ottimismo nei confronti della scienza e delle sue possibilità conoscitive. In realtà, però, sostanzialmente la stessa tesi era già stata sostenuta molto prima nella storia della filosofia, in tutt'altro contesto. Vi propongo un passo del *De divinatione* di Cicerone (1.125), in cui si discute la concezione del fato dei filosofi stoici. Qui Cicerone attribuisce a un personaggio – suo fratello Quinto – la seguente definizione:

Chiamo fato ciò che i Greci chiamano *heimarmene*, cioè una sequenza ordinata di cause in cui una causa connessa ad un'altra produce da se stessa ciascuna cosa... Così stando le cose, niente è accaduto che non dovesse accadere, e allo stesso modo niente accadrà di cui la natura non contenga le cause che produrranno proprio quel risultato.

Come vedete, l'idea è sostanzialmente la stessa: una fitta rete di rapporti di causa-effetto fa procedere il mondo in modo inevitabile o, appunto, *determinato*.

Ora, se il determinismo fisico sia vero, se il mondo funzioni effettivamente così come questa tesi afferma, è una questione molto difficile, che non rientra né nei nostri scopi di oggi né nella mia competenza. Certamente ci sono ambiti macroscopici della realtà fisica che funzionano in modo deterministico; la cosa è molto meno chiara al livello microscopico, dove interpretazioni diverse della fisica dei quanti hanno implicazioni diverse al riguardo. Proprio perché la questione non è chiara, tuttavia, dobbiamo comunque considerare la possibilità che il determinismo fisico risulti vero, e chiederci quali sarebbero le conseguenze. Qui sorge subito un enorme problema. Del mondo facciamo parte anche noi esseri umani, che diamo per scontato di possedere una volontà libera, in base alla quale decidiamo di compiere azioni che non sono la semplice conseguenza di leggi fisiche. Ora, per esempio, io penso di essere libero di decidere di alzare un braccio, senza che questa decisione sia necessitata o determinata da una qualche catena di cause ed effetti iniziata fuori di me. Ma se il determinismo fisico è vero e governa *tutto* il mondo, se quindi anche gli impulsi nervosi che partono dal mio cervello e sovrintendono al mio gesto di alzare il braccio sono causalmente determinati, che ne è della mia libertà? In che senso posso ancora ritenere che quel gesto sia il risultato di una mia libera scelta, se le cose stanno in un modo tale che un intelletto ideale come quello concepito da Laplace avrebbe potuto prevederlo in anticipo?

Davanti a una domanda come questa, apparentemente l'unica risposta possibile consiste nel compiere una parziale ritirata e ridefinire il nostro concetto di libertà.

Possiamo cioè pensare di essere liberi in un senso diverso e più modesto rispetto a quello che davamo inizialmente per scontato. Possiamo supporre che, se anche gli impulsi nervosi che sono la causa immediata del mio gesto sono a loro volta il risultato finale di una catena causale che coinvolge complicati meccanismi atomici e molecolari, comunque nella catena causale giochi un ruolo il fatto che il cervello sia il mio e non il vostro, che la struttura fisico-chimica delle mie sinapsi sia questa anziché un'altra. Insomma, se il determinismo fisico è vero dobbiamo rinunciare all'idea che io abbia deciso liberamente di alzare il braccio *nel senso che, nella stessa situazione, avrei anche potuto decidere di non alzarlo*: se io sono fatto così, agli stessi stimoli non posso che reagire nello stesso modo. Ma possiamo almeno tener ferma l'idea che io abbia deciso liberamente di alzare il braccio in un senso più modesto, cioè nel senso che la mia natura individuale – il modo in cui sono fatto a livello atomico e molecolare – sia stato uno tra i fattori causali in gioco nel determinare quel gesto: *agli stessi stimoli un altro individuo avrebbe reagito diversamente*. In questo senso – nel senso, cioè, che le mie azioni sono appunto le mie e sono determinate (anche) dalla mia natura individuale – posso ancora pensare di essere libero.

Questo tipo di mossa concettuale era già la soluzione adottata dai filosofi stoici; oggi prende tecnicamente il nome di *compatibilismo*. Si tratta di una posizione che naturalmente può lasciarci insoddisfatti: possiamo pensare che questa nozione di libertà sia troppo povera e frustrante. Ma se il determinismo fisico è vero non sembra che abbiamo molto di meglio da scegliere.

Ciò detto, vorrei ora passare a considerare – come avevo promesso all'inizio – una posizione diversa, benché connessa, ovvero quella che prende il nome di *determinismo logico*. Per far questo sarà utile procedere mettendo insieme per prima cosa alcune definizioni:

- *Enunciato dichiarativo*: una frase di senso compiuto che pretende di descrivere o comunicare come stanno le cose: per es. “Giorgio corre”, “Chi tace acconsente”, “ $2 + 2 = 5$ ”, “Giulio Cesare morì il 15 marzo del 44aC”, ecc.
- *Evento contingente*: un evento che può accadere o non accadere: p.e. che il 6 novembre 2013 alle 12 Giorgio starnutisca.
- *Principio di Bivalenza*: il principio secondo cui ogni enunciato (dichiarativo) è o vero o falso, cioè non può essere né vero né falso, oppure avere un terzo altro valore di verità alternativo al vero e al falso.

Queste definizioni sembrano ragionevoli e sono largamente condivise. Non appena le facciamo interagire fra loro, però, succede qualcosa di molto interessante e problematico. Che succede se il Principio di Bivalenza si applica a *tutti* gli enunciati, quindi *anche agli enunciati su eventi futuri contingenti*? Se, per es., un enunciato come “Domani alle 17 pioverà” è vero o falso già oggi, prima del verificarsi dell'evento, allora sembrerebbe essere già determinato, fissato o stabilito se domani alle 17 pioverà oppure no. Più in

generale, se il Principio di Bivalenza vale anche per gli enunciati su eventi futuri contingenti, allora sembra essere già determinato o fissato ciò che accadrà in futuro. In questo consiste il determinismo logico.

Prima di procedere vorrei fare due precisazioni importanti. In primo luogo, qui non stiamo parlando della possibilità che qualcuno *sappia* se un certo enunciato su un evento futuro contingente è vero o falso e quindi conosca il futuro. Stiamo parlando della possibilità che ognuno di questi enunciati *sia* vero o falso, e quindi presupponga un futuro già scritto, indipendentemente dalla conoscenza di ciò da parte di chiunque. Il punto problematico per noi è se ci sia, per così dire, un libro su cui è già scritto il futuro, anche nell'ipotesi che un tale libro sia inaccessibile a chiunque.

In secondo luogo, il tipo di determinismo che stiamo tratteggiando deve essere tenuto ben distinto dal determinismo fisico, di cui parlavamo poco fa. Ora non stiamo parlando di cause ed effetti: non stiamo dicendo niente su *come* un futuro già determinato dovrebbe concretamente prodursi. Stiamo solo ipotizzando che da certe assunzioni (il Principio di Bivalenza) discenda la conseguenza che tutto il futuro è determinato; teoricamente ciò potrebbe essere dovuto al destino anziché a una catena di rapporti causali – anche se naturalmente il determinismo fisico si presta particolarmente bene a completare il determinismo logico e gli offre un fondamento più serio, convincente e scientifico di quello che potrebbe essere offerto da un riferimento al destino.

Il primo autore che discute il determinismo logico nella filosofia occidentale è Aristotele, in un testo che ha avuto grande influenza: il capitolo 9 del trattato *De interpretatione*.<sup>4</sup> Aristotele argomenta proprio che, se il Principio di Bivalenza vale anche per gli enunciati su quelli che solitamente consideriamo eventi futuri contingenti, allora tali eventi non saranno più contingenti, ma determinati o necessari: “Niente, dunque, è o accade, o sarà o non sarà, per caso o come capita, ma tutte le cose sono per necessità e non come capita” (*De int.* 9. 18b5–7). Una tale conclusione per Aristotele è assurda e intollerabile:

Se dunque queste cose sono impossibili (vediamo infatti che le cose che saranno hanno principio dal deliberare e dal fare qualcosa, e che in generale nelle cose che non sono sempre in atto c'è la possibilità di essere e non essere, e che in esse sono ammessi entrambi, sia l'essere sia il non essere, e quindi anche l'accadere e il non accadere [...]), è evidente, quindi, che non tutte le cose sono o accadono per necessità, ma alcune accadono come capita, e non è per niente più vera l'affermazione o la negazione, in altre invece una delle due alternative è più vera e per lo più, ma tuttavia può accadere anche l'altra e non la prima. (*De int.* 9. 19a7–22)

Non è possibile, dice Aristotele, eliminare la dimensione di ciò che avviene “come capita” e di ciò che dipende dalla nostra deliberazione. (Nel vedere un conflitto tra l'idea che tutto sia determinato e la nostra deliberazione Aristotele dimostra chiaramente di non immaginare una soluzione di tipo compatibilista, secondo la quale la nostra

4 Per un'approfondita discussione di *De interpretatione* 9 si veda [2, pp. 198–233].

deliberazione gioca un ruolo importante pur essendo anch'essa determinata.) Quanto alla verità o falsità degli enunciati, che è l'origine dei nostri guai, Aristotele alla fine del passo afferma che in alcuni casi "non è per niente più vera l'affermazione o negazione", mentre in altri "una delle due alternative è più vera e per lo più, ma tuttavia può accadere anche l'altra e non la prima". Possiamo supporre che questo sia un modo – in verità poco felice – per dire che, in alcuni casi, all'interno di una coppia di enunciati contraddittori uno dei due descrive un evento il cui verificarsi è più probabile del verificarsi dell'evento opposto, senza tuttavia che l'evento opposto sia escluso del tutto.

Più avanti Aristotele formula più chiaramente la sua proposta di soluzione. Lo fa in un passo difficile, che sarà bene riassumere prima di leggere. La sua idea sembra essere che *bisogna limitare la validità del Principio di Bivalenza*: nel caso dei futuri contingenti ciò che è vero già nel presente, in anticipo rispetto al verificarsi dell'evento, e quindi anche ciò che è determinato o necessario, è la *disgiunzione* che asserisce che l'evento si verificherà o non si verificherà, ma ciascuno dei due membri della disgiunzione non è ancora né vero né falso, e quindi nemmeno determinato o necessario. Aristotele considera come esempio la coppia di enunciati contraddittori "Domani ci sarà una battaglia navale" / "Domani non ci sarà una battaglia navale"; è possibile che lo faccia avendo in mente la battaglia di Salamina (480 a.C.), in cui i Greci sconfissero i Persiani inducendoli ad attaccare battaglia in un tratto di mare a loro favorevole grazie a uno stratagemma – uno stratagemma la cui efficacia rimase per l'appunto incerta fino all'ultimo. Ebbene, la soluzione sembra essere questa: già oggi, quando è ancora indeterminato se domani ci sarà o no una battaglia navale, è vera – e quindi necessaria o determinata – la *disgiunzione* "O domani ci sarà una battaglia navale, o domani non ci sarà una battaglia navale", perché queste sono le uniche due alternative possibili e certamente si verificherà una di queste due possibilità; ma *non è lecito distribuire la verità e la necessità sui due membri della disgiunzione*, asserendo che "O è oggi vero/necessario che domani ci sarà una battaglia navale, o è oggi vero/necessario che domani non ci sarà una battaglia navale". Chi asserisse questo starebbe asserendo che una delle due possibilità è già oggi vera e necessaria (anche se non sappiamo quale delle due) e starebbe quindi difendendo il determinismo logico.

Dopo questa premessa possiamo leggere il denso testo di Aristotele:

È necessario che ogni cosa sia o non sia, e che sia in futuro o no; però non si deve dividere e dire che uno dei due membri è necessario. Voglio dire che, p.e., è necessario che domani ci sia una battaglia navale o non ci sia, però non è necessario che domani avvenga una battaglia navale, né che non avvenga. Tuttavia è necessario che avvenga o non avvenga. [...] È necessario che uno dei due membri della coppia di enunciati contraddittori sia vero o falso, non però questo o quest'altro, ma come capita, e che sia più vero uno dei due, ma non ancora vero o falso. (*De int.* 9. 19a28–39)

La soluzione di Aristotele viene avanzata anche dai filosofi epicurei. Non è chiaro se gli epicurei conoscessero o no il *De interpretatione*, ma certamente l'idea è la stessa. Eccone una chiarissima formulazione, riferita con ostilità da Cicerone (*De fato* 37–8):

È necessario che fra due opposti (e qui chiamo “opposti” quelli dei quali uno afferma qualcosa e l’altro lo nega) – è necessario, dico, contro la volontà di Epicuro, che uno sia vero e l’altro falso: p.e. “Filottete sarà ferito” è stato vero prima di tutti i tempi e “... non sarà ferito” falso. A meno che vogliamo per caso seguire l’opinione degli Epicurei, i quali dicono che tali enunciati non sono né veri né falsi, o piuttosto, quando di questo si vergognano, dicono ciò che è però più svergognato, cioè che sono vere le disgiunzioni formate dagli opposti, ma che delle cose che vengono enunciate al loro interno nessuna delle due è vera.

Dicevo prima che la soluzione di Aristotele (e di Epicuro) ha avuto grande influenza nella storia della filosofia ed è ancor oggi dibattuta dai filosofi, che la sostengono o la criticano con diversi e sofisticati argomenti nei quali ora non ci addentreremo. Vorrei lasciarvi segnalandovi soltanto la critica avanzata da un grande filosofo americano del Novecento, Willard Van Orman Quine. Normalmente pensiamo che una disgiunzione, “P o Q”, sia vera se e soltanto se è vero almeno uno dei due disgiunti. Ma se è così, allora come può Aristotele sostenere che nel caso dei futuri contingenti la disgiunzione (“O domani ci sarà una battaglia navale, o domani non ci sarà una battaglia navale”) sia vera senza che sia vero nessuno dei due disgiunti? Che cosa fa sì che la disgiunzione sia vera? La critica di Quine è una critica molto seria, ma Aristotele ha trovato i suoi difensori. Noi però ci fermeremo qui, senza seguire questo dibattito: sia perché abbiamo finito il tempo a nostra disposizione, sia perché in filosofia è inevitabile lasciare sempre qualche questione in sospeso.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] BLACKBURN, S., *Pensa*, Il Saggiatore, Milano 2001 (ed. or. *Think. A Compelling Introduction to Philosophy*, Oxford University Press, Oxford 1999).
- [2] CRIVELLI, P., *Aristotle on Truth*, Cambridge University Press, Cambridge 2004.
- [3] ISRAEL, G., *Il determinismo meccanico e il suo ruolo nelle scienze*, in M. Cini (a cura di), *Caso, necessità e libertà*, Cuen, Napoli 1998, pp. 45–62.



## GLI AUTOMI E L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE TRA FILOSOFIA E SCIENZA<sup>1</sup>

MARCO SALUCCI

*Società Filosofica Italiana*

La questione degli automi affascina l'uomo da tempi immemorabili. Per cominciare, appunto, dall'inizio, ricordo che già Omero raccontava il mito del dio-fabbro Efesto il quale aveva costruito mantici in grado di funzionare da soli, tripodi in grado di muoversi da soli per portare cibi agli dei, cani da guardia di bronzo viventi ed eternamente giovani, ancelle di aureo metallo che aiutavano il dio nel suo passo claudicante: "due ancelle si affaticavano a sostenere il loro signore, auree, simili a fanciulle vive; avevano mente nel petto e avevano voce e forza" [1, XVIII vv. 417-421]. Gli automi sono artefatti che destano meraviglia per la loro capacità di agire da soli: l'ambiguità dell'etimologia della parola in questo caso è benvenuta: "automa" può derivare da *taumazein*, cioè "meravigliare", e da *automaton* cioè "che agisce da solo".

La storia della letteratura è costellata di personaggi fantastici che rappresentano esseri non umani, sia naturali che artificiali, in grado di comportarsi come esseri umani. Per citarne alcuni tra i più famosi e in ordine sparso: il *Golem* (il gigante di terra della tradizione ebraica), l'*homunculus* (l'uomo creato *in vitro* dagli alchimisti), la shelleyana creatura di Frankenstein, la fanciulla meccanica dei racconti Hoffmann musicata da Hoffenbach. Lo stesso termine "robot" ha un'origine letteraria (nella letteratura teatrale cecoslovacca degli anni '20, ad opera dei fratelli Karel e Josef Capek). Infine le contemporanee officine della mitologia, il cinema e la fantascienza, ci hanno reso familiari molte specie di robot, replicanti, zombie, scienziati pazzi, alieni, mostri. In realtà niente di radicalmente nuovo rispetto agli esseri non umani immaginati dalle mitologie antiche. Ma ciò che è più importante è che non è neppure sostanzialmente cambiato lo stesso problema fondamentale che sta dietro a tali creature durante l'intera storia del pensiero umano: già Omero ce lo suggerisce quando afferma che le auree ancelle avevano "mente nel petto": è realmente possibile per gli automi avere una mente? In altre parole: è possibile replicare artificialmente l'intelligenza? Va da sé che l'aspetto esteriore che un dispositivo dotato di intelligenza artificiale dovrebbe avere è trascurabile: il fatto che assomiglino a cani di bronzo, a fanciulle d'oro, a giganti di fango o ai robot come quelli di *Guerre stellari* è di secondaria importanza. Ciò che conta è se sia possibile che all'interno di tali "gusci" possa abitare una mente. Dunque la forma più genuina di porre il

1 Lezione tenuta il 27 novembre 2012 presso il Liceo Ginnasio "Galileo Galilei" di Firenze.

problema in questione è quella di domandarsi se possa esistere una mente artificiale ovvero se ciò che attualmente si avvicina più di ogni altro artefatto a una mente, i computer, possa avere una mente.

C'è un'intera corrente di pensiero (pluridisciplinare poiché comprende filosofi, scienziati cognitivi, psicologi, informatici ecc.) la quale ritiene che, sì, è possibile che i computer possano avere una mente per la buona ragione che la mente è una sorta di computer. Ovviamente qui uso il termine "computer" per semplicità intendendo d'ora in poi non l'hardware ma il software. Quando dunque si dice che la mente umana è un computer si intende dire che gli stati mentali dell'uomo sono come programmi per computer.

H. Putnam, uno dei padri fondatori della contemporanea filosofia della mente è stato colui che più di ogni altro ha utilizzato situazioni fantascientifiche per discutere serissime questioni filosofiche: non si può sperare niente di meglio delle sue parole per entrare in argomento.

Chiunque abbia passato molte ore (ben spese o mal spese?) della propria fanciullezza a leggere storie di missili e di robot, di androidi e di telepati, di civiltà galattiche e di macchine del tempo, sa benissimo che i robot [...] possono essere buoni o tremendi, amici fedeli dell'uomo o suoi acerrimi nemici. I robot possono essere esemplari o pateticamente buffi: incuterci sbigottita ammirazione coi loro poteri sovrumani [...] oppure divertirci con il loro comportamento ingenuo e sempliciotto [...]. Almeno nella letteratura fantascientifica, dunque, un robot può essere "cosciente", il che significa [...] avere sensazioni, pensieri, atteggiamenti, tratti caratteriali. Ma è veramente possibile? E se lo è, quali sono le condizioni necessarie e sufficienti? E perché noi filosofi dovremmo comunque occuparcene? [...] La mia speranza [è] che il problema della mente delle macchine si dimostrerà in grado di offrire, almeno per qualche tempo, un approccio nuovo e stimolante a questioni decisamente tradizionali di filosofia della mente. [2, pp. 416 e 425]

La forma che il problema in questione ha assunto nel pensiero moderno e contemporaneo è in sostanza dovuta al filosofo e matematico francese René Descartes (1596-1650) il quale si domandava che cosa gli avrebbe potuto garantire che - parafrasando le sue parole - i cappelli e i mantelli che vedeva passare giù per strada dalla sua finestra coprivano realmente degli uomini veri e non degli automi? Domanda retorica perché Descartes in realtà riteneva che esistessero due modi sicuri per distinguere gli automi da un uomo: "Il primo è che non potrebbero mai valersi di parole o di altri segni, componendoli come noi facciamo per esprimere agli altri i nostri pensieri", "Il secondo mezzo è che, anche se facessero alcune cose ugualmente bene e anzi meglio di noi, essi inevitabilmente sbaglierebbero in alcune altre" [3, pp. 40-41]. In altre parole Descartes confidava nella capacità caratteristica della mente umana di essere creativa e in quella opposta della ripetitività del comportamento degli automi. Tale modo di distinguere intelligenza artificiale da intelligenza naturale è però entrato in crisi nel Novecento quando ha cominciato ad essere possibile rendere flessibile il comportamento di mac-

chine governate da regole. In realtà, a pensarci bene, la creatività non è incompatibile con il seguire regole: un giocatore di scacchi “crea” la sua partita obbedendo a regole che non ammettono deroghe. Uno degli studiosi che maggiormente ha contribuito allo sviluppo della nozione di creatività governata da regole è stato il linguista americano N. Chomsky che, nel 1966, così ha scritto:

Benché [già ai tempi di Descartes] si fosse compreso che i processi linguistici sono in un certo senso “creativi”, gli strumenti tecnici per esprimere un sistema di [regole in grado di descrivere adeguatamente la creatività] non erano disponibili fino a tempi molto recenti: Infatti una comprensione piena di come una lingua può [...] “fare un uso infinito di mezzi finiti” si è sviluppata soltanto negli ultimi trent’anni, nel corso di studi sui fondamenti della matematica” [4, p. 48]

Oppure, secondo le parole di un altro studioso: “la peculiarità inconfondibile del lavoro in Intelligenza Artificiale dipende dal fatto che si cerca di stabilire [...] insiemi di regole che dicano a macchine non flessibili come essere flessibili” [5, p. 28].

Fra coloro che hanno reso disponibili gli strumenti matematici a cui allude Chomsky per “fare un uso infinito di mezzi finiti” si deve annoverare Alan Turing (1912-1954). Turing, del quale ricorre quest’anno il centenario della nascita, è stato uno dei geni del Novecento. Matematico inglese, aveva collaborato con i servizi segreti britannici durante la seconda guerra mondiale alla decifrazione dei codici di comunicazione tedeschi. A lui dobbiamo la nascita della tecnologia e della teoria dei computer e dell’intelligenza artificiale. Uno dei primi computer mai costruiti, il *Colossus*, si basava sulle idee di Turing e fu decisivo nella decifrazione dei codici segreti nazisti, tanto che è stato definito il “computer che vinse la guerra”.

A partire da una riflessione sui concetti di ricorsività e di commutabilità, Turing giunse a risultati che costituiscono il vero e proprio atto di nascita dell’informatica contemporanea e che sono sintetizzabili nella cosiddetta *macchina di Turing*. Una macchina di Turing è una macchina astratta, cioè fisicamente non realizzata: in realtà è un concetto, un concetto attraverso il quale è definibile ciò che è calcolabile. Una macchina di Turing è costituita da un nastro diviso in caselle che scorre attraverso un organo (una testina) di lettura/scrittura. Su ogni casella la testina può scrivere un simbolo di un alfabeto dato. La testina legge una casella alla volta e può leggere, cancellare o scrivere un simbolo sulla casella in esame e muoversi a destra o a sinistra di una casella.

Una macchina di Turing è interamente descritta dal suo registro o tavola di macchina. Il registro o tavola di macchina è una matrice (cioè una tabella con righe e colonne) nella quale vengono specificate le coppie di output e stato interno per ogni coppia di input e stato interno. Detto ciò, già dovrebbe essere abbastanza chiaro che un programma per computer è una macchina di Turing. Ma quello che adesso dobbiamo notare è che una macchina di Turing è interamente descritta dal suo registro e che in tale descrizione non compaiono riferimenti agli elementi fisici con cui, eventualmente, potrebbe essere realizzata:

la “descrizione logica” di una macchina di Turing non include alcuna specificazione della natura fisica degli “stati”; e anzi nemmeno della natura fisica della macchina (consisterà di relé elettronici, di cartone, di impiegati umani seduti a tavolino, o di che altro?). In altre parole, una data macchina di Turing è una macchina astratta, fisicamente realizzabile in un numero pressoché infinito di modi diversi [6, p. 401].

Dunque: “la materia di cui siamo fatti non impone restrizioni alla nostra forma intellettuale” [5, p. 330]. Ciò significa che esseri completamente diversi dal punto di vista fisico possono condividere gli stessi stati mentali e pertanto è del tutto sensato dire che, ad esempio, un animale, un marziano, un robot o un computer “credono che stia per piovere”, purché tale credenza possa essere descritta per tutti gli esseri in questione dalle stesse triplette di input, stati interni e output: cioè possa essere descritta dalla stessa macchina di Turing. Definiti gli stati mentali come funzioni di input e output indipendenti dal materiale in cui sono realizzati, non solo diventa possibile che anche i computer abbiano stati mentali, ma i computer hanno costituito il modello al quale i filosofi della mente e gli scienziati cognitivi si sono ispirati per descrivere l’attività mentale degli esseri umani. Il motto di tale punto di vista è: “la mente sta al cervello come il software sta all’hardware”.

Se gli stati mentali stanno al cervello nella stessa relazione in cui gli stati di una macchina di Turing stanno alla sua realizzazione fisica, allora

potrebbe trattarsi di un sistema di leve e ingranaggi come un vecchio calcolatore meccanico; di un sistema idraulico attraverso cui scorre acqua; di una rete di transistor stampati in un chip di silicio attraverso cui passa corrente elettrica; o addirittura di un cervello. Ognuna di queste macchine utilizza un proprio mezzo peculiare per rappresentare i simboli [su cui opera]: le posizioni degli ingranaggi, la presenza o assenza di acqua, il livello di tensione elettrica, e, forse, gli impulsi nervosi [7, p. 39].

Ora, se si concorda sull’impossibilità di distinguere la mente naturale dalla mente artificiale a partire dalla realizzazione fisica e dalla capacità o meno di agire in modo creativo allora non resta che trarre una conclusione: “il solo modo per cui si potrebbe esser sicuri che una macchina pensa è quello di *essere* la macchina e di sentire se stessi pensare” [8, p. 169], il che è ovviamente impossibile. Non solo ma “secondo questa opinione la sola via per sapere che *un uomo* pensa è quella di essere quell’uomo in particolare [...] Invece di discutere in continuazione su questo punto, è normale attenersi alla convenzione – suggerita dalla buona creanza – che ognuno pensi” [*ibidem*]. Ma perché non dovremmo attenerci a tale convenzione anche nei confronti degli automi? E infatti Turing percorre l’unica via *praticabile* per affrontare la questione della mente delle macchine attraverso il “gioco dell’imitazione”, successivamente noto anche come “test di Turing”.

Mi propongo di considerare la domanda: “possono pensare le macchine?” [...] La nuova forma del problema può essere descritta nei termini di un gioco, che

chiameremo il “gioco dell’imitazione”. Questo viene giocato da tre persone, un uomo (A), una donna (B) e l’interrogante (C), che può essere dell’uno o dell’altro sesso. L’interrogante viene chiuso in una stanza, separato dagli altri due. Scopo del gioco per l’interrogante è quello di determinare quale delle altre due persone sia l’uomo e quale la donna. Egli le conosce con le etichette X e Y, e alla fine del gioco darà la soluzione “X è A e Y è B” o la soluzione “X è B e Y è A”. L’interrogante può far domande di questo tipo ad A e B: “vuol dirmi X, per favore, la lunghezza dei [suoi] capelli?” Ora supponiamo che X sia in effetti A, quindi A deve rispondere. Scopo di A nel gioco è quello di ingannare C e far sì che fornisca una identificazione errata [...] Le risposte, in modo che il tono della voce non possa aiutare l’interrogante, dovrebbero essere scritte, o, meglio ancora, battute a macchina. [...]

Poniamo ora la domanda: “che cosa accadrà se una macchina prenderà il posto di A nel gioco?” L’interrogante darà una risposta errata altrettanto spesso di quando il gioco viene giocato tra un uomo e una donna? Queste domande sostituiscono quella originale: “possono pensare le macchine?”. Il metodo delle domande e risposte sembra essere adatto per introdurre nell’esame quasi ogni campo della conoscenza umana che desideriamo. Non desideriamo penalizzare la macchina per la sua incapacità di brillare in un concorso di bellezza, né penalizzare un uomo perché perde una corsa contro un aeroplano. Le condizioni del nostro gioco rendono irrilevanti queste incapacità [8, p. 116]

Un celebre tentativo di mettere in crisi l’approccio di Turing è stato fatto dal filosofo americano J. Searle. Egli ha rovesciato il test di Turing cercando di fare proprio quello che Turing considerava impossibile e cioè “*essere* la macchina e sentire se stessi pensare” (vedi *supra*). In altre parole per sapere se i computer pensano dobbiamo metterci noi stessi nei panni del computer. L’argomento di Searle è noto come “argomento della stanza cinese” poiché Searle immagina che un uomo sia chiuso in una stanza e riceva dall’esterno dei fogli sui quali sono stampati degli ideogrammi cinesi [9, pp. 48-49]. Consultando un manuale nel quale sono date le regole con le quali, tenendo conto soltanto della forma degli ideogrammi, è possibile far corrispondere certi ideogrammi a certi altri ideogrammi, l’uomo nella stanza deve trascrivere gli ideogrammi corrispondenti a quelli ricevuti e trasmetterli all’esterno. L’uomo nella stanza non conosce il cinese, ma, nonostante ciò, risponde sensatamente a domande che gli vengono poste su una storia cinese.

L’uomo nella stanza, argomenta Searle, non fa niente di più di ciò che farebbe un computer programmato per eseguire lo stesso compito, e cioè manipolare simboli in base alla loro forma. Ma l’uomo nella stanza *sa* di non capire il cinese, dunque se l’uomo non capisce la storia in cinese, allora non la capirà neppure il computer. Rispetto ai sostenitori della teoria computazionale della mente, Searle opera un rovesciamento di prospettiva: non è la macchina che simula gli stati mentali di un essere umano, ma un essere umano che simula gli stati della macchina. Quindi anche se non sappiamo ciò che accade nella macchina, sappiamo che, se la macchina manipola simboli, non comprende il significato dei simboli.

Il dibattito suscitato dall'argomento della stanza cinese è molto ampio ed ha trovato sostenitori e avversari e dunque, implicitamente, avversari e sostenitori della posizione di Turing. Nessuno dei due partiti ha avuto, al momento, partita vinta. Ma la discussione ha messo in evidenza che uno dei compiti della ricerca futura è quello di chiarire se le proprietà mentali derivano da proprietà logiche (come quelle dei programmi) o da proprietà fisiche caratteristiche del cervello. E non è da escludere neppure una terza possibilità, del tutto alternativa o che rappresenti una sintesi di quelle attualmente in competizione.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Omero, *Iliade*, Padova, Marsilio 2003, trad. M.G. Ciani.
- [2] Putnam H., *I robot: macchine o vita creata artificialmente?*, in *Mente, linguaggio e realtà*, Adelphi, Milano 1987, pp. 416-438.
- [3] Descartes R., *Discorso sul metodo*, Laterza, Bari 1978.
- [4] Chomsky N., *Linguistica cartesiana. Un capitolo di storia del pensiero razionalistico*, *Saggi Linguistici*, vol. III, Boringhieri, Torino 1969.
- [5] Hofstadter D.R., *Gödel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Milano, Adelphi
- [6] Putnam H., *Mente, linguaggio e realtà*, Milano, Adelphi 1987.
- [7] Johnson-Laird P.N., *La mente e il computer. Introduzione alla scienza cognitiva*, Bologna, Il Mulino 1990
- [8] Turing A., *Macchine calcolatrici e intelligenza*, (1950), in Somenzi V. (a cura di), *La filosofia degli automi*, Torino, Boringhieri 1965.
- [9] Searle J., *Menti, cervelli e programmi. Un dibattito sull'intelligenza artificiale*, Padova, CLUP-CLUED 1984.



*Area Medico-Biologica  
e dell'Evoluzione*



## LA RICERCA DELLA VITA NELL'UNIVERSO<sup>1</sup>

GIORGIO BIANCIARDI

*Dipartimento di Biotecnologie Mediche, Università degli Studi di Siena*

### **La Ricerca della Vita nell'Universo, dalla riflessione filosofica alle Scienze Sperimentali**

Il problema dell'esistenza della vita negli altri Mondi è molto antico. Nel Mondo Occidentale già i pensatori dell'antica Grecia si ponevano la questione, i Latini ne continuarono la riflessione filosofica e, dopo l'intervallo del Medioevo, dove non c'era più spazio per le ipotesi della Vita negli altri Mondi, l'interrogativo tornò ad aprirsi. Oggi, per la prima volta nella storia dell'Umanità, la questione può essere affrontata con i consueti metodi sperimentali e osservazionali della Scienza. Nel 2001 si apre il primo Convegno internazionale di Eso-Astrobiologia (The first European Workshop on Exo/Astrobiology. 21-23 maggio 2001, Frascati) e l'astrobiologia, la ricerca dell'origine della vita e della sua presenza oltre la Terra, diventa tematica scientifica "ufficiale".

### **La Ricerca della Vita su Marte**

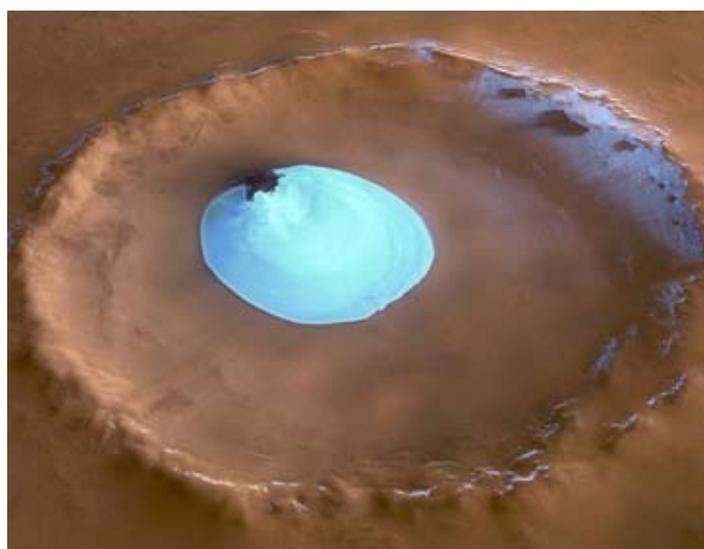
La ricerca della vita sul Pianeta Rosso riveste un ruolo di primo piano. A partire dai canali di Marte costruiti da una mitica civiltà marziana, di Percival Lowell, e in maniera molto più soft, dal nostro Giovanni Virginio Schiaparelli [1-3]. Finiti i sogni, le prime imprese spaziali verso Marte rivelarono un pianeta fortemente craterizzato, morto: il pianeta più simile alla Terra appariva una brutta copia della Luna. Troppo poco densa la sua atmosfera da poter ospitare acqua liquida, il componente fondamentale necessario perché la vita non solo possa esistere, ma anche nascere in un ambiente planetario. Le calotte polari, da secoli osservate con i telescopi, si rivelavano costituite non da ghiaccio d'acqua ma dal più prosaico ghiaccio secco, anidride carbonica solida. Se questo quadro sconsolato nasceva dalle prime fuggevoli foto inviate dalle sonde Mariner 4, 6 & 7 (1965-1969), l'arrivo in orbita stabile intorno a Marte del Mariner 9 nel 1971 rivelò invece un pianeta geologicamente molto più interessante, con chiari segni dell'esistenza di acqua liquida, alluvionale e fluviale, almeno nel lontano passato del pianeta. E' così che fu ideato e fatto arrivare su Marte il primo (e finora unico) test biologico compiuto su un altro pianeta, le missioni Viking 1 & 2, atterrate sul pianeta nel 1976 per compiere una intera batteria di analisi biologiche ([http://en.wikipedia.org/wiki/Viking\\_spacecraft\\_biological\\_experiments](http://en.wikipedia.org/wiki/Viking_spacecraft_biological_experiments)). Se il rilascio di anidride carbonica all'aggiunta di brodo nutritivo (respirazione microbica?) fece gioire Gilbert V. Levin, Principal Investigator

---

1 Lezione tenuta il 7 novembre 2012 presso IIS "E. Barsanti", Massa

del test biologico Labeled Release, la completa assenza di presenza di composti organici evidenziata dal Gas Cromatografo/Spettrometro di Massa (GCMS) dei Viking sembrò mettere fine alla questione in modo negativo (per una storiografia completa della ricerca di vita su Marte, vedi [3]).

La ripresa delle missioni marziane da parte americana alla fine degli anni '90 e nuove esperienze a terra tornarono ancora a cambiare la situazione. Se già gli orbiter dei Viking avevano confermato un passato di Marte ricco di acqua allo stato liquido, o almeno di ghiaccio d'acqua allo stato fuso (si veda il ricchissimo archivio: <http://pdsmaps.wr.usgs.gov/PDS/public/explorer/html/marsadv.html>), la Mars Odyssey, Statunitense, in orbita intorno a Marte dal 2001, rivelava che le calotte polari marziane sono enormi zoccoli di acqua ghiacciata (e solo una tenue vernice di anidride carbonica solida a rivestirle, ingannando le Mariner degli anni '60) e la Mars Express, Europea, in orbita intorno al pianeta dal 2003, con il radar italiano MARSIS, evidenziava come nel sottosuolo di Marte (ad 1 metro di profondità o anche meno) esista una grande quantità di ghiaccio d'acqua.

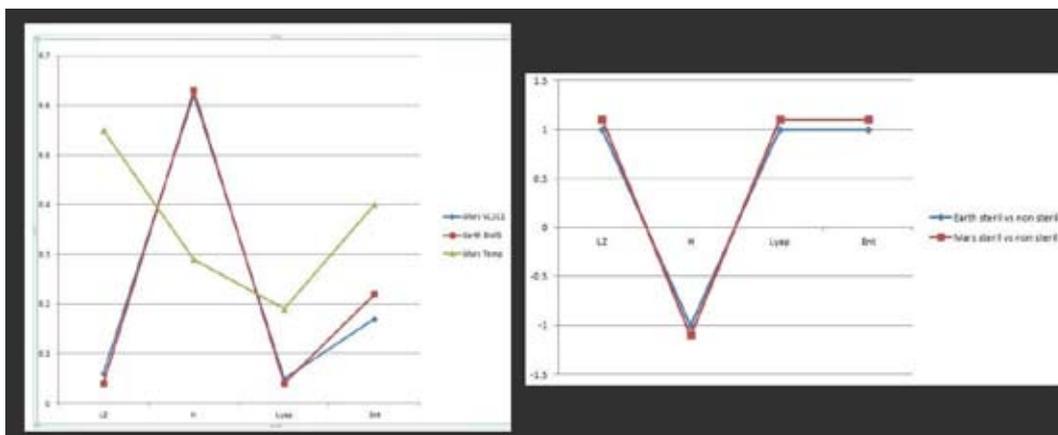


*Figura 1. Quello che rimane di un antico lago marziano grande 80 km in diametro.  
ESA/DLR/FU Berlin (G.Neukun), ESA Web Portal [www.esa.int](http://www.esa.int)*

D'altronde il ritrovamento a terra del meteorite proveniente da Marte, ALH84001, mostrava senza alcun ombra di dubbio come quella roccia fosse stata immersa in uno specchio d'acqua liquida su Marte prima di essere giunta a noi (testimonianza di un antico Marte di 3,5 miliardi di anni fa), e portava indizi di possibili forme di vita marziane [4,5]. Inoltre, la sensibilità del GCMS, tale da annullare (?) la risposta positiva dell'LR experiment, veniva posta in dubbio [6]. Ancora: cos'erano quei derivati clorurati evidenziati dal GCMS durante i suoi test marziani? Inquinanti di origine terrestre come all'inizio forse troppo frettolosamente fu stabilito, oppure residui di composti organici marziani distrutti dalle alte temperature dell'apparecchiatura? [7].

Chi scrive queste righe ha potuto, da una decina di anni, occuparsi del problema. E' impressionante quanto siano simili (in un'analisi quantitativa con indici non lineari e

una profonda analisi statistica) i tracciati del rilascio di anidride carbonica da parte del suolo marziano una volta che a questo fu aggiunto brodo nutritivo, nell'esperimento del Labeled Release dei Viking, e quelli di un analogo esperimento effettuato a terra con rocce terrestri in presenza di microrganismi (dati pubblicati recentemente e reperibili online [8,9, e, in versione divulgativa, vedi 10] ).



*Figura 2. Sinistra: perfetta sovrapposizione delle caratteristiche del rilascio di anidride carbonica da parte del suolo marziano (VL2C1) con quello di un campione terrestre in presenza di microrganismi (Biol5), inoltre l'indipendenza dalla fluttuazione di temperatura (Mars temp) durante l'esperimento (sei giorni su Marte) porterebbe anche ad escludere l'intervento di banali reazioni chimiche nel generare tali fluttuazioni. Destra: anche dopo sterilizzazione la sovrapposizione dei tracciati risulta perfetta*

## Oltre Marte

In attesa che future missioni marziane riescano a dare la definitiva conferma della presenza di microrganismi su Marte, nel Sistema Solare altri ambienti possono prestarsi per la ricerca di forme di vita aliena (tra l'altro, quando sarà confermata la presenza di vita su Marte dovremo poi domandarci se questa sia realmente autoctona oppure il risultato di scambio di materiale biologico tra la Terra e Marte, o, magari, viceversa).

I satelliti di Giove, in primis Europa ([http://it.wikipedia.org/wiki/Vita\\_su\\_Europa](http://it.wikipedia.org/wiki/Vita_su_Europa)), ma non solo, ospitano presumibilmente oceani di acqua liquida al di sotto della crosta ghiacciata superficiale. La vita può esistere, ormai ben lo sappiamo, nelle grandi profondità, staccate dal ciclo della fotosintesi solare, il motore principe della vita sulla Terra. Vita sotterranea dove la fonte di energia di piccoli ecosistemi origina dall'ossidazione di composti inorganici, quali l'ammoniaca, l'idrogeno, l'acido solfidrico, o direttamente dalle rocce, ferro (come ione ferroso) o lo zolfo e, persino, da sorgenti radioattive (forme di vita chemioautotrofe o chemiolitotrofe). Non potremo non andare un giorno a vedere se qualcosa del genere possa esistere sulle lune di Giove o di Saturno (vedi i geysir di Encelado, piccolo satellite del pianeta inanellato).

## Tra le stelle

Dalla fine degli anni '90 del XX secolo, non c'è anno che non vengano scoperti pianeti in orbita intorno agli altri soli della Galassia: da terra, studiando il piccolissimo moto

radiale della stella (di va e vieni rispetto all'osservatore) con sofisticate metodiche spettroscopiche, o dallo spazio, con satelliti in orbita circumsolare come la sonda Kepler, alla ricerca di minieclissi della stella da parte del corpo planetario (<http://kepler.nasa.gov/>). Più di mille i pianeti scoperti fino ad oggi (<http://exoplanet.eu/>), molti troppo grandi, enormi sfere gassose, oppure troppo caldi, per poter ospitare la vita, ma altri, per quanto rari, ma ormai ben identificati (ed ogni anno se ne sommano altri), della dimensione della Terra o Marte, o leggermente più grandi (Super-Terre) sono alla giusta distanza dalla stella principale, di tipo solare o di tipo nana rossa, per poter avere una giusta temperatura, ovvero quella in grado di far ospitare acqua liquida al corpo planetario (<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>).

Ancora non siamo in grado di dire se su questi pianeti esistano davvero oceani di acqua liquida (possibilità di poter trovare la vita) o se la loro atmosfera contenga anche ossigeno in grandi quantità (*certezza* della presenza di vita), ma non siamo lontani ad essere in grado di poterlo sapere. Pochi anni, massimo un decennio o due, e le nostre indagini spettroscopiche, da terra o, preferibilmente, dallo spazio, saranno in grado di compiere una raffinata indagine spettroscopica su queste atmosfere planetarie e rivelare dove altre Terra ricche di forme di vita siano presenti nella nostra Galassia ([http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/COROT/Searching\\_for\\_planets\\_with\\_life](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/COROT/Searching_for_planets_with_life)).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] LOWELL, P., *Mars*, Longman, Green and Co., London 1896.  
Reperibile su: <http://www.bibliomania.com/2/1/69/116/frameset.html>
- [2] TUCCI, P. VALOTA, R., Schiaparelli a Brera, in :”*Schiaparelli e Marte: un sogno scientifico*”, Edizioni scientifiche Coelum, pp. 15-23, 2003.
- [3] BIANCIARDI, G., *Marte. Un viaggio nel Tempo e nello Spazio*, Il Castello, Trezzano sul Naviglio 2006
- [4] MCKAY D.S., et al. *Search for past life ion Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001*, *Science*, 273, 924-930, 1996.
- [5] THOMAS-KEPRTA, K.L., et al. *Three dimensional morphological analysis of ALH84001 magnetite using electron tomography* in “*Lunar and Planetary Science, XXXIV, #1669*, 2003
- [6] GAVIN, P., et al. *Detecting pyrolysis products from bacteria on Mars*, *Earth Planet Sci. Lett.*, 185, 1, 1-5, 2000.
- [7] NAVARRO-GONZALEZ, R., et al., *Reanalysis of the Viking results suggests perchlorate and organics at mid-latitudes on Mars*, *Journal of Geophysical Research-Planets*, 115, E12010, 2010
- [8] BIANCIARDI, G., MILLER, J.D., , STRAAT, P.A., LEVIN G.V., *Complexity Analysis of the Viking Labeled Release Experiments*, *International Journal of Aeronautical & Space Science*. 13(1), 14–26, 2012  
[http://ijass.org/On\\_line/admin/files/2%29%28014-026%2911-030.pdf](http://ijass.org/On_line/admin/files/2%29%28014-026%2911-030.pdf)
- [9] BIANCIARDI, G., MILLER, J.D., , STRAAT, P.A., LEVIN G.V., *When the Viking Missions Discovered Life on the Red Planet* . In: *EPSC2012-Vol.7*, pp. 501-502, Madrid, Spagna, settembre 2012  
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2012/EPSC2012-501-1.pdf>
- [10] BIANCIARDI, G., *Ne siamo certi: le sonde VIKING scoprirono la VITA su Marte! Rivisti con nuove tecniche i dati delle sonde spaziali NASA a distanza di 36 anni: i risultati confermano l'esistenza di attività microbica*, *Coelum Astronomia*, n.162, pp. 14-20, 2012.

In modo divulgativo i risultati presentati e discussi nella bibliografia [8] e [9].



# ANATOMIA, ISTRUZIONI PER L'USO<sup>1</sup>

FERDINANDO PATERNOSTRO

*Università di Firenze*

I giovani conoscono i segreti dell'Ipod, i trucchi dei videogiochi, il funzionamento di quasi tutti i dispositivi elettronici presenti in casa, molti suonano uno strumento musicale, truccano motorini e velocipedi, sono abilissimi navigatori del web: usano, talvolta meglio degli adulti, le “istruzioni” del mondo che li circonda. Conoscono con altrettanto dettaglio forma, funzioni, potenzialità e limiti di quegli organi, sistemi e apparati che si “portano appresso”, spesso troppo disinvoltamente e pericolosamente ?

L'incontro nelle classi ha suggerito, attraverso la descrizione dell'Anatomia clinica di alcuni organi e apparati, alcune “istruzioni per l'uso” del Corpo, il nostro Strumento più prezioso. In particolare si è incentrato sui rapporti tra fumo di sigaretta e Apparato respiratorio, tatuaggi e Apparato tegumentario.

## Apparato respiratorio

L'apparato respiratorio comprende il naso, le cavità nasali e paranasali, la faringe, la laringe, la trachea, i bronchi e i polmoni. Le funzioni dell'apparato respiratorio sono molteplici: fornire una superficie per gli scambi gassosi tra aria e sangue; consentire il passaggio dell'aria da e verso le superfici di scambio; consentire la fonazione.

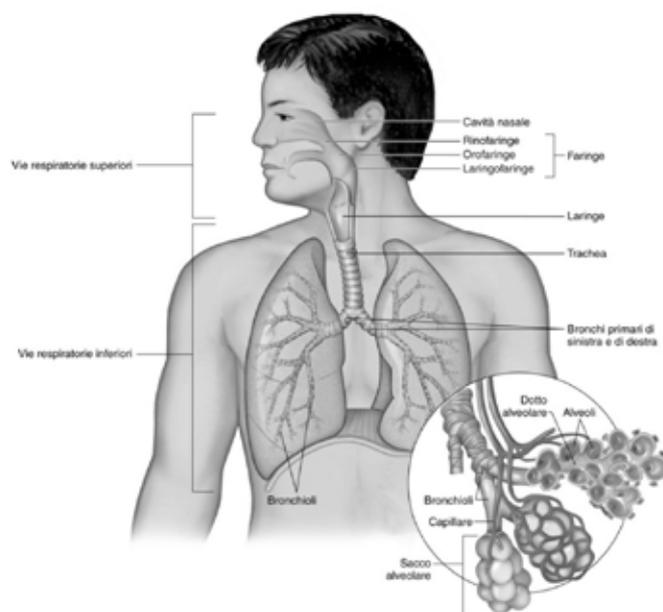


Figura 1

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 29 novembre presso l'IIS “Santissima Annunziata”, Firenze.

Buona parte dei condotti che compongono l'apparato respiratorio, tranne i bronchioli di piccolo calibro e gli alveoli polmonari, presentano una tonaca mucosa costituita da epitelio respiratorio e da una sottostante lamina propria; l'epitelio respiratorio è cilindrico pseudostratificato, composto da cellule ciliate tra le quali si intercalano numerose cellule mucipare caliciformi. L'epitelio respiratorio produce muco, avente la funzione di inglobare particelle entrate accidentalmente nelle vie aeree.

Normalmente l'aria viene inalata attraverso le narici che immettono nelle cavità nasali; la prima parte delle cavità nasali è detta vestibolo; questa porzione presenta numerosi peli che bloccano il passaggio di particelle di grosse dimensioni. L'aria raggiunge quindi le cavità nasali propriamente dette, poi, fluisce attraverso i meati superiore, medio e inferiore scorrendo sulla parete dei cornetti. Le cavità nasali sono separate dalla cavità orale mediante il palato duro mentre il palato molle separa il rinofaringe dalla cavità orale. Le cavità nasali si aprono nel rinofaringe mediante due aperture dette coane.

La faringe è un organo in comune tra l'apparato respiratorio e l'apparato digerente. La parte superiore della faringe si dice rinofaringe; al di sotto di questa porzione si trova l'orofaringe (comunicante con la cavità orale). L'ultima parte della faringe è la laringofaringe, una zona ristretta dalla quale si accede alla laringe e all'esofago.

La laringe è un condotto cilindrico la cui parete è costituita da numerose cartilagini, articolate tra loro e connesse da muscoli e legamenti. L'accesso alla laringe è garantito dalla presenza di una cartilagine detta epiglottide, che ne chiude l'orifizio superiore durante la deglutizione. La superficie interna della laringe presenta due paia di pieghe; il primo paio è costituito dalle pieghe vestibolari mentre il secondo paio è formato dalle pieghe vocali (corde vocali). L'aria che attraversa la laringe determina la vibrazione delle pieghe vocali producendo i suoni. I muscoli intrinseci della laringe regolano la tensione delle pieghe vocali e l'apertura e la chiusura della glottide. I muscoli estrinseci mantengono la laringe in posizione stabile. Durante la deglutizione, entrambi i gruppi di muscoli contribuiscono a impedire l'ingresso di corpi estranei nella glottide.

La trachea si estende dalla VI vertebra cervicale alla V vertebra toracica; essa è composta da 15 - 20 anelli cartilaginei incompleti posteriormente, che conferiscono rigidità alle sue pareti. La parete posteriore di ciascun anello è chiusa da una membrana; ciò garantisce alla parete posteriore della trachea, una elevata capacità di modificare la sua forma, consentendo all'antistante esofago di estendersi durante il passaggio del bolo alimentare. A livello del mediastino, la trachea si suddivide nei bronchi principali, destro e sinistro. Questi, insieme alle loro ramificazioni, formano l'albero bronchiale. Ogni bronco principale entra nel rispettivo polmone a livello dell'ilo. I bronchi principali, trovandosi all'esterno del parenchima polmonare, formano i cosiddetti bronchi extrapolmonari, a differenza delle ramificazioni bronchiali contenute all'interno del polmone che formano i cosiddetti bronchi intrapolmonari. I bronchi intrapolmonari si ramificano dando origine ad una complessa arborizzazione, fino alla formazione dei

bronchioli terminali. L'ulteriore ramificazione di questi bronchioli porta alla comparsa dei bronchioli respiratori che si aprono nei condotti alveolari la cui parete è composta da un insieme di estroflessioni dette alveoli polmonari.

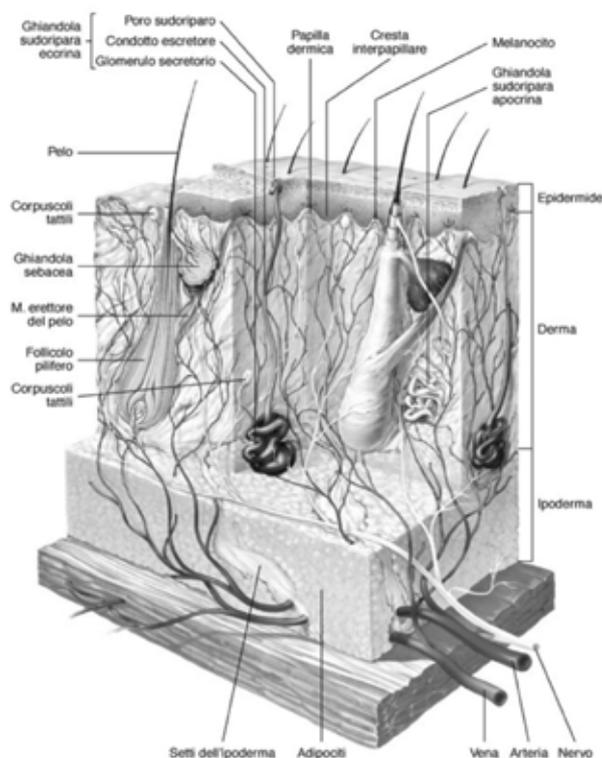
Gli alveoli polmonari presentano una parete costituita da un epitelio alveolare appiattito, in cui si riconoscono 2 tipi di cellule dette pneumociti di I tipo e di II tipo. Nella parete dell'alveolo, come pure all'interno degli alveoli, si possono inoltre trovare macrofagi alveolari. Gli pneumociti di I tipo sono cellule appiattite che compongono la maggior parte della parete dell'alveolo. Gli pneumociti di II tipo sporgono nel lume dell'alveolo e sono deputati alla produzione di surfactante, una sostanza lipidica avente la funzione di ridurre la tensione superficiale del film liquido che riveste la superficie interna degli alveoli, mantenendo dilatati gli alveoli stessi e consentendo così scambi gassosi efficaci. La parete alveolare costituisce la barriera tra aria e sangue; questa barriera è composta dall'epitelio alveolare, dalla sua lamina basale, dalla lamina basale dell'endotelio e dall'endotelio del capillare. In alcuni punti le 2 lamine basali si fondono; lo spessore della barriera varia da 0,2 a 0,7 micron.

I polmoni sono contenuti nelle logge pleuropolmonari e presentano una base, che poggia sul sottostante muscolo diaframma, un apice, che sporge al di sopra della II costa, una faccia costo-vertebrale, che segue il contorno interno della gabbia toracica e una faccia mediastinica, che guarda verso il mediastino e sulla quale si trova l'ilo (area lievemente incavata, a livello della quale entrano ed escono i vasi polmonari, entrano i bronchi e i nervi). Sulla superficie di ciascun polmone si osservano dei solchi detti scissure; sul polmone destro si riconoscono una scissura principale (obliqua) e una scissura secondaria (orizzontale), mentre sul polmone sinistro è visibile una sola scissura corrispondente alla scissura obliqua di destra. Le scissure penetrano in profondità nel parenchima polmonare, suddividendo l'organo in lobi, 3 a destra e 2 a sinistra. Ogni polmone può essere ulteriormente suddiviso in territori più piccoli detti zone o segmenti, tra loro indipendenti dal punto di vista funzionale e anatomico. In ogni zona, in base allo stesso criterio, si riconoscono territori ancora più piccoli detti lobuli.

Ogni polmone è accolto in una loggia pleuropolmonare ed è rivestito da due membrane sierose dette pleure. La pleura viscerale è strettamente accollata alla superficie dei polmoni, si approfonda nelle scissure e in corrispondenza dell'ilo, si riflette formando la pleura parietale. La pleura parietale e viscerale producono il liquido pleurico che, accolto tra i due foglietti pleurici, garantisce l'adeguato scorrimento tra le superfici durante i movimenti respiratori.

### **Apparato tegumentario**

La cute è una lamina che riveste esternamente tutto il corpo; essa è composta, in superficie, da uno strato di tessuto epiteliale, l'epidermide e, in profondità, da uno strato di tessuto connettivo, il derma, a cui fa seguito l'ipoderma. Annesse alla cute vi sono numerose ghiandole sebacee e sudoripare, peli, strutture vascolari e strutture nervose.



*Figura 2*

La cute è l'organo più esteso del nostro corpo; nell'adulto essa presenta una superficie di circa 1,5 - 2 m<sup>2</sup> con variazioni legate al sesso e allo sviluppo individuale. Lo spessore varia in base alle diverse zone corporee e in rapporto al sesso e all'età. Pur aderendo ai piani profondi, la cute presenta un certo grado di mobilità; ciò agevola i movimenti articolari e consente di sollevare la cute stessa in varie regioni corporee in pliche più o meno ampie. In alcuni distretti corporei come sulla cresta iliaca, alla piega dell'inguine, sulla faccia posteriore dell'osso sacro, sulla pianta dei piedi e sul palmo delle mani, la cute è strettamente aderente ai piani sottostanti.

Il colore della cute varia in rapporto alla etnia, sebbene anche nell'ambito della stessa etnia vi siano variazioni individuali significative; inoltre, nell'ambito dello stesso individuo, il colore della cute è diverso in regioni cutanee differenti (areola mammaria, genitali esterni, labbra, ...) e al variare delle condizioni fisiologiche (gravidanza, esposizione alla luce ultravioletta, ...). Il colore della cute deriva da diversi fattori come il colore del sangue contenuto nei vasi sanguigni del derma e la presenza di sostanze colorate nelle cellule epidermiche, dette cheratinociti. Quando i vasi sanguigni sono dilatati, come durante processi infiammatori o per riscaldamento corporeo, il colore della cute da roseo tende ad accentuarsi; al contrario, quando i vasi sanguigni si costringono, la cute assume un colore meno marcato; qualora la riduzione di apporto ematico legata alla vasocostrizione sia prolungata nel tempo, la cute tende ad assumere un colorito

bluastro e si parla di cianosi; tale situazione, che può instaurarsi per raffreddamento corporeo o per patologie cardiovascolari e respiratorie come insufficienza cardiaca e asma grave, risulta più evidente nelle sedi cutanee in cui lo spessore della cute è ridotto come le labbra o sotto le unghie. Il colore della cute dipende inoltre dalla composizione e dalla concentrazione di pigmenti quali il carotene e la melanina. Il carotene, di colore giallo-arancio, si accumula nei cheratinociti e successivamente, grazie a complessi meccanismi, viene convertito in vitamina A. La melanina è un pigmento di colore giallo-bruno o nero sintetizzato da cellule presenti nell'epidermide dette melanociti e rilasciato ai cheratinociti sotto forma di strutture ovoidali, i melanosomi. La melanina protegge le cellule dell'epidermide dai raggi solari assorbendo le radiazioni ultraviolette; tuttavia una certa quota di radiazioni solari è essenziale per la corretta sintesi di sostanze come la vitamina D. L'eccessiva esposizione ai raggi ultravioletti, peraltro, si associa sia ad alterazioni dell'epidermide e del derma sottostante (con conseguente formazione di rughe) che a danni più gravi a carico delle cellule germinali o dei melanociti (con aumentato rischio di insorgenza di tumori).

Nel complesso la cute si presenta liscia; tuttavia la ricchezza di irregolarità presenti sulla sua superficie le conferisce una scarsa lucentezza; variamente distribuite sulla superficie cutanea vi sono infatti numerose depressioni puntiformi dovute all'emergenza dei peli e agli orifizi delle ghiandole sudoripare, solchi (superficiali e profondi), creste e pieghe. I solchi superficiali si trovano in aree provviste di peli che emergono proprio in loro corrispondenza mentre i solchi profondi si trovano nelle zone prive di peli e, disponendosi parallelamente tra loro, formano delle aree cutanee con creste sulla cui sommità si trovano gli orifizi delle ghiandole sudoripare. Sul palmo della mano e sulla pianta del piede, in corrispondenza delle falangi distali, i solchi profondi e le creste assumono precise caratteristiche dette dermatoglifi dotate di un rilievo centrale noto come rosetta tattile; l'insieme di tale disegno cutaneo compone le cosiddette impronte digitali la cui morfologia individuale è geneticamente determinata. Le pieghe, infine, nell'adulto, si localizzano in alcune regioni corporee in rapporto a muscoli e articolazioni che tendono a farle diventare permanenti.

I tre strati cutanei sono diversi per localizzazione, struttura, proprietà e origine embriologica. Lo strato più esterno è costituito dall'epidermide, quello intermedio dal derma mentre quello più profondo è detto ipoderma.

L'epidermide non è vascolarizzata e il suo nutrimento dipende dalla diffusione di metaboliti ed ossigeno dallo strato più superficiale del derma. Con uno spessore che varia dai 50  $\mu$  a 1,5 mm, è costituita da diversi strati disposti dalla profondità alla superficie che rispecchiano il ciclo vitale delle cellule epiteliali presenti, i cheratinociti. Dall'interno all'esterno gli strati sono: basale, spinoso o di Malpighi, granuloso, lucido, corneo. Lo strato superficiale è costituito da cheratinociti morti che formano la cosiddetta cheratina.

Il derma è costituito da tessuto connettivo lasso e denso ed è formato da una parte papillare ed una reticolare. Essendo in connettivo è vascolarizzato e presenta la via di

diffusione che i metaboliti e l'ossigeno compiono per arrivare dal sangue all'epidermide. Le numerose anse epidermiche che costituiscono le creste e i solchi si giustappongono con strutture analoghe nel derma denominate papille dermiche, strutture coniche provviste di un'ansa capillare e di numerose terminazioni nervose. Ricco di fibre collagene ed elastiche conferisce elasticità e resistenza alla cute. Continua senza un netto distacco con l'ipoderma.

L'ipoderma è detto anche strato sottocutaneo; ha uno spessore medio da 0,5 a 2 cm ed è quasi del tutto assente in zone come il naso, le palpebre e il padiglione auricolare mentre ha uno sviluppo massimo in altre sedi come le regioni glutee, il palmo della mano e la pianta del piede. L'ipoderma è composto da connettivo lasso ricco di fibre elastiche e contiene accumuli di grasso che, nel loro complesso, formano il cosiddetto pannicolo adiposo sottocutaneo.

Le arterie che vascolarizzano la cute formano una sorta di rete nello strato sottocutaneo detta plesso cutaneo i cui rami si dirigono sia verso l'ipoderma che verso il derma. Nello strato papillare del derma, i vasi formano un'altra rete detta plesso papillare dalla quale hanno origine venule che discendono nel derma raggiungendo le vene dello strato profondo. La circolazione cutanea è finemente regolata; quando la temperatura corporea sale, il flusso ematico nella cute aumenta consentendo la dispersione del calore; al contrario, quando la temperatura corporea diminuisce i vasi si costringono e il flusso ematico si riduce per limitare, quanto più possibile, la perdita di calore. Il flusso ematico cutaneo è regolato dal sistema nervoso, cardiovascolare e endocrino, che interagiscono tra loro.

La cute contiene complesse terminazioni nervose deputate alla ricezione di stimoli tattili, termici e dolorifici.

## NEANDERTAL È UN NOSTRO ANTENATO?<sup>1</sup>

ANNAMARIA RONCHITELLI

*Dip. di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena*

L'interrogativo del titolo pone l'accento su uno dei problemi più dibattuti fra gli studiosi di Preistoria fin da quando, nel lontano 1856, alcuni operai che estraevano calcare nella valle di Neander, vicino a Düsseldorf (Germania), rinvennero nella grotta di Feldhofer alcune ossa, fra cui una "strana" calotta cranica. Pensarono ai resti di un orso e, incuriositi, mostrarono a un insegnante locale le ossa che, nel decennio successivo, passarono di mano in mano. Molti non seppero (o meglio non vollero) riconoscere in questi resti la prima prova attendibile che il processo evolutivo, così come messo a punto e pubblicato in quegli anni da Charles Darwin (è del 1859 "L'origine della specie"), coinvolgeva anche la specie umana, contraddicendo quanto affermato nella Bibbia, cap. 1 del libro della Genesi, a proposito della creazione.

### 1. Chi è l'Uomo di Neandertal?

Oggi sappiamo che l'Uomo di Neandertal è una forma evolutasi in Europa già a partire da 300mila anni fa e diffusasi poi fino al Vicino/Medio Oriente. La ricostruzione del suo aspetto fisico e delle sue caratteristiche comportamentali è variata nel corso del XX° secolo, in ragione delle scoperte via via effettuate e, purtroppo, anche delle ideologie dominanti nella società: l'idea di un individuo "scimmiesco", selvaggio e primitivo (1<sup>a</sup> metà del secolo) ha lasciato il posto, dopo la seconda guerra mondiale, all'idea che "... se potessimo reincarnare un Neandertal e porlo nella metropolitana di New York, opportunamente lavato, sbarbato e modernamente vestito, si dubita che potrebbe attrarre alcuna attenzione" [1, p. 359].

Anche questo è forse un eccesso connesso al rifiuto delle dottrine razziste precedentemente diffuse in Europa: oggi conosciamo in dettaglio la morfologia di un Neandertaliano a partire dallo studio dello scheletro dei numerosi individui rinvenuti e le sue fattezze sono ormai riprodotte fedelmente grazie alle tecniche di ricostruzione fisiognomica mutate dai metodi applicati dalla Polizia Scientifica.

Tratti distintivi dell'Uomo di Neandertal sono la statura medio bassa (cm 160-165) e la corporatura molto robusta: i Neandertaliani avevano una grande forza e resistenza muscolare, compresa una capacità di presa degli oggetti più potente.

Il loro cranio (capacità cranica media maschile di 1600 centimetri cubici) è anche più grande della media dei maschi europei attuali (1450 cc), ma presenta una forma arcaica, ereditata da un'umanità più antica, caratterizzata da fronte sfuggente, volta schiacciata e

1 Lezione tenuta il 3 dicembre 2012, presso l'ISIS "Sismondi -Pacinotti", Pescia (PT).

allungata posteriormente, orbite grandi sotto un'arcata ossea sviluppata (= toro), faccia protesa in avanti (= prognata) con un grande naso, mandibola massiccia priva di mento.

La sua scomparsa, stimata circa 35mila anni fa, è tradizionalmente correlata alla diffusione in Europa (e in Italia) dell'Uomo anatomicamente moderno. Popolazioni con differenti tecnologie e strategie di sussistenza, portatrici inoltre di novità culturali (l'arte essenzialmente), entrano in contatto, e forse in competizione, con i gruppi di Neandertal preesistenti sul territorio.

## **2. Dove e quando compare l'Uomo anatomicamente moderno?**

Dati di genetica, di antropologia fisica e archeologici indicano che questa "nuova" popolazione si sia evoluta circa 200mila anni fa, in un'area delimitata dell'Africa sud-sahariana. Una prima uscita dall'Africa intorno ai 125mila anni fa ha raggiunto solo un'area ristretta del Vicino Oriente (attuale Israele) e non ha avuto successo.

Su basi genetiche, analizzando il DNA mitocondriale di popolazioni attuali [2] e di reperti umani fossili [3], l'uscita dall'Africa "vincente" si colloca fra 90-60mila anni fa, inizialmente ad opera di un piccolo gruppo di uomini anatomicamente moderni. Due sono le possibili rotte: lungo la valle del Nilo e poi attraverso la penisola del Sinai o attraverso lo stretto di Bab el Mandeb verso lo Yemen.

La traversata del mar Rosso (oggi largo 18 km) potrebbe essere stata facilitata dall'abbassamento del livello del mare, che raggiunse il minimo locale 65-60mila anni fa.

D'altra parte la presenza di aree desertiche fra il Nord Africa e l'Asia centrale potrebbe aver costituito un ostacolo alla diffusione di questi "nuovi arrivati" in Europa prima di 50mila anni fa. In quest'area geografica una loro coesistenza con la popolazione neandertaliana autoctona è pertanto da considerare possibile fra circa 50-35mila anni da oggi. In Italia recenti pubblicazioni pongono l'arrivo di gruppi di uomini moderni precocemente, intorno a 45mila anni fa [4, 5]. Tuttavia, sulla base delle sole osservazioni di morfologia scheletrica, gli indizi di una possibile ibridazione fra le due popolazioni restano di incerta interpretazione.

## **3. Il contributo della Paleogenetica**

Sviluppatasi negli anni 2000 e in continuo progresso, questi studi hanno mostrato grande potenziale al fine di investigare la storia delle popolazioni preistoriche; l'avanzamento delle ricerche è però limitato dalla rarità dei campioni e dallo stato di danneggiamento del DNA nei resti scheletrici antichi.

E poi, benché sempre più circoscritto dalle moderne tecniche di laboratorio, permane la "spada di Damocle" della contaminazione del campione archeologico, soprattutto da parte di DNA umano derivato dalla manipolazione dei reperti da parte degli studiosi contemporanei o di altri individui preistorici presenti sul sito.

Le prime ricerche si sono rivolte allo studio del DNA mitocondriale, che conserva il patrimonio genetico solo materno, è più diffuso nella cellula ed è caratterizzato da sequenze più corte.

Sono state finora riconosciute una quindicina di sequenze neandertaliane. I ri-

sultati sembrano escludere scambi genetici fra Neandertaliani e Uomini anatomicamente moderni, le cui linee filogenetiche si sarebbero separate 600/400mila anni fa per poi evolversi indipendentemente, in aree geografiche diverse: è pertanto possibile che l'isolamento fra le due popolazioni abbia dato luogo a specie diverse, non interfeconde. Inoltre, benché sia stata messa in evidenza una certa variabilità genetica fra Neandertaliani dell'Europa occidentale, mediterranea e dell'area orientale [6], essa risulta bassa, ca 1/3 di quella degli uomini moderni contemporanei.

In anni più recenti è stato sequenziato ca il 60% del genoma nucleare (che racchiude il patrimonio di entrambi i genitori) analizzando i resti di sei individui Neandertaliani, messi a confronto con l'umanità attuale esemplificata da un cinese, un francese, un abitante della Papua Nuova Guinea, uno dell'Africa del Sud e uno dell'Africa Occidentale [7].

I risultati hanno contraddetto quanto messo in evidenza dagli studi del DNA mitocondriale, poiché l'1-4% di geni Neandertaliani sono risultati presenti negli individui Europei e Asiatici contemporanei (ma non in quelli dell'Africa, area estranea alla diffusione dell'Uomo di Neandertal). Pertanto uno scambio genetico fra Neandertaliani e Uomini moderni sembra esserci stato.

#### **4. L'esempio dell'orso**

Tale contraddizione potrebbe essere solo apparente: il flusso genico sarebbe stato poco e localizzato nel tempo (precoce) e nello spazio (Vicino Oriente).

In momenti di forte crisi demografico/ambientale sembra possibile che specie diverse (ma vicine fra loro) si incrocino dando luogo a prole fertile. L'orso polare (*Ursus maritimus*) e l'orso bruno (*Ursus arctos*) sono considerati appartenenti a specie diverse. L'analisi ha dimostrato un'antica separazione delle due specie (4-5 milioni di anni fa) seguita da uno o più contatti recenti tra le diverse popolazioni rimaste precedentemente isolate: gli accoppiamenti, la cui prole è risultata fertile, sono stati resi possibili dal ritiro dei ghiacciai nel sud-est dell'Alaska, con conseguente sovrapposizione degli areali delle due specie [8].

#### **5. Stime sulla densità della popolazione neandertaliana**

La densità demografica della popolazione neandertaliana è stimata fra 21.000 e 200.000 individui [9]. L'analisi dell'età di morte nelle sepolture/deposizioni neandertaliane (una ventina) riflette una situazione di stress demografico, poiché risulta alta la mortalità di individui in età riproduttiva, mentre numericamente scarsi sono gli individui anziani e sottorappresentati quelli femminili.

I risultati di un recente studio [10], basato sull'analisi del DNA mitocondriale di 13 individui, indicano, per i Neandertaliani occidentali recenti, una variabilità genetica significativamente minore rispetto ai Neandertaliani più antichi e a quelli dell'area orientale. Uno scenario evolutivo che potrebbe spiegare tali risultati sarebbe una divergenza iniziale tra popolazioni dell'Europa orientale e occidentale, seguita da un'estinzione quasi completa dei Neandertaliani occidentali (ca 70-60mila anni fa), e da una succes-

siva (58-48mila anni fa) ricolonizzazione della regione da parte sia di gruppi orientali che di gruppi occidentali provenienti da aree rifugio. Pertanto l'Uomo di Neandertal, al momento dell'arrivo in Europa degli Uomini anatomicamente moderni, presentava una situazione demografica a rischio di estinzione. Potrebbe esserne stata causa (o concausa) una difficoltà di adattamento ai cambiamenti climatici innescati dalla fase glaciale precedente, con massimo intorno ai 70mila anni fa, amplificati dalla catastrofica eruzione del vulcano Toba (Sumatra) le cui ceneri, disperse nell'alta atmosfera, si stima abbiano provocato un ulteriore crollo della temperatura media globale di 3-5 gradi, e una riduzione importante della quantità di luce disponibile, con drammatiche conseguenze a catena sulle condizioni di vita degli organismi vegetali e animali.

### **6. Sintesi: dati genetici e archeologici**

Allo stato attuale delle nostre conoscenze, consapevoli che questa è materia soggetta a continue innovazioni/aggiornamenti con il progredire degli studi, possiamo così riassumere i termini della domanda iniziale:

- I primi Uomini anatomicamente moderni penetrano in Europa, probabilmente in gruppi successivi, a partire da ca 45mila anni fa.
- Al loro arrivo la popolazione neandertaliana aveva bassa variabilità genetica ed era numericamente scarsa.
- Poco differenziati geneticamente erano anche i nuovi arrivati, in quanto non numerosi e provenienti da un'area geografica delimitata.
- La convivenza fra Neandertaliani e nuovi arrivati, laddove ci fu, ha avuto una durata diversa nelle varie aree geografiche e in genere deve essere stata relativamente breve.
- L'ibridazione sarebbe avvenuta in un'area geografica limitata (Vicino Oriente) prima della dispersione dell'Uomo anatomicamente moderno in Europa.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Straus, W. L., Cave, Jr. and A. J. E., Pathology and the Posture of Neanderthal Man, *Quarterly Review of Biology*, 32, 1957, pp. 348–63.
- [2] Forster, P., Ice Ages and the mitochondrial DNA chronology of human dispersals: a review, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 359, 2004, pp. 255–264.
- [3] Fu, Q., Mittnik, A., Johnson, P.L.F., Bos, K., Lari, M., Bollongino, R., Sun, C., Giemsch, L., Schmitz, R., Burger, J., Ronchitelli, A.M., Martini, F., Cremonesi, R.G., Svoboda, J., Bauer, P., Caramelli, D., Castellano, S., Reich, D., Pääbo, S. and Krause, J., A Revised Timescale for Human Evolution Based on Ancient Mitochondrial Genomes, *Current Biology*, 23, 2013, pp. 553–559.
- [4] Benazzi, S., Douka, K., Fornai, C., Bauer, C. C., Kullmer, O., Svoboda, J., Pap, I., Mallegni, F., Bayle, P., Coquerelle, M., Condemi, S., Ronchitelli, A., Harvati, K. & Weber, G. W., Early dispersal of modern humans in Europe and implications for Neanderthal behaviour, *Nature*, 479, 2011, pp. 525-528.
- [5] Moroni A., Boscato, P., Ronchitelli, A., What roots for the Uluzzian? Modern behaviour in Central-Southern Italy and hypothesis on AMH dispersal routes, *Quaternary International*, 316, 2013, pp. 27-44.
- [6] Fabre, V., Condemi, S., Degioanni, A., Genetic evidence of geographical groups among Neanderthals, *PLoS One*, 4/4, 2009, pp. 1-8, e5151.
- [7] Green, R.E., Krause, J., Briggs, A.W., Maricic, T., Stenzel, U., Kircher, M., Patterson, N., Li, H., Zhai, W., Hsi-Yang, F.M., Hansen, N.F., Durand, E.Y., Malaspina, A.S., Jensen, J.D., Marques-Bonet, T., Alkan, C., Prüfer, K., Meyer, M., Burbano, H.A., Good, J.M., Schultz, R., Aximu-Petri, A., Butthof, A., Höber, B., Höffner, B., Siegemund, M., Weihmann, A., Nusbaum, C., Lander, E.S., Russ, C., Novod, N., Affourtit, J., Egholm, M., Verna, C., Rudan, P., Brajkovic, D., Kucan, Z., Gušić, I., Doronichev, V.B., Golovanova, L.V., Lalueza-Fox, C., de la Rasilla, Fortea, M.J., Rosas, A., Schmitz, R.W., Johnson, P.L.F., Eichler, E.E., Falush, D., Birney, E., Mullikin, J.C., Slatkin, M., Nielsen, R., Kelso, J., Lachmann, M., Reich, D., Pääbo, S., A Draft Sequence of the Neandertal Genome, *Science*, 328, 2010, pp. 710-722.
- [8] Lindqvist C., Schuster S. C., Sun Y., Talbot S L., Qi J., Ratan A., Tomsho L. P., Kasson L., Zeyl E., Aars J., Miller W., Ingólfsson Ó., Bachmann L., and Wiig Ø., Complete mitochondrial genome of a Pleistocene jawbone unveils the origin of polar bear, *PNAS*, 107/11, 2010, pp. 5053–5057.
- [9] Degioanni, A., Fabre, V., Condemi, S., Génétique et paléanthropologie: deux approches pour un dialogue autour des Néandertaliens, *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris*, 23/1-2, 2011, pp. 1-18.
- [10] Dalén, L., Orlando, L., Shapiro, B., Durling, M.B., Quam, R., Gilbert, M.T.P., Fernández-Lomana, J.C.D., Willerslev, E., Arsuaga, J.L., Götherström, A., Partial genetic turnover in neandertals: continuity in the east and population replacement in the west, *Molecular Biology and Evolution*, 29/8, 2012, pp. 1893-1897.



## IL RAZZISMO TRA PSEUDOSCIENZA E PREGIUDIZIO<sup>1</sup>

ANNA MARIA ROSSI

*Università di Pisa*

Il razzismo e la xenofobia si nutrono di pregiudizi e di luoghi comuni, espressi spesso con leggerezza, nonostante che le loro conseguenze in termini di violazione dei diritti civili e umani di milioni di persone siano incalcolabili.

Quando si parla di razza o di gruppo etnico, bisognerebbe saperli definire ed essere certi che sia lecita la generalizzazione che una qualsiasi caratteristica sia comune a tutti i suoi membri<sup>2</sup>.

Vi sentireste di dire che tutti i vostri compagni di classe hanno la stessa forma degli occhi o del naso? E se doveste dire che hanno tutti le stesse abilità linguistiche o matematiche?

### **Il determinismo biologico e il razzismo scientifico**

Non c'è dubbio sul fatto che ciascuno di noi abbia una sua intelligenza potenziale, che è influenzata dalle sue caratteristiche biologiche. Tuttavia, è inconsistente l'idea che le qualità intellettuali di un individuo siano del tutto innate e non dipendano dal contesto culturale e sociale in cui si sviluppa. Questa concezione, propria del determinismo biologico, aveva la pretesa di trattare il tema dell'ineguaglianza sociale come una questione puramente scientifica, con lo scopo di sostenere che le differenze socioeconomiche per classe, sesso, etnia fossero un riflesso di differenze biologiche innate e quindi immutabili. In realtà, in nome della presunta obiettività della Scienza, si è cercato di dare giustificazione al diritto alla sopraffazione dell'uno sull'altro, alla difesa dei privilegi dei gruppi dominanti ai danni di quelli subalterni. Le tesi del determinismo biologico fanno riferimento a una concezione sbagliata delle leggi della natura e, ciò nonostante, nel corso degli ultimi secoli, sono state usate per legittimare lo schiavismo, il colonialismo,

1 Lezione tenuta il 19 Novembre 2012 presso il Liceo "G.Pascoli", Massa e il 13 Febbraio 2013 presso l'Istituto "S. Caterina", Pisa.

2 Il termine razza è appropriato soltanto in riferimento agli animali addomesticati e si riferisce al risultato delle pratiche di selezione e riproduzione messe in atto da migliaia di anni dagli allevatori per mantenere determinate caratteristiche di interesse. Per esempio il cane da caccia è stato selezionato per il fiuto, mentre il cane da pastore per la sua docilità, oppure le razze bovine per la produzione di latte e/o della carne oppure come animali da lavoro. Gli individui di una razza discendono tutti da un piccolo gruppo di progenitori selezionati per determinate caratteristiche e sono fatti riprodurre in condizioni strettamente controllate dagli allevatori. Infatti, se potessero incrociarsi liberamente, la loro progenie ibrida perderebbe le qualità tipiche della razza che, per effetto del rimescolamento genetico, sarebbero diluite nel corso delle generazioni.

la segregazione di gruppi etnici minoritari, la discriminazione, la persecuzione e persino il genocidio. Sebbene sia un'idea vecchia e derivi da una dottrina del tutto screditata sul piano scientifico rimane difficile da estirpare dal pensiero corrente. [1, 2]

Il razzismo scientifico affonda le sue radici nel determinismo biologico e possiamo collocare la sua nascita tra il XVIII e il XIX secolo. Paradossalmente, nella stessa epoca maturavano, in Europa e in America, i movimenti che sostenevano l'abolizione della schiavitù e che si opponevano alle politiche colonialiste.

La prima classificazione delle razze umane fu di Linneo che, come altri suoi contemporanei, nel *Systema naturae* (1735) cominciò a confondere il piano dell'aspetto fisico con quello delle qualità psichiche sostenendo, tra l'altro, che gli europei fossero più intelligenti e razionali degli altri gruppi razziali. Era un'affermazione ricorrente che la razza bianca fosse la più nobile, il culmine della specie umana, il massimo esempio di bellezza e moralità, mentre le altre ne derivavano per degenerazione. [3] Con il pretesto che solo i bianchi avessero raggiunto un elevato grado di civilizzazione e che i selvaggi fossero rimasti in una condizione subumana, si giustificavano le atrocità come la tortura, la schiavitù e lo sterminio dei nativi americani, inconciliabili con la morale cristiana, che pure prevaleva nella cultura dell'epoca.

Diversi studiosi si cimentarono con il problema di dare un'impostazione scientifica alla classificazione. In analogia con le razze canine, equine, bovine, ovine, etc. si cercò di basarsi su caratteri somatici e strutturali (antropometrici) come le dimensioni o la forma del cranio o degli arti. Per esempio, André Retzius (1796-1860) suggerì di utilizzare l'indice cefalico, cioè il rapporto tra la larghezza e la lunghezza del cranio, che diventò ben presto un parametro internazionalmente riconosciuto non solo come connotato fisico, ma come elemento di valutazione intellettuale e morale. [1]

I numerosi tentativi di classificazione erano spesso assai fantasiosi, tanto che Charles Darwin affermò nel suo *L'origine dell'uomo* (1871):

L'uomo è stato studiato con maggior cura che non qualsiasi altro essere organico, e tuttavia v'è la più grande diversità possibile fra i vari giudici competenti nell'opinione se egli debba essere classificato come una specie o razza unica o come due (Virey), tre (Jacquinot), quattro (Kant), cinque (Blumenbach), sei (Buffon), sette (Hunter), otto (Agassiz), undici (Pickering), quindici (Bory de St-Vincent), sedici (Desmoulins), ventidue (Morton), sessanta (Crawford) o sessantatre secondo Burke. [4, p. 165]

Darwin era rimasto inorridito alla vista dei maltrattamenti inflitti dagli Europei agli schiavi neri e alle popolazioni indigene dei Paesi che aveva visitato e aveva sviluppato un sentimento profondamente antirazzista. Utilizzò spesso nei suoi scritti l'espressione "le cosiddette razze", per ribadire la sua contrarietà ai preconcetti razzisti ed era convinto che ci fosse una sola razza umana, che le differenze tra i gruppi umani fossero irrilevanti sul piano morale e, soprattutto, che fosse infondato associare le qualità intellettive all'aspetto fisico. [4]

Darwin non era il solo a stigmatizzare l'inconsistenza delle teorie razziste, basate sull'assunto che ci sia un nesso, mai dimostrato, tra forme anatomiche e capacità psichiche. Qualche decennio più tardi Franz Boas, in *The Mind of Primitive Man* (1911), si pronunciava risolutamente contro il pregiudizio di una presunta superiorità degli europei sugli altri tipi umani. [5]

Fondati su improbabili presupposti scientifici, il determinismo biologico e il cosiddetto razzismo scientifico pretendevano di stabilire delle scale di valore tra gli esseri umani a partire dal loro aspetto fisico. La forza del pregiudizio derivava dal sottintendere che certi aspetti della componente psichica connessi a specifici tratti somatici, fossero caratteristici di ciascuna razza o gruppo sociale.

### **L'eugenetica e l'igiene razziale**

La riscoperta delle leggi della genetica, nei primi anni del '900, aveva incoraggiato lo sviluppo di nuove idee discriminatorie, non più basate sulle differenze nei connotati fisici, ma sulla diversità genetica. Il concetto della trasmissione ereditaria dei caratteri semplici, come quelli studiati da Mendel, fu esteso impropriamente alla sfera delle qualità intellettuali, sociali e morali, che sono invece caratteri complessi e influenzati da numerosi fattori culturali e ambientali.

Da questi presupposti, con una pretesa scientificità, prese l'avvio l'eugenetica, che sosteneva che si dovesse favorire la riproduzione degli individui di maggior valore, e quindi impedire di procreare a quelli di minor valore, per porre un freno al declino della popolazione sotto il profilo intellettuale e morale. Queste tesi si ispiravano ai concetti espressi da Herbert Spencer (1820-1903), uno dei principali esponenti del Darwinismo sociale, che propugnava che fosse necessario lasciare libero corso alla selezione naturale anche nella specie umana. Con la finalità dichiarata di voler garantire un futuro migliore alle generazioni future, pur ignorando i meccanismi dell'ereditarietà dei caratteri indesiderati, furono introdotte pratiche eugenetiche negli USA e in numerose nazioni europee, attuando la sterilizzazione coatta e, nei casi estremi, arrivando all'eliminazione fisica di soggetti ritenuti geneticamente non idonei, che avrebbero potuto trasmettere la loro inidoneità ai loro figli. Le categorie erano quanto mai vaghe e arbitrarie. Inizialmente furono colpiti malati gravi e disabili, poi si finì per puntare a depurare la società da individui di razze inferiori, criminali, devianti, prostitute, omosessuali e dissidenti politici. Questi propositi umanitari mascheravano in realtà motivazioni politiche o di natura prettamente economica, cioè miravano a sollevare gli enti pubblici dalle loro responsabilità verso le categorie più deboli e disagiate e ad appoggiare la riduzione degli investimenti per l'assistenza sociale.

Nel 1911, l'Associazione Eugenetica Americana individuava con criteri basati più sul pregiudizio che non su parametri scientifici dieci gruppi socialmente inadatti e candidati per l'eliminazione. Tra questi c'erano soggetti psicolabili, indigenti, alcolisti, criminali di tutti i tipi (anche per reati minori), epilettici, folli, membri del ceto costituzionalmente debole, persone predisposte a specifiche malattie, deformi, portatori di

deficit sensoriali, come sordi, ciechi e muti, senza altri distinzioni. Anche la povertà era considerata come una malattia ereditaria!

Negli USA leggi per la sterilizzazione coatta dei cittadini degenerati erano state promulgate già dagli inizi del XX secolo ma negli anni venti furono inasprite quando le massicce ondate migratorie provenienti dall'Europa meridionale e orientale furono percepite come una minaccia per la società e per fermarne la decadenza furono adottati provvedimenti di cosiddetta igiene razziale che limitavano l'ingresso degli immigrati. L'Immigration act (1924) sbarrava l'ingresso agli europei che non avessero ottenuto il punteggio minimo ai test di intelligenza. Era stato proprio un esponente del movimento eugenetico americano, Henry Goddard, ad avvalorare la tesi che i punteggi ottenuti nei test fossero misure reali dell'intelligenza, considerandola come una caratteristica geneticamente ereditabile<sup>3</sup>. L'immigrato, bollato come imbecille, non si meritava di trasmettere la propria incapacità alle generazioni future. A essere discriminati furono soprattutto i poveri e gli analfabeti, come molti dei nostri emigranti, e molti ebrei che furono ricacciati nella barbarie delle persecuzioni naziste e staliniste. [1]

Negli anni trenta anche i Paesi Scandinavi adottarono programmi eugenetici, che furono poi presi a modello dal regime nazista. La sterilizzazione coatta fu vietata nei Paesi Scandinavi soltanto alla fine degli anni settanta e oltre 170.000 furono le persone sterilizzate, soprattutto donne, indigenti e senza fissa dimora, che vivevano a carico dei servizi sociali. Solo nel 1997 la popolazione svedese venne a conoscenza degli effetti devastanti del progetto filantropico di pianificazione demografica, promosso da Gunnar e Alva Myrdal, entrambi insigniti del premio Nobel, nel 1974 per l'economia lui e nel 1982 per la pace lei.

Anche i teorici del Nazismo trassero ispirazione dal darwinismo sociale per mettere in atto i loro scellerati piani di sterminio. I tedeschi, i discendenti più puri del mitico popolo degli ariani, attuarono dapprima il programma eugenetico segreto, denominato Aktion T4, che portò all'eliminazione di oltre 200.000 persone e alla sterilizzazione di oltre 400.000 nel periodo 1933-1941. Il delirio di mantenere la purezza della razza superiore culminò nell'olocausto in cui persero la vita a milioni ebrei, zingari, testimoni di Geova, oppositori politici e prigionieri di guerra nei campi di concentramento.

L'Italia fascista non rimase indietro e il 15 luglio 1938 venne pubblicato quello che è conosciuto come Manifesto degli scienziati razzisti che segnò l'inizio ufficiale della politica razziale antisemita del regime fascista<sup>4</sup>. Farneticazioni di nessun valore scientifi-

---

3 I test di intelligenza valutano solo una parte delle funzioni intellettive e comunque non quelle ereditarie (innate), perché tendono a misurare l'abilità di utilizzare nozioni acquisite che dipendono fortemente dalle opportunità di apprendimento pregresse (grado di acculturazione) mentre per valutare le facoltà innate sarebbe più corretto misurare la capacità di utilizzare nozioni acquisite al momento del test (test dinamici). In sostanza, se possono servire a confrontare persone con esperienze equivalenti in ambito sociale, familiare e scolastico, sicuramente i test perdono significato se si confrontano persone prese a caso, senza tener conto dell'estrazione e del contesto in cui sono cresciute e in cui vivono.

4 A settant'anni di distanza gli scienziati antirazzisti hanno redatto un manifesto *Contro ogni raz-*

co falsificavano la storia millenaria di una terra, attraversata in lungo e in largo da tanti popoli, di ogni provenienza. [6]

In Italia, l'emanazione e l'applicazione delle leggi razziali, che ricalcavano in parte quelle in vigore nella Germania nazista, portarono prima all'allontanamento dagli uffici pubblici e dalle scuole pubbliche di ebrei e stranieri, poi sempre di più alla loro emarginazione sociale, con il divieto di esercitare le professioni, fino alla deportazione e all'eliminazione fisica nei campi di concentramento e di sterminio.

### **La nostra identità, qualunque cosa sia, dipende dai nostri geni?**

Il nostro modo di pensare e di agire potrebbe essere strettamente determinato da meccanismi biologici, in particolare i geni potrebbero plasmare la nostra personalità, essere a capo dei nostri comportamenti? I geni sono certamente importanti e sappiamo ancora molto poco sul loro ruolo, soprattutto considerando che il comportamento umano è estremamente complesso. Le ultime scoperte, comunque, contraddicono nettamente tutte le sciocchezze che per anni sono state proposte come verità irrefutabili. Per esempio, non è stato trovato nessun gene che sia legato direttamente all'intelligenza, mentre un gran numero di difetti genetici è associato al ritardo dello sviluppo o alla degenerazione delle facoltà intellettive. Questo non sorprende considerato che le funzioni del sistema nervoso centrale sono sostenute dall'azione coordinata di migliaia di geni e che un malfunzionamento di uno solo di questi può avere conseguenze catastrofiche su processi governati da una rete di interazioni tra fattori genetici e non genetici.

Da una parte, i geni definiscono i limiti di quello che possiamo essere o diventare, e questi non sono uguali per tutti. Dall'altra, ognuno di noi è ben di più che la somma dei suoi geni, perché la nostra identità fisica e psichica è la conseguenza, del tutto imprevedibile, della storia della nostra vita che ha dato forma e funzione all'informazione contenuta nel nostro patrimonio genetico. [6, 7]

Il risultato che si ottiene a partire da uno stesso patrimonio genetico è ogni volta unico e irripetibile, perché dipende da processi non deterministici e in gran parte stocastici. Questi processi non sono interpretabili con il modello secondo il quale lo sviluppo consiste nella decodificazione di un programma prefissato contenuto nel nostro DNA.

Ammesso che nel nostro DNA sia scritto il nostro futuro, non possiamo, non tener conto del fatto che parole identiche hanno significati diversi in contesti differenti e funzioni molteplici anche nello stesso contesto. [8, p. 189]

### **Siamo tutti africani**

L'idea di razza è fondata sul concetto che esistano caratteristiche genetiche specifiche che accomunano tutti gli individui di una razza e li differenziano da tutte le altre. In

---

*zismo* durante un incontro che ha avuto luogo a Pisa, nella tenuta di San Rossore. Il testo si può leggere in modo comparato con quello del 1938 al sito [http://www.unimi.it/cataloghi/cpo/Manif\\_Razz\\_comparato\\_2008\\_1938.pdf](http://www.unimi.it/cataloghi/cpo/Manif_Razz_comparato_2008_1938.pdf)

realtà, dato che l'intera umanità discende da poche migliaia di persone vissute in Africa circa centomila anni fa, siamo tutti parenti e tutti geneticamente molto simili. Di conseguenza, le differenze genetiche tra i gruppi umani sono così piccole che non possono servire da criteri per la classificazione. [6, 7]

Se non è possibile stabilire confini netti tra un gruppo e un altro, tantomeno è possibile stabilire una gerarchia di valore tra le razze e documentare scientificamente l'inferiorità di una rispetto a un'altra. Perciò, qualunque modo di definire le razze umane è arbitrario e, quindi, il razzismo non può contare su nessun fondamento scientifico. [7, 9]

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] GOULD, S.J., *Intelligenza e pregiudizio*, Il saggiatore, Milano, 2005.
- [2] BARBUJANI, G., CHELI, P., *Sono razzista, ma sto cercando di smettere*, Laterza, Roma-Bari, 2008.
- [3] BLUMENBACH, J. F., *On the natural varieties of mankind: De generis humani varietate nativa*, Bergman Publishers, New York (USA), 1865.
- [4] DARWIN, C., *L'origine dell'uomo e la scelta in rapporto con il sesso*, Unione tipografico-editrice, Torino-Napoli, 1871.
- [5] BOAS, F., *The Mind of Primitive Man*, The McMillan Company, New York (USA), 1911, 1938. consultabile al sito <http://72.52.202.216/~fenderse/Mind.htm> 7/2013
- [6] BARBUJANI, G., *L'invenzione delle razze*, Bompiani, Milano, 2006.
- [7] ROSSI, A.M., *Il mito del determinismo biologico - Più che scienza fu pregiudizio*, SAPERE, vol. 5 (1064), pp 36-44, 9, 2009;
- [8] LEWONTIN, R., *Il sogno del genoma umano e altre illusioni della scienza*, Laterza, Roma-Bari, 2004.
- [9] ROSSI, A. M., *Le presunte basi biologiche del razzismo*, NATURALMENTE, vol. 23/3, pp. 1-7, 2010 (I Parte); vol. 23/4, pp. 4-7, 2010 (II Parte).



**EVOLUZIONE TRA DIDATTICA E RICERCA:  
EVO-DEVO, OVVERO NUOVI MATERIALI PER LA CONOSCENZA  
DEI MECCANISMI EVOLUTIVI<sup>1</sup>**

ROBERT VIGNALI

*Dipartimento di Biologia, Università di Pisa*

Nel 2009 si è celebrato il 200° anniversario della nascita di Charles Darwin e il 150° della pubblicazione de “L’origine delle specie”. Già Darwin aveva sottolineato l’importanza che lo studio dello sviluppo embrionale avrebbe dato alla comprensione dell’evoluzione morfologica. L’interesse dei biologi evolucionisti per lo sviluppo è tutto sommato facilmente intuibile: è durante lo sviluppo che si crea la forma, la morfologia, di un organismo, e se questa si modifica con l’evoluzione e la modificazione è ereditabile, ciò avviene per una modificazione dei programmi genetici (quindi ereditabili) necessari per sviluppo di questa morfologia.

Per constatare come questo sia possibile è sufficiente ad esempio confrontare lo sviluppo dell’arto anteriore nel topo e nel pipistrello. Il primo si sviluppa in un arto relativamente corto, con dita libere; il secondo in un arto molto più esteso, con dita lunghissime che sostengono una membrana, il patagio, che consente l’adattamento al volo. Eppure nelle prime fasi dello sviluppo, essi sono simili, ed anche nell’embrione di topolino si osserva una membrana interdigitale che viene successivamente “erosa” per fenomeni di morte cellulare; questa invece non si realizza nel pipistrello, dove la membrana viene mantenuta, si estende enormemente e contribuisce al patagio. Oggi è possibile capire i meccanismi, anche molecolari, con cui questo si realizza, studiando ad esempio lo sviluppo della zampa del pollo e confrontandolo con quello dell’anatra. Nel pollo la morte cellulare, programmata geneticamente, “erode” la membrana interdigitale, mentre nell’anatra essa non si realizza, e quindi l’animale adulto si ritroverà con le zampe palmate. Che cosa innesca la morte cellulare e perché nell’anatra la morte non avviene? Oggi sappiamo che una molecola innesca il processo di apoptosi (morte cellulare programmata) ed è la BMP4 (Bone Morphogenetic Protein 4), prodotta nella regione adiacente; questa molecola viene in realtà rilasciata anche nella zampa dell’anatra, solo che le cellule della regione interdigitale vengono protette dalla morte cellulare da un “antidoto”, ovvero un’altra molecola, la proteina gremlin; questa viene prodotta durante lo sviluppo della zampa dell’anatra, ma non durante quello di pollo. Tuttavia, con un intervento sperimentale, è possibile far sviluppare la membrana anche sulla zampa del pollo, proteggendo così le sue cellule dalla

---

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 15 novembre 2012 presso l’IIS “A. Poliziano”, Montepulciano (SI).

morte programmata. Questo si può ottenere tramite l'applicazione, tra le dita in sviluppo, di una sferetta imbevuta della molecola gremlin, che viene così rilasciata nel tessuto circostante: questo esperimento dimostra che anche il pollo ha la potenzialità di formare la membrana, ma che il programma genetico che dirige lo sviluppo della zampa dell'anatra è stato modificato rispetto a quello del pollo e di altri uccelli. Questo esempio mette in luce la natura sperimentale della biologia dello sviluppo e la possibilità di ottenere conoscenze sulle modalità con cui si possono realizzare modificazioni morfologiche, utilizzando il metodo scientifico d'indagine sperimentale. Tale concetto è espresso chiaramente da Buffon, uno dei primi che in epoca illuministica considerò possibile una modificazione e diversificazione delle specie (usò i termini di degenerazione, differenziazione):

È per mezzo di esperimenti fini, ragionati e seguiti, che si forza la natura per scoprirne il segreto; tutti gli altri metodi non hanno mai funzionato... Le raccolte di esperimenti e di osservazioni sono quindi gli unici libri che possono aumentare le nostre conoscenze (Buffon, nella sua prefazione a *Vegetable Statics* di Stephen Hales, 1727)

Se il più noto rappresentante dell'evoluzionismo francese è stato Lamarck, un altro personaggio importante da mettere in luce, è Etienne Geoffroy de Saint-Hilaire:

Il mondo esterno è estremamente potente nel modificare le forme dei corpi organizzati...queste [modificazioni] sono ereditate ed influenzano tutto il resto dell'organizzazione dell'animale, dato che se queste modificazioni portano ad un effetto deleterio, l'animale che le presenta muore ed è rimpiazzato da altri di una qualche forma diversa, una forma cambiata in modo da essere adattata al nuovo ambiente (*Sur le degré d'influence du monde ambiant pour modifier les formes animales*, 1833).

E' il suo concetto di unità di tipo ("In termini filosofici esiste un solo animale", sembra che abbia una volta asserito), che vedremo rivalutato negli ultimi anni anche grazie ed evidenze molecolari, anche se su quest'idea fu sconfitto dal più autorevole (ed accademicamente autoritario) Cuvier.

Ed arriviamo quindi all'evoluzionismo britannico e a Darwin e Wallace, che assieme nel 1858 stilano la prima comunicazione "ufficiale" del principio della selezione naturale nel contesto di specie in evoluzione. In una lettera a Hooker (1844), Darwin già scriveva "Sono quasi convinto, contrariamente alle opinioni da cui ero partito, che le specie non sono (è come confessare un delitto) immutabili". Perché per Darwin è così sconvolgente, come confessare un delitto? Darwin si rende subito conto che quanto vale per le specie viventi è immediatamente trasponibile all'uomo: è una vera rivoluzione, non solo biologica, ma anche culturale e filosofica, nello stesso modo di concepire l'uomo. Dopo "L'origine delle specie" la nostra immagine non sarà più la stessa: non più al disopra della natura, ma nella natura. Qualche anno più tardi Darwin pubblica infatti "L'origine dell'uomo". Oggi sappiamo che molto è stato fatto per ricostruire le nostre origini; la storia evolutiva dell'uomo è ormai una delle più documentate. Ma a quel tempo si trattava di un rovesciamento totale della concezione dell'uomo, una vera

rivoluzione culturale. E sì che Darwin non aveva affatto l'indole del rivoluzionario, ma era una persona mite e calma. Chi invece era sicuramente in prima linea nel difendere le conclusioni evoluzionistiche era Thomas Henry Huxley, che come Darwin, era conscio dell'importanza dello studio dello sviluppo animale per la comprensione dei meccanismi che sottintendono alla evoluzione morfologica: "L'evoluzione non è una speculazione, ma un fatto, e si realizza per epigenesi" "Una teoria della costruzione dei corpi (epigenesi) deve complementare la teoria del cambiamento (selezione naturale). Questo è il modo per ottenere grandi cambiamenti nell'anatomia".

Tuttavia, circa un secolo più tardi ancora non era stata proposta alcuna teoria che spiegasse come i corpi degli animali venissero costruiti. E pensare che alla fine dell'Ottocento, Bateson, che per primo coniò il termine genetica, si era occupato di raccogliere e catalogare tutta una serie di forme aberranti di organismi, caratterizzate dalla presenza di "malformazioni" morfologiche (rane con vertebre in più o in meno, oppure con vertebre dall'identità diversa dal normale; insetti con zampe al posto delle antenne); in questo modo, Bateson sperava di poter decifrare e comprendere la base della variabilità morfologica. Tuttavia fu costretto a concludere che

L'unico modo in cui possiamo sperare di raggiungere la verità è attraverso l'organizzazione di esperimenti sistematici di accoppiamento, un tipo di ricerca che forse richiede una dose di pazienza e di risorse maggiore di qualsiasi altro tipo di investigazione biologica. Presto o tardi questa indagine sarà intrapresa, e allora inizieremo a capire" (*Materials for the study of variation*, 1894).

Solo circa 100 anni dopo è stato possibile "iniziare a capire", grazie agli studi sulla genetica molecolare dello sviluppo condotti sulla *Drosophila melanogaster*, il comune moscerino dell'aceto. Grazie a questi studi, sappiamo oggi che la costruzione del corpo di un'animale viene realizzata attraverso il dispiegamento di un programma genetico nel quale una serie di geni regolatori (e i loro prodotti) giocano un ruolo chiave. Quando alcuni di questi non funzionano, o funzionano in modo alterato (per effetto di mutazioni), si altera il piano costruttivo dell'organismo e compaiono, ad esempio, moscerini con zampe al posto delle antenne, o con due paia di ali anziché un paio di ali. Una volta identificati questi geni, si è scoperto che molti di questi sono conservati in tutti gli organismi animali, dove pure controllano la costruzione del piano corporeo. Ad esempio, i geni che controllano l'identità delle strutture lungo l'asse anteroposteriore (i geni *Hox*) fanno essenzialmente questa stessa cosa sia nel moscerino che nei vertebrati (come noi umani), e per questo sono stati indicati come una vera e propria stele di Rosetta, nel senso che hanno consentito di iniziare a decifrare lo sviluppo, non solo della *Drosophila*, ma anche degli altri organismi animali. Anche noi vertebrati in realtà abbiamo dei segmenti che vengono creati durante il nostro sviluppo (i somiti), che preludono alle nostre vertebre: mutazioni di alcuni geni *Hox* producono, in modo simile a quello che accade nella *Drosophila*, cambiamenti nell'identità di una o più vertebre. Come si è scoperto successivamente, non solo i geni *Hox*, ma praticamente tutti i geni che regolano lo sviluppo,

sono ampiamente conservati. Quindi i geni, cioè gli attrezzi necessari per costruire il corpo animale, sono largamente gli stessi nei vari tipi di organismi.

Ma se tutto è così conservato, come si spiega la variazione morfologica? Si tratta essenzialmente di un problema di regolazione genica, di un diverso utilizzo dei geni, cioè degli attrezzi per la costruzione del corpo animale. In un certo senso è come se con gli attrezzi di un'officina dovessimo costruire un'auto; con gli stessi attrezzi potremmo costruire un'Isotta Fraschini, una Cinquecento, o una Ferrari, a seconda di quale progetto seguiamo. Oggi possiamo cercare di capire come le modificazioni della regolazione genica (e quindi del modo di utilizzare gli attrezzi) abbiano cambiato il piano costruttivo base dei vertebrati, per generare ad esempio un pesce, con numerose vertebre e senza arti, ma pinne, oppure una rana, con poche vertebre e arti da tetrapode, oppure un serpente, con corpo allungatissimo formato anche da più di 300 vertebre, ma privo di arti. Quest'ultimo esempio è un caso particolarmente eclatante; serpenti e lucertole sono strettamente imparentati, ma mentre le lucertole hanno vertebre cervicali, toraciche (fornite di coste), lombari, sacrali (fuse nella pelvi) e caudali, i serpenti hanno vertebre che, fino alla regione cloacale hanno la tipica morfologia toracica e sono fornite di coste. I geni *Hox* stabiliscono le identità antero-posteriori, ed in effetti è stato osservato che i confini tra le varie regioni (cervicale, toracica etc.) sono segnati, in tutti i vertebrati, dagli stessi geni *Hox*; ad esempio *Hoxc6* segna il confine tra la regione cervicale e quella toracica. Nei serpenti, ed in particolare è stato studiato il pitone, geni *Hox* come *Hoxc6* e *Hoxc8*, tipici delle regioni toraciche, hanno espanso la loro zona di espressione lungo l'asse antero-posteriore, trasformando vertebre cervicali e vertebre lombari in tipiche vertebre toraciche, spazzando via lo spazio per il cinto scapolare, mentre quello pelvico si riduce, ed in altre specie di serpenti scompare del tutto. Quindi possiamo ritenere che le modificazioni nella regolazione dell'espressione (e cioè dell'attività) di questi geni abbiano completamente trasformato la struttura corporea del serpente rispetto alla lucertola. Per dimostrare questo sui serpenti bisognerebbe riportare "indietro" (cioè più posteriormente), l'espressione dei geni *Hoxc6* e *Hoxc8*. Attualmente non è possibile realizzare questo esperimento nel serpente, in quanto non è stata messa a punto la procedura, ma è concettualmente pensabile. Il risultato atteso sarebbe di ottenere nuovamente vertebre cervicali nella parte anteriore del corpo del serpente e così riportare indietro l'evoluzione. Benché questo particolare esperimento non sia attualmente realizzabile nel serpente, esperimenti realizzati sul topo dimostrano indirettamente che le cose assai probabilmente sono andate così; infatti, nei topolini, spostando in avanti l'attività dei geni *Hox* "toracici" si causa la comparsa di piccole coste sulle loro vertebre cervicali. Esperimenti che in un certo senso riportano indietro l'evoluzione sono stati tuttavia effettivamente realizzati nel topo. In uno di questi, modificando il funzionamento di un gene chiave, gli abbozzi somitici che normalmente costituiscono la regione occipitale del cranio, ed assimilati ad esso durante l'evoluzione, vengono "estratti" dalla regione occipitale e vanno invece a formare pezzi simili a vertebre davanti alla prima vertebra cervicale, l'atlante. Quindi, l'antico programma di sviluppo che prevedeva la formazione di vertebre appare

ancora in grado di funzionare nel modo ancestrale, anche se è stato modificato per la costruzione la regione posteriore (occipitale) del cranio.

In modo analogo, forme antiche di insetti avevano appendici “alari” sul primo segmento toracico e sui segmenti addominali. La perdita di funzione, per mutazione, dei geni omeotici che controllano il destino dei segmenti posteriori (*Ubx* e *Abd-A*) comporta la comparsa di dischi imaginali per le ali anche sui segmenti addominali, dimostrando che la potenzialità di sviluppare ali esiste anche su questi segmenti e ponendo in luce la persistenza di un programma genetico per la loro formazione: tracce di un vecchio programma di sviluppo oggi non più utilizzato negli insetti. Quindi, anche nel DNA di *Drosophila*, è rimasta traccia di antichi programmi genetici che sono stati modificati durante l’evoluzione a favore di nuovi programmi per lo sviluppo del piano costruttivo odierno. Quale migliore prova dell’evoluzione?

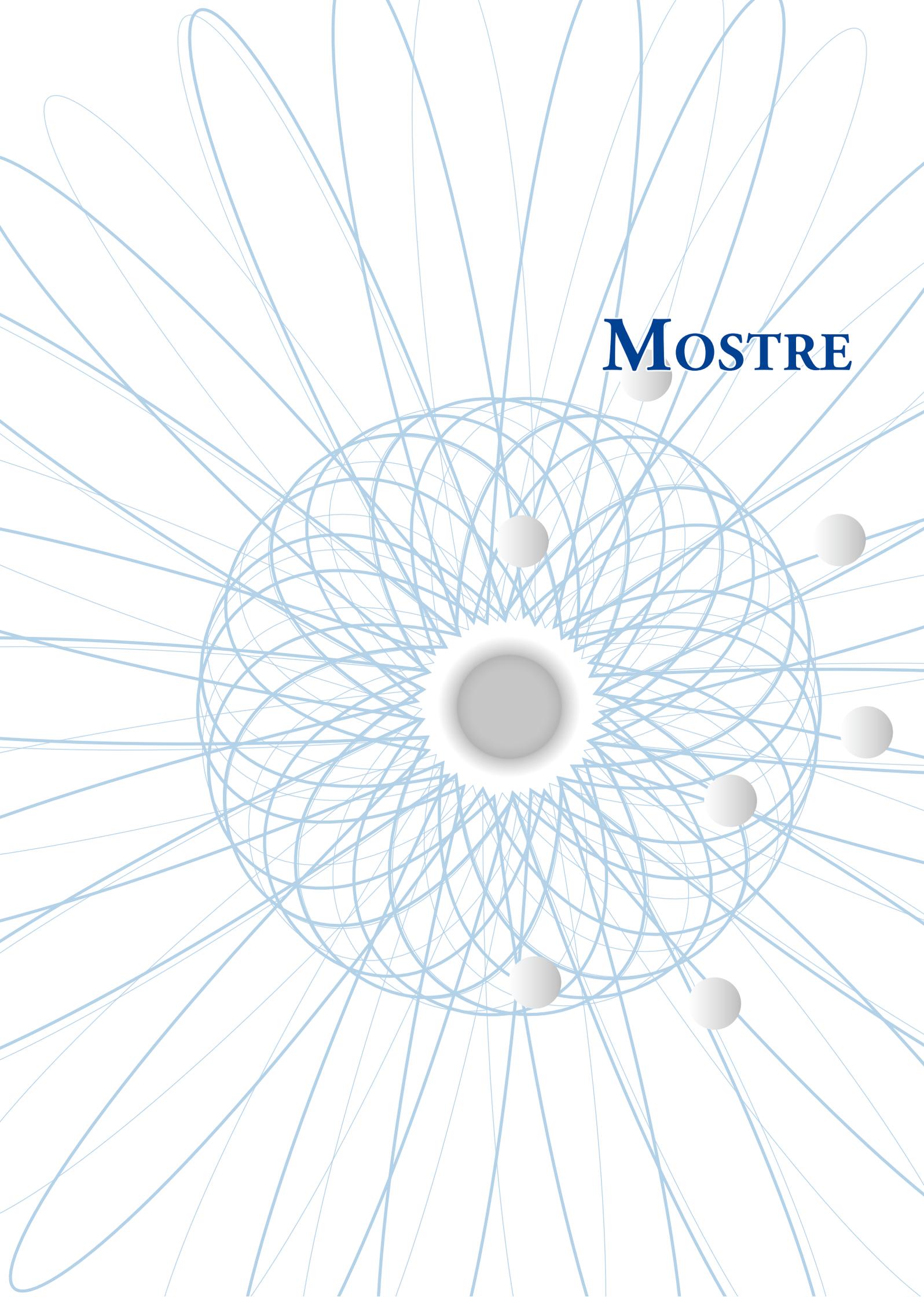
La potenzialità di formare ali su segmenti diversi dai due che le portano normalmente quindi esiste; ed in effetti, in un gruppo affine alle nostre cicale, questa potenzialità viene “sfruttata”: la famiglia dei Rincoti Membracidi è caratterizzata dallo sviluppo, sul primo segmento toracico normalmente privo di ali, di un paio di ali criptico modificato in ogni sorta di bizzarre appendici.

Etienne Geoffroy de Saint Hilaire, propose che ci fosse stata un’inversione dell’asse dorso-ventrale tra vertebrati e artropodi, e che quindi queste due linee filetiche sarebbero riconducibili ad un comune tipo ancestrale (per il quale è stato oggi proposto il nome di Urbilaterio). Su questo, e sul suo concetto di unità di tipo, fu severamente sconfitto da Cuvier, ma oggi geni che vengono riconosciuti omologhi sono attivi in modo esattamente opposto nell’asse dorso-ventrale negli artropodi rispetto ai vertebrati: negli artropodi *short gastrulation* è attivo sul lato ventrale (dove promuove lo sviluppo ventrale), mentre il suo corrispondente, *chordin*, nei vertebrati è attivo sul lato dorsale (dove promuove le strutture dorsali); in modo opposto sono espressi *decapentaplegic* in *Drosophila* e il suo omologo *bmp4* nei vertebrati. Questa situazione rende merito a Geoffroy e dimostra, una volta di più, che lo studio delle modalità genetico-molecolari che regolano lo sviluppo degli organismi animali contribuisce a chiarire relazioni altrimenti nebulose tra le varie forme viventi. Quindi, in conclusione non siamo così diversi, anche nel modo in cui veniamo costruiti, da una mosca, o da un comune antenato urbilaterio.

Nel 2001, il sequenziamento del genoma umano fu salutato come un grande passo per la comprensione di come il nostro DNA controlla tutti gli aspetti del funzionamento della specie umana, incluse molte possibili patologie. Oggi le tecniche di sequenziamento del DNA stanno rendendo possibile la decifrazione dei genomi di un gran numero di specie, incluse quelle specie chiave di particolare significato dal punto di vista evolutivo; la conoscenza di questi genomi promette di essere ancora più interessante e importante della stessa conoscenza del genoma umano, ai fini della comprensione di che cosa rende differenti le specie animali e vegetali, e della decifrazione di che cosa ci rende al tempo stesso diversi, benché simili, ai nostri cugini animali.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Scott Gilbert, *Developmental Biology*, Sinauer (Trad. Italiana, *Biologia dello sviluppo*, Zanichelli).
- Carroll, Grenier, Weatherbee, *From DNA to diversity*, Blackwell (Trad. Italiana, *Dal DNA alla diversità*, Zanichelli).

The background features a complex, abstract design of thin blue lines. A central sphere is formed by a dense, overlapping web of these lines. From the center, numerous lines radiate outwards, some forming larger, looser loops. Several semi-transparent, light grey spheres are placed at various points along these radiating lines, creating a sense of depth and focus.

**MOSTRE**



# *Il radar: una storia italiana*



## INTRODUZIONE

STEFANO CAMPI

*Università di Siena*

*Firenze, Tribuna di Galileo, "La Specola", Museo di Storia Naturale, 3-17 febbraio 2013*

*Siena, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e Scienze Matematiche, 7-21 aprile 2013*

L'idea della mostra nasce nell'ambito del Comitato Tecnico-Scientifico di "Pianeta Galileo" ed ha come finalità principale quella di presentare ai giovani delle scuole superiori, ma anche ad un pubblico più ampio, il racconto di una vicenda scientifica poco conosciuta, che ha come protagonisti Ugo Tiberio e Nello Carrara.

La mostra non ha la pretesa di fornire una ricostruzione e un'analisi storico-scientifica di quanto è legato all'invenzione e alla produzione del radar; vuole invece mettere in luce, con un taglio didascalico, alcuni momenti di quella storia carichi di significato.

Si tratta di una realizzazione interamente attribuibile a Pianeta Galileo e, di conseguenza, al Consiglio Regionale della Toscana.

E non è un caso che la storia di cui si parla nella mostra, più che italiana, è toscana: si svolge principalmente a Livorno, dove Tiberio e Carrara operano negli anni '30 del secolo scorso, presso il Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni e l'Accademia Navale. In seguito Tiberio e Carrara svolgeranno la loro attività a Pisa e a Firenze e loro scuola produrrà allievi e risultati che hanno avuto e tutt'oggi hanno un posto di primo piano nel panorama scientifico e tecnologico.

La mostra si configura come un percorso lungo il quale si snoda un racconto: un racconto che possiamo far partire nel 1996, quando Paolo e Roberto Tiberio, i figli di Ugo, ritrovano in vecchio baule di famiglia, a Livorno, un manoscritto del padre del 1936, in cui si anticipano molte delle basi concettuali e delle soluzioni tecniche dei futuri radar.

Il racconto del "manoscritto ritrovato" può dunque essere letto come un flash-back che ci riporta agli anni '30 del secolo scorso e, prima ancora, agli inizi del secolo, a pochi anni dall'invenzione della radio da parte di Guglielmo Marconi. Le ultime pagine del racconto narrano degli sviluppi del radar in anni recenti.

Ugo Tiberio, ingegnere e ufficiale della Regia Marina, insieme a Nello Carrara, il padre delle microonde, progettò e realizzò con successo il primo radar italiano, chiamato "Gufo", ponendone le basi teoriche e formulando il modello di calcolo della portata. Non possono non destare ammirazione i risultati conseguiti da questi due isolati pio-

nieri della ricerca sul radar in Italia a confronto con quelli conseguiti all'estero da folti gruppi di ricercatori, sostenuti da cospicui supporti economici.

La mostra, nel mettere in risalto il ruolo svolto da questi due scienziati italiani, ripercorre la storia e il progresso scientifico legati a questo strumento, arrivando sino ai giorni nostri e mostrando così anche il grande impatto nello sviluppo industriale che le ricerche sul radar hanno avuto nel nostro Paese.

Il percorso segue uno schema suggerito dal volume "Cent'anni di radar" di Gaspare Galati, (Aracne Editrice, 2013), al quale gli organizzatori sono grati per la consulenza tecnico-storica ed il materiale documentale messo a disposizione.

Il contributo principale alla mostra proviene dal professor Paolo Tiberio, figlio di Ugo Tiberio, che ha offerto la sua collaborazione assidua e ha fornito importanti documenti. Altri contributi di rilievo sono venuti dal Dottor Franco Samoggia (ex AD della SMA), dall'Amm. Lucio Mattiussi (ex direttore di Mariteleradar-Istituto Vallauri) e dal Dottor Eugenio Carrara, figlio di Nello Carrara.

Il racconto è scandito da una quindicina di pannelli ed è corredato da una serie di oggetti e documenti di valore storico.

Il materiale esposto proviene, oltre che dai soggetti prima indicati, dal Museo della Selex Galileo e dal Museo della Scienza e Tecnologia di Milano.

La mostra è stata curata ed allestita ad opera dell'Associazione LUDICA onlus, che si è occupata di tutti gli aspetti organizzativi, in particolare delle visite guidate offerte alle scuole.

Parallelamente alla mostra, sia a Firenze che a Siena, sono stati organizzati incontri, con interventi di esperti, di cui riportiamo il programma:

**Firenze, Museo di Storia Naturale:**

V. Cappellini, F. Samoggia e R. Salimbeni: "Il ruolo di Nello Carrara nello sviluppo del radar", 9 febbraio 2013

G. Galati, P. Tiberio e A. Lazzareschi Sergiusti: "Cent'anni di radar in Italia", 16 febbraio 2013

**Siena, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e Scienze Matematiche:**

S. Maci: "Nuove Tecnologie per Antenne Radar", 6 aprile 2013

L. Masotti: "Sono stato Assistente del Professor Nello Carrara", 11 aprile 2013

R. Salimbeni: "L'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" oggi", 11 aprile 2013

F. Brando, G. Galati e P. Tiberio: "Cent'anni di radar in Italia", 17 aprile 2013

Con profonda soddisfazione si accolgono in questo volume degli Atti i contributi di tre esperti che hanno fornito il loro decisivo apporto alla realizzazione della mostra.

---

## L'INVENZIONE DEL RADAR: IL CONTRIBUTO DI UGO TIBERIO DAL 1935 AL 1943

PAOLO TIBERIO<sup>1</sup>

*Dipartimento di Ingegneria "E.Ferrari", Università di Modena e Reggio Emilia*

### Sommario

La coscienza delle origini e dell'evoluzione storica di un settore scientifico e tecnico è condizione importante per il suo ulteriore sviluppo; tale coscienza è alla base del desiderio rendere nota alla comunità scientifica la figura e l'opera del Prof. Ugo Tiberio.

Ugo Tiberio partendo dalle intuizioni e dalle sperimentazioni di Marconi sulla riflessione delle onde elettromagnetiche, formulò per primo l'equazione del radar e successivamente progettò e costruì il prototipo del radiotelemetro (radar) della Marina Militare Italiana.

L'articolo ha lo scopo di inquadrare la situazione scientifica e tecnica della marina militare italiana appena precedente al secondo conflitto mondiale e ripercorrere le tappe difficilissime, disseminate di incomprensioni e ritardi, di quella che Tiberio chiamava "l'avventura del radar" ed infine ricordare l'opera del Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni della Marina a Livorno presso il quale si trovò ad operare.

### 1. L'intuizione del radar.

In una relazione presentata all' "American Institute of Electrical Engineers" e all' "Institute of Radio Engineers" il 20 giugno 1922, Guglielmo Marconi disse:

... Io ritengo che dovrebbe essere possibile progettare apparati per mezzo dei quali una nave possa irradiare un fascio di onde in una direzione voluta, le quali, ove incontrino un oggetto metallico, quale un'altra nave, siano riflesse su un ricevitore schermato rispetto al trasmettitore della nave trasmittente e quindi immediatamente diano la presenza ed il rilevamento dell'altra nave nella nebbia o nel tempo cattivo .....

Già in precedenza Heinrich Rudolf Hertz aveva osservato la riflessione delle onde elettromagnetiche e Christian Hulsmeyer aveva brevettato in Germania nel 1904 un apparato (spark-transmitter) per la rilevazione delle onde riflesse, ma la tecnologia elettronica non era ancora pronta per una efficace realizzazione di apparati di rileva-

---

<sup>1</sup> Paolo Tiberio, figlio di Ugo Tiberio, è professore emerito di "Sistemi Informativi" presso l'Università di Modena e Reggio Emilia. Fino al 1998 ha insegnato all'Università di Bologna. Oltre ad un'intensa attività scientifica a livello internazionale, ha svolto rilevanti mansioni direttive sia all'interno dell'Università che presso istituti di ricerca.

zione di ostacoli via radio [1]. Nel 1922, invece, sia per l'importanza e la notorietà di Marconi, sia per l'esistenza di valvole elettroniche affidabili, l'idea poteva cominciare ad avere concrete possibilità di realizzazione. Quindi, anche se è da attribuire Cristian Hulsmeyer il primato sull'intuizione dell'idea, a Marconi si deve il merito di aver risvegliato e focalizzato l'interesse per lo studio e la realizzazione del radar.

Successivamente Marconi mise a punto un collegamento a microonde per il Pontefice collegando il Vaticano con la residenza estiva di Castel Gandolfo. In occasione dei collaudi, Marconi aveva notato che si verificava spesso un fischio nella ricezione ogni qualvolta un oggetto passava attraverso al fascio trasmesso.

Esaminando meglio il fenomeno, Marconi intuì la possibilità che questo potesse essere sfruttato per realizzare sbarramenti a microonde e per localizzare a distanza corpi in movimento. Resosi conto delle implicazioni militari Marconi propose, già dal 1933, di eseguire ulteriori esperimenti. Un'importante dimostrazione avvenne il 14 maggio 1935 alla presenza del Capo del Governo e delle più alte autorità militari presso Acquafredda. Come sede di esperimenti più approfonditi fu poi scelta Torre Chiaruccia che già ospitava un impianto ad onde corte per comunicazioni intercontinentali. Gli esperimenti furono condotti fino al giorno prima della morte di Marconi, avvenuta a Roma il 20 luglio 1937 e con questa bruscamente interrotti.

In Inghilterra l'idea del radar aveva avuto un'accoglienza ben diversa, infatti già nel 1935 Robert Watson-Watt (Sir) produsse il primo prototipo di radar e nel 1938 iniziò l'istallazione di radar (RADIO DETECTION AND RANGING) sulle navi ed a terra. Di fondamentale importanza bellica fu la radar Chain Home che nel 1940 disponeva di 50 stazioni anti aeree nel sud dell'Inghilterra, collegate in rete telefonica per il coordinamento dell'azione dei caccia (battaglia aerea di Inghilterra). Inoltre furono ottenuti grandi risultati con i radar navali in Mediterraneo ed in Atlantico [1].

In Germania nel 1934 l'istituto NVA della marina realizzò un primo apparato capace di avvistare una nave a meno di un km, ma tra successi, insuccessi ed indecisioni si arrivò nel 1939 con solo 9 radar (Freya) anti aerei ed uno navale (denominato DeTe) sulla corazzata Graf von Spee [1].

In USA dal 1930 il Naval Res. Lab. si applicò al radar con un elevatissimo numero di persone e ingenti finanziamenti (3-4 miliardi di \$ , superiore a quanto investito per la bomba atomica). Nel 1941 la U.S. Navy aveva apparati ad impulsi su tutte le maggiori navi e nel 1945 gli USA avevano radar navali, anti aerei e aerei di altissima qualità [1].

Sono infine da ricordare le ricerche e le applicazioni sviluppate in altre nazioni principalmente in Francia, Giappone e Unione Sovietica.

## **2. La preparazione italiana in campo radar (1933-1940).**

In Italia Guglielmo Marconi non riuscì nell'intento di convincere le autorità militari ad un approccio immediato e consistente al problema. Alle dimostrazioni di Marconi aveva però assistito il Gen. Luigi Sacco, allora direttore dell'Istituto Militare Superiore delle Trasmissioni dell'Esercito Italiano a Roma, il quale ritenne interessante indagare

sul tema. Nel 1934 il S.T. ing. Ugo Tiberio fu incaricato dal Gen. Sacco di iniziare una ricerca teorico-sperimentale allo scopo di determinare la portata, che un apparecchio di avvistamento avrebbe potuto avere con le potenze di trasmissione e le sensibilità di ricezione disponibili a quel tempo. Tale ricerca fu completata sul finire del 1935 portò ai seguenti risultati [2, 3]:

- a. fu risolto il problema teorico di calcolare la intensità dell'eco, pervenendo a quella relazione che va oggi sotto il nome di equazione del radar ;
- b. furono prospettati e discussi due schemi di realizzazione: uno a modulazione di frequenza ed uno ad impulsi , Tiberio proponeva di sperimentare entrambi gli schemi, ma fu data precedenza al primo; al dispositivo, adatto alla misura delle distanze, fu dato il nome di radiotelemetro (radar);
- c. fu anche prospettata la possibilità dell'avvistamento per effetto Doppler, e l'apparecchio fu designato col nome di radiotachimetro perché più adatto alla misura delle velocità dei bersagli .

Questi risultati furono riassunti in una relazione e discussi con il Direttore del Reparto Studi Gen. Sacco che incoraggiò Tiberio verso una soluzione ad onda continua poiché Marconi stesso l'aveva prospettata. Tiberio non conobbe mai Marconi ma c'è da supporre che, se il grande scienziato avesse potuto prendere visione dei risultati di Tiberio e non fosse morto prematuramente nel 1937, probabilmente la storia del radar italiano sarebbe stata diversa. Sacco, convinto assertore dell'opportunità di realizzare il radiotelemetro, inoltrò la relazione al Comitato Interministeriale per i servizi militari elettrici, il quale l'approvò.

La relazione diede luogo a due diverse proposte. La prima avanzata dall'allora Col. C. Matteini del Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni della Marina (R.I.E.C.) e suffragata dal parere del Direttore Prof. G. Vallauri, consisteva nel destinare una somma, equivalente al costo della costruzione di un incrociatore da 10.000 ton., al potenziamento dell'elettronica di bordo con riguardo particolare al radiotelemetro (allora denominato anche Radio-Detector Telemetro, abbreviato in R.D.T.), si chiedeva in pratica una mobilitazione nazionale sull'elettronica e la radiotecnica. La seconda proposta consisteva nell'affidare ad un gruppo limitato di tecnici il compito di seguire il problema eseguendo qualche prova preliminare, nell'attesa di avere notizie sullo stato di avanzamento delle ricerche presso altre nazioni. In ogni caso il problema era considerato di pertinenza della Marina, che disponeva dell'istituto di ricerca in elettronica e telecomunicazioni più avanzato in Italia (il R.I.E.C. : Regio Istituto Elettrotecnica e Comunicazioni), disposto in prossimità del mare e quindi in condizioni più favorevoli per le prove.

Le ricerche vennero affidate allo stesso Tiberio che venne destinato a Livorno, in qualità di ufficiale del Corpo delle Armi Navali (A.N.), con l'incarico di costruire e sperimentare i nuovi apparecchi a partire dal giugno 1936. Il finanziamento per la ricerca

fu di 20.000 lire annue. Il gruppo di tecnici incaricato di seguire la questione si ridusse poi praticamente al solo Tiberio coadiuvato in modo discontinuo da alcuni collaboratori (tra cui il Cap. A. Brandimarte, l'ing. Lombardini e il Dr. R. Ricamo).



*Figura 1. Ugo Tiberio (CB 1904, LI 1980)*

Il R.I.E.C. era stato istituito nel 1916 dal Prof. Giancarlo Vallauri, eminente scienziato e primo elettronico italiano, successivamente avevano lavorato presso l'istituto altri importanti scienziati italiani come il prof Boella, l'ing Vecchiacchi. Al tempo dell'arrivo di Tiberio in Accademia Navale la persona di maggiore spicco era certamente il prof. Nello Carrara grande studioso di microonde e grande esperto di comunicazioni radio. Il confronto di idee con Carrara e la sua esperienza sulle comunicazioni a microonde furono certamente di grande stimolo ed aiuto per Tiberio.

Nel 1936 il primo prototipo rudimentale sviluppato a Livorno, denominato EC1, confermò la validità dell'equazione del radar utilizzata da Tiberio. Si poteva infatti udire l'eco riflesso da un motoscafo a 2000 metri con un trasmettitore che, equipaggiato con due triodi T 800 RCA, erogava soltanto 150 w. Calcolando la portata con potenze dell'ordine di 15 kw e superfici superiori del bersaglio si poteva arrivare a 40 km.

La Marina provvide quindi ad inviare informatori presso le marine inglese, tedesca ed americana per tentare di ottenere notizie circa studi del genere. A causa probabilmente della scarsa preparazione tecnica del personale inviato e della strettissima segretezza della questione, questo tentativo del diede esito negativo. Va ricordato però che, nel 1938, il Col. Matteini (Comandante del R.I.E.C.), preoccupato della eventualità di un conflitto, ottenne che il Ministero della Marina affidasse alla Ditta S.A.F.A.R. (Soc. An. Fabbricazione Apparecchi Radiofonici) di Milano il compito di progettare ed eventualmente costruire un apparato ad impulsi. La S.A.F.A.R. dovette, dopo circa un anno, rinunciare a causa della scarsissima disponibilità di personale tecnico specializzato.

Al R.I.E.C dal 1936 al 1940 il Tiberio costruì i seguenti dispositivi sperimentali:

a) una serie di apparecchi a modulazione di frequenza, su onde di 2 metri (denominati EC1, ed EC2), sperimentati in varie forme dal '36 al 1938; il metodo a onda continua si rivelò non adatto per le esigenze della radiotelemetria vera e propria, poteva però servire per l'identificazione di navi amiche qualora su esse fosse installato un dipolo emittente.

b) due apparecchi ad impulsi, iniziati alla fine del '39 e finiti nel '41 (denominati EC3 "Gufo" ed RDT4 "Folaga"), analoghi a quelli indipendentemente studiati ed utilizzati in Gran Bretagna, Germania e USA;



*Figura 2. RDT EC1 sulla terrazza del R.I.E.C.*

L'EC3, per uso navale su onda di 70 centimetri, dette risultati soddisfacenti, con portata di 12 chilometri contro navi e di 30 chilometri contro aerei, l'altro, su onda di m. 1,50, era concepito per uso costiero.

L'evoluzione della prima relazione di Tiberio del 1935 venne pubblicata nel 1939 con qualche modifica per tutelare il segreto [3]. Si tratta del primo lavoro, in sede internazionale, in cui risulti discussa la teoria del radar nello spazio libero, con la deduzione della equazione del radar<sup>(1)</sup>, in termini di forza cimmotrice [4, 5].

Nel suo lavoro [3] Tiberio propone una forma dell'equazione fondamentale del radar del tipo  $F = \gamma E/d^2$  dove  $F$  è il campo all'antenna ricevente,  $\gamma$  è un coefficiente dipendente dalla natura e dalla disposizione del bersaglio,  $d$  la distanza ed  $E$  al forza cimmotrice (campo per distanza) dell'antenna trasmittente. Dall'equazione di cui sopra (facendo i quadrati) si può ottenere l'equazione standard attuale:  $P_r = ACP_t / d^4$ , dove  $P_r$  e  $P_t$  sono rispettivamente le potenze ricevuta e trasmessa,  $A$  l'area efficace dell' antenna ricevente e  $C$  contiene il prodotto della superficie equivalente radar per il guadagno dell' antenna usata in trasmissione (la superficie equivalente radar è una grandezza introdotta successivamente che caratterizza la capacità di retrodiffusione verso il radar da parte del bersaglio).

La pubblicazione fu autorizzata dalla Marina a condizione che essa non riferisse circa gli apparati ad impulsi, il lavoro conclude in senso favorevole a quelli ad onda continua, dei quali era stata sospesa la realizzazione. In quel medesimo anno il Comandante O. Tazzari pubblicò un articolo sulla Rivista Marittima dal titolo “Radiotelemetria” prospettando la grandissima importanza del problema e la gravità della situazione nella quale la Marina avrebbe potuto trovarsi in caso di guerra [6] esprimendo in modo chiaro il pensiero di una corrente molto numerosa di giovani ufficiali. Ovviamente la mancanza di radar aveva portato a trascurare le tecniche di combattimento notturno nelle quali gli inglesi si dimostrarono maestri [7, 8]. Bisogna anche dire che non c'erano previsioni a breve termine di una partecipazione italiana ad una guerra prolungata stante la riconosciuta arretratezza degli equipaggiamenti dell'esercito, del tessuto industriale insufficiente e la cronica mancanza di materie prime.

All'atto dell'entrata in guerra, il R.I.E.C. aveva condotto quasi al termine le sue ricerche di radiotelemetria, ed aveva due apparecchi sperimentali discretamente funzionanti. Nessuna informazione si era avuta da parte dei servizi segreti circa le ricerche svolte in Germania e Gran Bretagna. È oggi, come del resto allora, incredibile e ingiustificabile la miopia di chi non capiva l'enorme vantaggio che un'arma come il radar avrebbe dato in caso di combattimento notturno o di scarsa visibilità, quando i telemetri ottici sono inservibili. È, inoltre, strano come i servizi segreti avessero trascurato di esaminare le fotografie della corazzata tedesca Graf Spee che si autoaffondò nel dicembre 1939 davanti a Montevideo, sopra il torrione della nave si vedeva benissimo l'antenna del primo radar navale tedesco: il Funkmessgerät FuMO 21 (chiamato anche Dete, con portata di 15-18 km)[1].

Anche se l'importanza del radiotelesmetro fosse stata immediatamente capita dagli alti gradi della Marina, si era ben lontani dal poter far fronte alle esigenze della produzione in serie, non solo perché il funzionamento non era ancora del tutto soddisfacente, ma anche perché l'industria non era in grado di fabbricare le valvole di potenza, che nei prototipi erano tutte di provenienza americana.

### **3. Attività della Marina durante la guerra (1940-1943).**

I primi contatti navali in Mediterraneo dell'estate del 1940, sembravano dimostrare che gli inglesi non avessero i radar sulle navi. E non fu data importanza al radiotelesmetro posizionato sulla terrazza del R.I.E.C. che vedeva il traffico del porto di Livorno e nel giugno rilevò una squadriglia di aerei da bombardamento francesi a 30 km. Se un apparato del genere fosse stato installato a Taranto forse si sarebbe potuto contrastare l'attacco silurante portato da 8 aerei Swordfish della portaerei inglese *Illustrious* che danneggiarono seriamente tre corazzate italiane nel novembre del 1940.

Sul finire del 1940 era però ormai chiaro ai comandanti delle navi destinate alla scorta dai convogli che la marina inglese era dotata di dispositivi radar, in quanto i nostri venivano sistematicamente intercettati di notte.

Si giunse così allo scontro notturno di Capo Matapan (28 marzo 1941) il cui svolgimento non lasciò dubbi. Dopo una giornata di inconcludente combattimento a lunga distanza tra la flotta italiana e quella inglese, l'ammiraglio Cunningham lanciò, dalla portaerei Formidable, tre attacchi siluranti che riuscirono a colpire la corazzata Vittorio Veneto e l'incrociatore pesante Pola. Il Pola rimase immobilizzato ed al calare della notte l'Amm. Iachino dette l'ordine di tentarne il recupero del Pola con la I<sup>a</sup> divisione incrociatori (Incc. Zara e Fiume e 4 cacciatorpediniere) [7]. Gli inglesi avevano 4 radar sulle loro navi, avvistarono il Pola, sentirono a distanza gli echi delle navi italiane che nel buio erano praticamente cieche [8]. Le condizioni di scarsa visibilità favorirono gli inglesi che aprirono il fuoco a circa 3000 metri affondando i due incrociatori, due dei cacciatorpediniere e successivamente il Pola.

L'azione si era svolta di notte e la decifrazione di un messaggio inglese che parlava di ottimi risultati degli apparati di scoperta rivelava la presenza di radar sulle navi inglesi. E' ovvio che la presenza di almeno un radiotelemetro a bordo avrebbe consentito alle navi italiane, dotate di velocità superiore, di disimpegnarsi o di tentare un attacco silurante. Il comportamento della flotta fu molto criticato dalla marina tedesca che, però, dopo due mesi perse la corazzata Bismarck alla prima uscita in mare. Infatti, dopo il primo contatto balistico, la corazzata tedesca fu tenuta sotto controllo dal radar dell'incrociatore Suffolk, che, rimanendo nascosto nella nebbia, permise alle navi inglesi di raggiungerla e affondarla. La marina inglese aveva dimostrato tutta la sua superiorità in fatto di numero, qualità e addestramento delle navi ma soprattutto una innegabile superiorità elettronica.

Anche al fine di controllare e verificare il lavoro svolto al R.I.E.C., la Marina ordinò che esperienze di carattere ufficiale fossero eseguite subito con gli apparecchi sperimentali di Tiberio. Tali prove ebbero luogo a Livorno il 20 aprile 1941. Il radiotelemetro, denominato EC3 bis "Gufo", funzionò in modo regolare, furono intercettati: la nave Urania ad una distanza di 12 km e aerei a 34. Il primo esemplare fu subito installato sulla torpediniera Carini dalla quale fu poi trasferito sulla corazzata Littorio .

Fu sollecitato inoltre insistentemente l'aiuto della Germania, specialmente per la fornitura delle valvole di potenza. Nel luglio del 1941 una delegazione della Marina (ne facevano parte Tiberio e Matteini) si incontrò con una delegazione di esperti radar tedeschi. In sostanza risultò che, a parte il problema della scarsa potenza del trasmettitore, il radar italiano non era inferiore a quello tedesco. Non fu comunque possibile avere la valvole e non fu mai stabilita una sostanziale collaborazione se non con la promessa di alcuni Fu.Mo che cominciarono ad arrivare dalla fine del '42.

Nelle condizioni in cui si trovava l'Italia, era difficile impostare un esteso programma di studi e di costruzioni, fu quindi, deciso affrontare i seguenti problemi urgenti [9]:

- a. riprodurre al più presto, nel maggior numero possibile di esemplari, il prototipo navale su onda di 70 centimetri;

- b. completare e riprodurre in serie al più presto il prototipo basato a terra su onda di 2 metri, in modo da fornire alle città uno strumento che permettesse di dare l'allarme antiaereo in tempo utile;
- c. realizzare apparecchi per la intercettazione e il disturbo dei radiotelemetri avversari;
- d. avviare lo studio di un radiotelesmetro per aeroplani da ricognizione marittima e di uno per il tiro contraereo;
- e. vista la difficoltà incontrate con la Germania, affrontare il problema di progettare e costruire in Italia le valvole dei trasmettitori.

I primi due di questi compiti vennero affidato alle industrie disponibili sotto il controllo di un reparto del R.I.E.C., facente capo a Tiberio.

I compiti c) e d) vennero assunti dall'Istituto Radiotecnico dell'Aeronautica a Guidonia, sotto la responsabilità del Col. A. Marino e del Dr. G. Latmiral.

Per il problema delle valvole di potenza fu determinante l'intervento del Prof. Nello Carrara che operava presso il R.I.E.C.. Carrara era infatti una delle personalità scientifiche di maggiore spicco dell'Istituto, grande esperto internazionale nel campo delle microonde[9]. La tradizionale ed ampia esperienza sulle valvole elettroniche della scuola del Vallauri, di cui Carrara faceva parte, non deluse le aspettative. Ad opera del Carrara e dei suoi collaboratori furono conseguiti risultati assai importanti con la realizzazione di nuovi triodi per trasmettitori di grande potenza. Le valvole progettate da Carrara furono costruite a Firenze e a causa delle loro forma furono chiamate le "pentole di Carrara".

Il passaggio, da una situazione di inattività industriale quasi completa, ad una di assoluta emergenza, dette luogo all'ordine di realizzare a scadenza ravvicinata 50 esemplari di EC3-ter, derivati dall'apparato sperimentale EC3-bis.

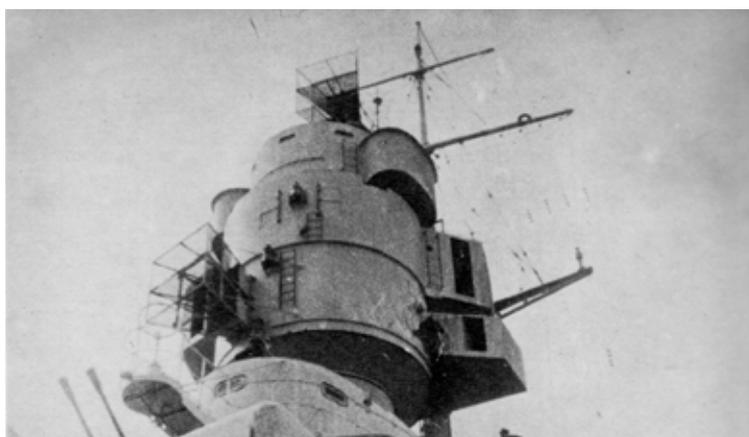


Figura 3. Radiotelesmetri Gufo installati sul torrione della corazzata Littorio

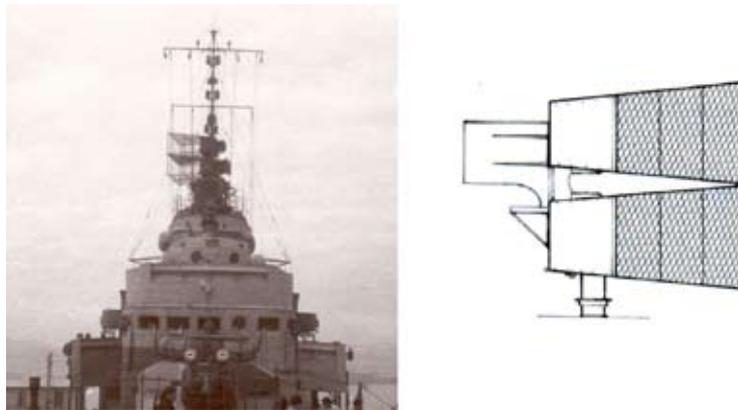


Figura 4. EC3-ter Gufo sull'albero di un cacciatorpediniere. (a fianco) disposizione sovrapposta delle antenne

La struttura del EC3-ter [1, 10, 11] era composta da due apparati: il trasmettitore ed il ricevitore montati uno sull'altro collocati su un sistema per il brandeggio posizionato sull'albero della nave o sul torrione, collegato ad un sistema di comando e visualizzazione degli echi.

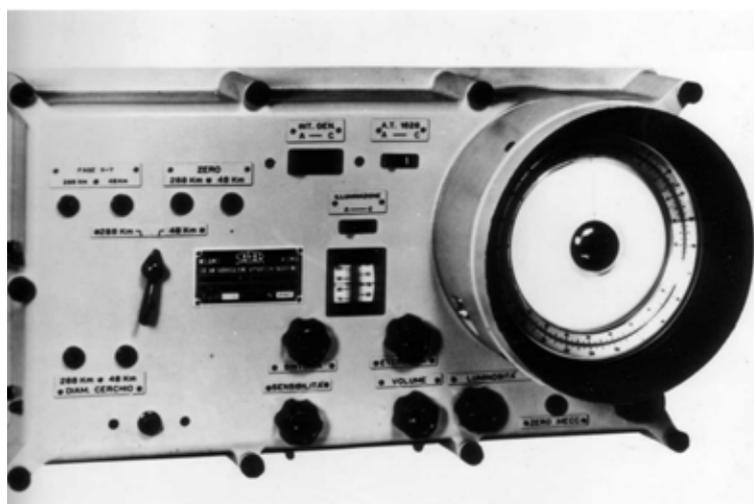
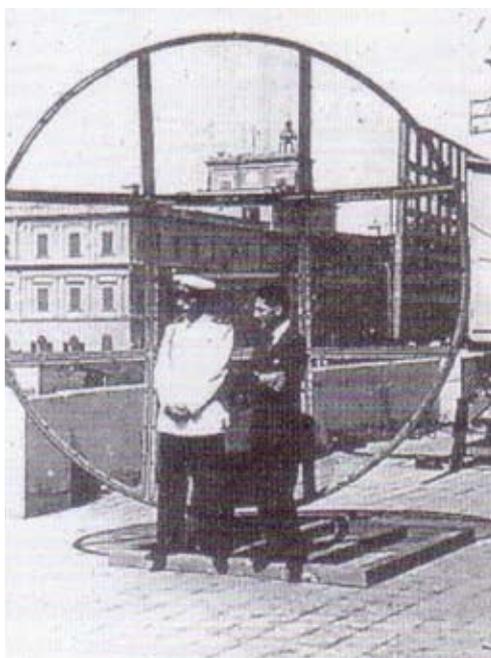


Figura 5. Il pannello di controllo del Gufo

Erano presenti due antenne a tronco di piramide, una per la trasmissione ed una per la ricezione, che ottemperavano sia la compito antinave che a quello antiaereo. L'angolo di copertura orizzontale, cioè l'angolo entro il quale un ostacolo galleggiante di piccole dimensioni era visibile a distanze sui 10 mila metri, risultava di circa  $6^\circ$ ; quello verticale sui  $20^\circ$ . La durata di impulso era di  $4 \mu\text{s}$  e la frequenza di ripetizione impulsiva era di 500 Hz, con potenza di picco di 10 kW. La portata antiaerea era da 80 a 120 km, quella antinave variava dai 15 ai 30 mila metri, a seconda della quota di installazione (35 metri sulle corazzate, 25 sugli incrociatori e 15 sui cacciatorpediniere). Il congegno per la rotazione delle antenne permetteva la ricerca continua sui  $360^\circ$  con 3 giri al minuto, nonché la punteria a mano.

Contemporaneamente veniva studiato il radiotelemetro RDT4 "Folaga" basato a

terra per l'avvistamento antiaereo. L'efficienza del prototipo del "Folaga" fu sperimentata nel 1943 dalla terrazza del R.I.E.C. quando furono avvistate la squadriglie di bombardieri che colpirono Livorno.



*Figura 6. Installazione del RDT4 Folaga in Accademia Navale*

Collaborarono alla realizzazione dei radiotelemetri le ditte: SAFAR, Allocchio Bacchini, Marelli, Galileo, FIVRE, FIMET. Tra le numerose iniziative del Comitato RaRi, va ricordata la realizzazione, presso l'Istituto Elettronico dell'Aeronautica a Guidonia di un apparato per aerei da ricognizione marittima e di uno per avvistamento antiaereo di grande portata, di due apparati per tiro antiaereo (denominati Veltro e Lepre) a cura dell'ing. Castellani della SAFAR, di un complesso pure antiaereo a cura dell'ing. Vecchiacchi presso la Marelli, (denominato Lince) ed infine del disturbatore radar realizzato dal Dr. Latmiral che fu utilizzato per contrastare i radar di Malta. Per questi apparati il Comitato passò alle industrie grosse ordinazioni che purtroppo non ebbero seguito a causa del precipitare della crisi industriale. Solamente, tra la fine del '42 e i primi mesi del '43, 15 "Gufo" furono consegnati ed installati sulle navi insieme ad alcuni Fu.Mo tedeschi, inoltre 4 "Folaga" furono sistemati in postazioni terrestri insieme a numerosi Würzburg e Freja sotto controllo tedesco.

Purtroppo in Italia, anche se era la patria di Marconi, lo studio della radiotecnica era poco diffuso negli istituti tecnici e non c'erano corsi universitari dedicati all'elettronica. Quindi, benché il poco personale disponibile si prodigasse con molto impegno quando i pochi radiotelemetri arrivarono mancò il tempo per l'addestramento del personale a bordo e a terra. Con i bombardamenti dell'inverno 1942-43 le difficoltà, ovviamente, si moltiplicarono.

La documentazione sul radiotelemetro dal '35 al '43 è scarsa, rimanevano fino al

97 le foto delle installazioni sulle navi e sulla terrazza del R.I.E.C. e le pubblicazioni [3,10,11]. Il documento segreto del 1935 che conteneva e descriveva la prima proposta di realizzazione è andato perduto come anche molti dei documenti segreti e tecnici successivi. Fortunatamente i figli di Tiberio, hanno ritrovato un manoscritto originale datato 1936 [2, 12], indirizzato alla Marina, che fa riferimento alla prima proposta del 1935.

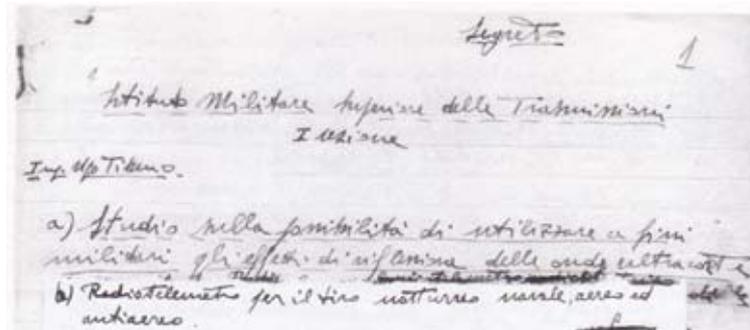


Figura 7a. Titolo del rapporto del 1936

di 1000 watt. Tali valori sono elementi in relazione alla distanza dell'unità riflettente, ed alla natura e posizione di essa.

| Distanza (m) | Nave di prua | Nave di poppa | Aeroplano |
|--------------|--------------|---------------|-----------|
| 1000         |              |               | 2400      |
| 2000         |              |               | 600       |
| 5000         | 5000         | 4500          | 90        |
| 10000        | 900          | 120           | 22        |
| 20000        | 30           | 7             | 5         |

Se il trasmettitore irradia 100 watt circolarmente i medesimi valori di rimpallo:

| Distanza (m) | Nave di prua | Nave di poppa | Aeroplano |
|--------------|--------------|---------------|-----------|
| 1000         |              |               | 80        |
| 2000         |              |               | 20        |
| 5000         | 1200         | 150           | 3         |
| 10000        | 29           | 4             |           |
| 20000        |              |               |           |

(da nave considerata con un'incapacità da 10000)

Figura 7b. Risultati del calcolo delle portate

Il manoscritto è stato consegnato nel 1998 al Capo di Stato Maggiore e viene tenuto nel Museo dell'Accademia Navale.

Oltre al manoscritto sono state ritrovate le copie di altri documenti segreti: il primo del febbraio 1937, intitolato "Studio sulla utilizzazione delle onde ultracorte per avvistamento", tratta del programma di costruzione di un nuovo apparecchio come concordato nel gennaio in una riunione con il Prof. Vallauri, il Gen. Sacco e i Comandanti Ruelle e Matteini del R.I.E.C., un secondo, dello stesso anno, intitolato "Progetto di

un apparato per la rivelazione di ostacoli per mezzo di onde ultracorte modulate in frequenza (radiotelemetro)”, un plico contenente gli schemi elettrici del trasmettitore e del ricevitore del “Gufo” datati luglio 41, due proposte di brevetto di Radiotelemetri (del 1937 e del 1941) ed infine il progetto di un Radiotachimetro (del 1942) per la rilevazione della direzione e della velocità dei bersagli navali (Museo dell’Accademia Navale). Ampia è invece la documentazione sul radar EC3-ter costruito dalla SAFAR contenuta nell’archivio di Carilio Castioni presso il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci di Milano.

### **Conclusione**

Nell’insieme si può dire che, in Italia, il problema del radar è stato tempestivamente prospettato e correttamente inquadrato e, se le autorità militari avessero ascoltato per tempo le proposte di Marconi e successivamente quelle di Tiberio, molti penosi episodi di guerra notturna sarebbero stati risparmiati alla Marina. La mobilitazione radar (più in generale elettronica) se iniziata alla metà degli anni 30 avrebbe messo in condizioni il Corpo delle Armi Navali di installare e tenere in operazione buon numero di apparati di vario tipo.

Al termine del conflitto nel 1946 fu permesso a Tiberio di pubblicare lo stato delle conoscenze acquisite dalla Marina sul libro Radiotelemetria [13].

Anche se vi furono dei ritardi, alla Marina si deve comunque oggi riconoscere il merito di aver creato nel 41 un importante gruppo di esperti. Queste persone hanno poi operato nelle università, nel Corpo delle Armi Navali e nelle industrie ricostruite del dopoguerra ed hanno contribuito alla fondazione ed allo sviluppo dell’industria Radar italiana che oggi costituisce un comparto industriale di notevole importanza economica e strategica.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Galati G.: Cent'anni di radar, Aracne ed. 2013.
- [2] Tiberio U.: Studio sulla possibilità di utilizzare a fini militari gli effetti di riflessione delle onde ultracorte. Radiotelemetro per il tiro notturno navale, eareo ed antiaereo (Rapporto segreto), in: L'insegnamento e l'opera di Ugo Tiberio. Rivista Marittima ed, 1988.
- [3] Tiberio U.: Misure di distanza per mezzo di onde ultracorte (radio telemetria), Alta Frequenza, vol. 8 , maggio 1939.
- [4] Sacco L., Tiberio U.: Sul modo di esporre e di impiegare i dati di irradiazione e propagazione, Alta Frequenza, vol. 4 , dicembre, 1935.
- [5] Swords S.S.: Technical history of the beginnings of radar . IET History of Technology Series, P. Pergrinus, 1986 e The Institution of Engineering and Technology , London, 2008..
- [6] Tazzari O.: Radiotelemetria, Rivista Marittima, 1939.
- [7] Iachino A.: Il tramonto di una grande marina, Mondadori, 1969.
- [8 ] Seth R. : Capo Matapan, due flotte sorprese, Garzanti ed. 1962.
- [9] Samoggia F. : Nello Carrara, Cambi ed. 2007.
- [10] Tiberio U.: Ricordo del primo radar navale italiano. L'Elettrotecnica, vol. LXVI, no 1979.
- [11] Tiberio U.: Some Historical Data Concerning the First Italian Naval Radar. IEEE Trans. AES, vol 5, 1979.
- [12 ] Calamia M.,Franceschetti G., Mori A.: Un manoscritto ritrovato e altri eventi per riscrivere la storia del radar italiano, 3° Conv. Naz. Storia dell'Ingegneria, Cuzzolin ed. Napoli 2010.
- [13] Tiberio U.: Introduzione alla Radiotelemetria (Radar), Edizione Speciale della Rivista Marittima, 1946.



## CENTO ANNI DI RADAR, UNA STORIA (ANCHE) ITALIANA. COME ERAVAMO, COSA FACEVAMO - RICORDI DEGLI ANNI DIFFICILI

FEDERICO BRANDO<sup>1</sup>

### Sommario

Partendo dalle prime idee di G. Marconi, si illustra brevemente lo sviluppo in Italia della tecnica di rilevamento di grandi masse metalliche per mezzo delle onde elettromagnetiche.

La teoria e le prime esperienze italiane concrete si hanno per merito di Ugo Tiberio che, in collaborazione con Nello Carrara, realizza, fra molte difficoltà, il primo sistema Radar impulsivo. Nel 1941 si ha l'installazione dei sistemi su torpediniere e navi da battaglia.

Poche ditte italiane sono in grado di produrre industrialmente gli apparati e, nel periodo 1941-45, qualche decina di sistemi furono installati su navi militari e nelle reti di sorveglianza terrestre.

I Radar italiani furono surclassati da quelli progettati in USA e in Inghilterra che impiegarono il Magnetron per produrre grandi potenze a microonde.

### Le origini e i primi esperimenti

Il grande fisico tedesco H. Hertz, nel 1892, così rispondeva alla lettera di un diciottenne: "Caro sig. G. Marconi, so che lei sta lavorando per trovare applicazioni alla mia idea sulle onde hertziane, come sono state benevolmente chiamate. Vorrei suggerirle di non insistere nel suo tentativo. Mi pare del tutto inutile pensare ad una applicazione pratica della teoria che ha occupato con fatica i miei giorni".

Anche i geni possono sbagliare le previsioni.

Nei primi anni del '900 si hanno già le prime applicazioni empiriche nel rivelare la presenza di grandi masse metalliche per mezzo delle radio-onde.

La prima dimostrazione razionale dell'effetto Radar la si deve a Marconi che in USA, nel 1922, al congresso IRE (Institute of Radio Engineers) dice: "...ritengo sia possibile progettare apparati per mezzo dei quali una nave possa irradiare un fascio di

<sup>1</sup> Federico Brando è nato a Milano nel 1924. Durante l'ultima guerra ha lavorato sui Radiolocalizzatori (Radar) installati sulle navi italiane, in particolare a bordo del cacciatorpediniere Fuciliere. Nel 1947 entra, come sedicesimo componente dell'azienda, in Telettra, da cui uscirà dopo 29 anni, quando l'organico sarà di 10000 unità. Dal 1975 al 2000 opera, in Italia e all'estero, nel campo della Elettronica e della Fotonica. Dal 2000 è impegnato in un'ampia e intensa attività di divulgazione scientifica. Maestro del Lavoro d'Italia, Ambrogino d'Oro 2003.

tali onde in una direzione, le quali onde, ove incontrino un oggetto metallico, quale un'altra nave, siano riflesse su un ricevitore..... e quindi immediatamente diano la presenza ed il rilevamento dell'altra nave nella nebbia o nel cattivo tempo”.

Nel 1933 Marconi dimostra sperimentalmente ai militari italiani la rivelazione a distanza di masse metalliche ferme e in movimento.

### Il padre del radar italiano

Chi seguiva attentamente le dimostrazioni di G. Marconi era il giovane ingegnere Ugo Tiberio che, pochi anni dopo, nel 1935, ricava per la prima volta le equazioni fondamentali e i parametri che governano il sistema di radiolocalizzazione che viene chiamato Radiotelemetro (oggi Radar, Radio Detector And Ranging).

In una ormai celebre relazione del 1935-36 e in un articolo fondamentale pubblicato sulla rivista *Alta Frequenza* nel 1939, Ugo Tiberio individua i punti critici del sistema che sono: la potenza trasmessa, l'uso di frequenze alte, la direttività delle antenne e la sensibilità del ricevitore che deve rivelare l'eco.

L'Esercito non dimostra interesse per questi sistemi; la Marina costituisce comitati (che si organizzano quando non si vuole fare qualcosa), ma Tiberio, lavorando contro corrente e senza finanziamenti nel RIEC (Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni), e in stretta collaborazione con il fisico Nello Carrara, riesce a realizzare una serie di prototipi del Radiotelemetro impulsivo EC-3, che viene chiamato *Gufò* nel 1939.

Ugo Tiberio e Nello Carrara diventano una coppia inseparabile: il primo teorico sistemista; il secondo, il tecnologo, progettava e produceva componenti, generatori e rivelatori di microonde. Si deve a Nello Carrara il termine “microonde” tuttora in uso. Il loro incontro al RIEC nel 1936 è stato determinante nello sviluppo dei Radiotelemetri; l'attività di ricerca nel settore delle microonde e dei componenti svolta da Carrara ha portato alla realizzazione in Fivres delle valvole speciali e del trasmettitore di potenza avente forma sferica di circa 20 cm, detto “pentola”, uno dei punti chiave del sistema.



Figura 1a. Il triodo FIVRE 1628



Figura 1b. Il risonatore a cavità rientrante (pentola)

Il Radiotelemetro *Gufò*, progettato per installazione su navi, consisteva in un trasmettitore di impulsi a microonde e di un sensibile ricevitore; il trasmettitore ed il ricevitore erano sistemati direttamente dietro le antenne che erano del tipo a tronco di piramide in rete metallica, dette “a tromba” per garantire una buona direttività e, nello stesso tempo, di modeste dimensioni per opporre poca resistenza al vento.

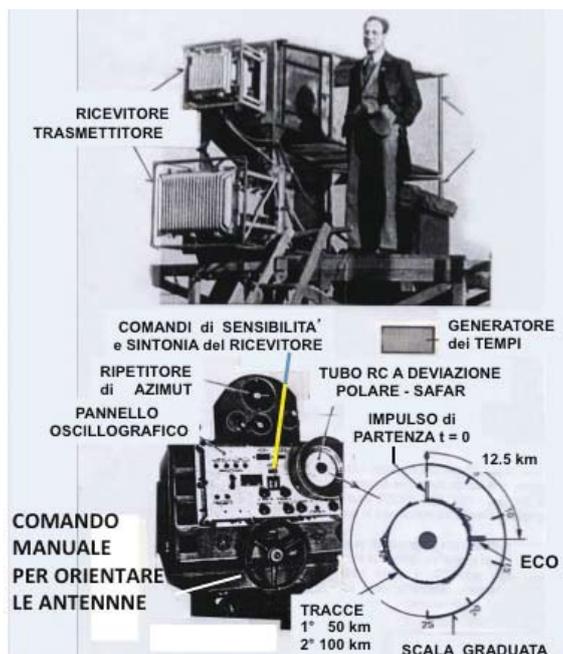


Figura 2. Radiotelemetro - EC 3 Ter "Gufo" 1942 – 1945. Immagine fornita da F. Brando e riprodotta nel volume "Cent'Anni di Radar" di G. Galati.

Il tutto era sistemato nel punto più alto della nave su di una torretta girevole per orientare le antenne verso il bersaglio.

Il comando manuale di orientamento delle antenne, l'invio degli impulsi e la rivelazione dell'eco prodotto dal bersaglio erano effettuati da una consolle manovrata dall'operatore e situata sotto coperta. La lettura della direzione e della distanza del bersaglio erano semplici ed immediate.

Tiberio e Carrara, acuti teorici e abili sperimentatori, con l'esempio e la disponibilità avevano creato un gruppo di tecnici ben preparati e motivati ed in questo clima germogliavano spesso nuove idee e proposte.

Faceva parte del gruppo Pietro Lombardini, un collaudatore del RIEC, che nel 1943, scriveva un articolo dal titolo: "Possibilità di radiosondaggi astronomici con le onde metriche". Nel 1946 gli americani effettuarono la misura della distanza Terra-Luna confermando i dati previsti dall'italiano.

Ci vorrà la batosta della battaglia navale di Capo Matapan, del 28-29 marzo 1941, per fare cambiare idea ai militari che avevano preferito fare investimenti per un nuovo incrociatore anziché finanziare il gruppo del Radiotelemetro.

### Stato dell'industria italiana negli anni 1930-40

A quell'epoca in Italia esistevano poche industrie che operavano nei campi della elettronica e delle radiocomunicazioni: la Allocchio-Bacchini, la Magneti Marelli, la SAFAR, la IMCA Radio, le Officine Marconi, la FIVRE per le valvole e la Galileo in Toscana specializzata in strumenti ottici e forniture alla Regia Marina; ad alcune queste ditte (Marelli, SAFAR e Galileo) vennero assegnate le commesse per la produzione del

Radiotelemetro *Gufò* su base industriale avendo come riferimento il sistema già realizzato al RIEC in forma di prototipo.

La Galileo avrebbe realizzato la torretta rotante per orientare le antenne in senso azimutale.

La SAFAR nel 1939 aveva partecipato alla importante Mostra di Leonardo e delle Invenzioni Italiane presentando i primi televisori domestici collegati via radio al trasmettitore circolare situato sulla Torre del Parco a Milano. La stessa ditta produceva ricetrasmittitori fissi e mobili per le Forze Armate ed aveva attivi tre laboratori di ricerca e sviluppo per Televisione, Idrofoni (poi chiamati Sonar) e Telefonia multicanale; il personale tecnico ben preparato.

La ditta aveva dunque le carte in regola.

### **Si muove l'industria**

Con l'assegnazione delle commesse per produrre e perfezionare il *Gufò* la società SAFAR decise di dislocare in posizioni strategiche il gruppo Televisione diretto dall'ing. Arturo Castellani dividendolo in due gruppi. A Novara, all'interno della ditta Scotti e Brioschi vicina allo scalo ferroviario, si progettavano parte degli apparati e si collaudavano i sistemi finiti. A Dobbiaco si producevano i tubi a raggi catodici a coordinate polari che erano i visualizzatori dei radar sui quali si leggeva la distanza del bersaglio.

Questa situazione obbligava a frequenti viaggi per rifornire di gas quel lontano reparto e portare a Novara i tubi a raggi catodici.

Complessivamente l'organico consisteva in una trentina di persone.

La situazione era già considerata anomala perché in Italia, allora, si era abituati a considerare la ricerca organizzata in piccoli gruppi. Per il Radar, fra SAFAR, Marelli e Galileo si arrivava al centinaio di operatori; in USA e in Inghilterra operavano in diecimila sullo stesso problema e con consistenti finanziamenti.

In quegli anni mancavano strumenti per la misura della potenza trasmessa e della frequenza di lavoro. Per i radiotelemetri si doveva operare con potenze di pochi kW a radiofrequenza nella banda delle microonde fra 200 e 700 MHz; i costosi strumenti prodotti in USA operavano, al massimo a 30 MHz. Per superare le difficoltà ci si doveva arrangiare con i pochi mezzi disponibili, con l'inventiva e costruendo strumenti appositamente progettati.

Realizzati gli apparati, si procedeva al controllo della efficienza impiegando un terminale Radiolocalizzatore installato sul tetto dello stabilimento e, da Novara, si rivelavano aerei in volo su Bergamo; la sensibilità del ricevitore era misurata dalla possibilità di rivelare la sommità del Monte Cimone situata alla quota 2100 m s.l.m. e distante da Novara più di 200 km.

La resistenza alle sollecitazioni meccaniche si eseguiva trasportando su terreni accidentati dell'aeroporto di Cameri gli apparati senza le ingombranti antenne.

L'apparato prodotto dal novembre 1942 per l'installazione a bordo di navi aveva la sigla EC 3 Ter e le prestazioni erano:

- Lunghezza d'onda di trasmissione 60 cm, frequenza 500 MHz
- Potenza di picco (per 5 microsecondi) 10 kW
- Portata antinave 11 – 22 km
- Portata antiaerea 80 km

Alla fine del 1941 il RIEC aveva già installato a bordo della nave da battaglia Littorio il prototipo del *Gufu* EC 3 Bis.

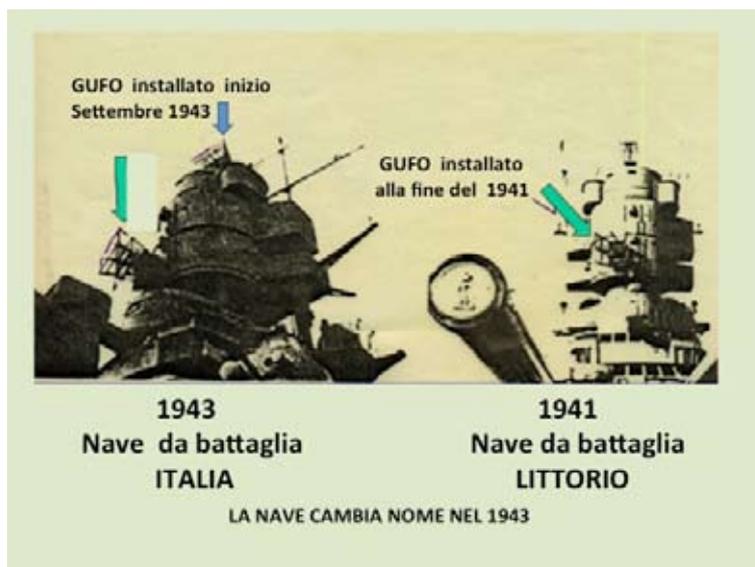


Figura 3. La nave da battaglia Littorio-Italia equipaggiata con il radiotelesmetro Gufu. Nel 1941 è il prototipo

Questa nave partecipò alla seconda battaglia del golfo della Sirte, 22 marzo 1942; successivamente fu dotata, nel luglio 1943, di un secondo sistema *Gufu*, sistemato più in alto. Dopo l'armistizio del settembre 1943 la nave venne chiamata Italia.

Mentre venivano installati i *Gufi* a bordo delle navi si procedeva anche al progetto di altri sistemi come il *Folaga* (1942) per le reti terrestri di avvistamento con portata antiaerea di 220 km.

Era cominciata (un po' tardi) la riscossa ma esistevano ancora resistenze.

Altre nuove soluzioni erano in elaborazione. Nel 1942, l'Aeronautica rifiutò l'offerta di partecipare alla realizzazione di radiotelesmetri aviotrasportati.

### Le installazioni dei radar a bordo delle navi

All'otto settembre del 1943 il gruppo SAFAR aveva installato a bordo delle navi 13 *Gufi* dei 50 ordinati e la Magneti Marelli 4 *Folaga* dei 150 ordinati per le reti di sorveglianza costiera.

Ugo Tiberio e Nello Carrara continuarono la loro preziosissima attività di progettisti e di insegnanti all'Accademia navale di Brindisi.

I *Gufi* venivano spediti a pezzi e rimessi assieme nel luogo di destinazione.

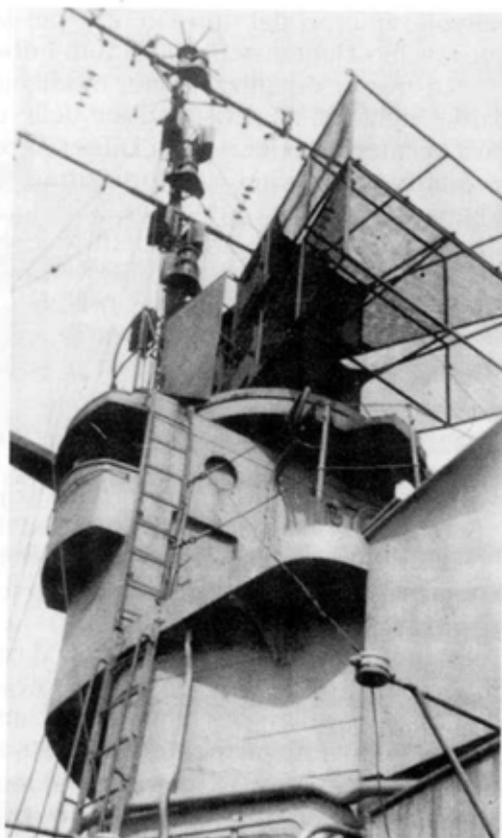
I problemi di installazione erano molti e complessi; ogni nave richiedeva una particolare attenzione perché variavano i sistemi bloccaggio delle parti e dei cablaggi che le collegavano.

Gli apparati dovevano funzionare in condizioni ostili: clima salino, vibrazioni e notevoli sbalzi termici. Ogni parte doveva essere sempre accessibile e non si potevano portare a bordo molti strumenti; uno dei punti critici era la connessione delle antenne montate sulla torretta girevole ed il resto del sistema.

Già in darsena, sui cacciatorpediniere, a circa 15 metri di altezza le oscillazioni della nave complicavano le operazioni; molto più rischiosa la situazione in navigazione.

Una delle installazioni realizzate anche da chi scrive venne effettuata nei primi mesi del 1943 a bordo del cacciatorpediniere *Fuciliere*, reduce, un po' malconco, dalla seconda battaglia del golfo della Sirte.

Stavano potenziando l'armamento prodiero e la torretta della Galileo era stata sistemata nel punto più alto al posto del faro.



*Figura 4. Il Cacciatorpediniere Fuciliere della Serie Soldati, equipaggiato col Gufo nel 1943.  
E' ben visibile la torretta rotante Galileo*

Quando la squadra dei montatori e collaudatori salì a bordo fu accolta con un saluto: "Ormai il brutto è passato, ora verrà il peggio". Frase profetica.

Qualcuno, non di basso livello, allora chiamava “trappola” il *Gufò* e diceva che si spara quando si vede il bersaglio.

Per usare i nuovi mezzi si richiedeva un radicale cambiamento di mentalità.

Erano dichiarazioni poco incoraggianti, ma si doveva lavorare bene, velocemente e sempre con scarse risorse umane e materiali. Capitava spesso che qualche cassa sbagliasse strada e ci si trovava senza parti di ricambio.

Le installazioni dei *Gufi* continuarono fino al settembre 1943.

Il cacciatorpediniere *Fuciliere* fu consegnato ai russi nel programma dei risarcimenti dei danni di guerra e fu smantellato alla fine degli anni '50.

### **Conclusioni**

La realizzazione dei Radar terrestri e navali è stata una grande avventura che non ha potuto pienamente mostrare tutte le potenzialità dei sistemi progettati da tecnici italiani di grandissimo valore, che hanno dovuto operare in clima spesso ostile creato da personaggi ottusi che avrebbero dovuto fornire gli aiuti.

Con pochi mezzi e molta buona volontà sono stati ottenuti risultati notevoli per quei tempi, confermati da positivi apprezzamenti fatti anche dai nostri nemici.

I Radar installati sui mezzi navali ed aerei alleati hanno surclassato i nostri a causa della lungimiranza dei responsabili e dalla modifica del Magnetron, tubo elettronico inglese, compatto, che produceva potenza a microonde molto più alta di quella prodotta dai nostri triodi Fivre .

All'estero le cose andarono ben diversamente; classificando i vari Paesi per importanza dei contributi, si hanno: Regno Unito, USA e Germania. Francia, Russia e Giappone poco o niente.

In Italia, intanto che si producevano i *Gufi* ordinati, si era imparato a fare di meglio realizzando nuovi sistemi quali il *Gufò* autotrasportato con una sola antenna e i *Lince* Vicino e Lontano.



# IL RIEC - REGIO ISTITUTO PER L'ELETTROTECNICA E LE COMUNICAZIONI<sup>1</sup>

CAMM (AN) LUCIO MATTIUSI

*già Direttore Istituto "Giancarlo Vallauri" - Mariteleradar*



*Figura 1. Il RIEC nel 1921*

## 1. Premessa

Il RIEC, acronimo di Regio Istituto per l'Elettrotecnica e le Telecomunicazioni, è stato il primo Istituto di ricerca italiano nel campo della elettronica e delle telecomunicazioni essendo stato fondato nel 1916.

Con il primo gruppo di studi dedicato allo sviluppo dei triodi e della tecnologia ad essi associata, esso pose le basi della elettronica dei tubi a vuoto e mantenne per lungo tempo una posizione preminente in tale settore anche in ambito internazionale.

L'equazione del Vallauri, l'effetto Boella, il banco di demoltiplicazione statica per la misura di frequenza, gli studi sulle microonde (termine tecnico utilizzato anche in lingua inglese *-microwaves-* per la prima volta in ambito mondiale nel 1932 dal Prof. Carrara), l'equazione del radar (e le conseguenti realizzazioni), il concetto di Superficie Equivalente Radar e quello su cui si fonda il riconoscimento "radar amico nemico" costituiscono le principali pietre miliari nazionali ed internazionali del preziosissimo contributo fornito dall'Istituto nel campo della elettronica.

## 2. Origini

Le origini dell'Istituto "Giancarlo Vallauri" risalgono alle prime esperienze di radiotelegrafia condotte nel luglio 1897 da Marconi e dalla Regia Marina a La Spezia nel

<sup>1</sup> Estratto dall'articolo "ISTITUTO "Giancarlo VALLAURI" della Marina Militare (a cura di G.Celeste e L.Mattiussi) pubblicato sull'Allegato al Notiziario della Marina n.10 -Ottobre 1998.

Compensorio di San Bartolomeo, seguite da quelle molto più importanti svolte sulla Regia Nave Carlo Alberto, in navigazione in Atlantico e nel Nord Europa nel periodo luglio-agosto 1902.

A seguito dei brillanti risultati conseguiti e dei possibili utilizzi operativi, la Regia Marina agli inizi del 1900 finanziò la realizzazione di 2 stazioni radiotelegrafiche nelle isole di Gorgona (Livorno) e di Palmaria (La Spezia) oltre a quella ubicata nello stesso compensorio dell'Accademia, nella zona adiacente il porticciolo di San Jacopo. Qui furono sperimentati vari apparati trasmettenti e riceventi tra i quali uno perfezionato dal marinaio semaforista della stazione dell'Accademia, Paolo Castelli, basato sull'impiego di un particolare "coherer" divenuto noto con il nome di "tubetto Castelli", o "Coherer Regia Marina" per la ricezione in cuffia.

Grazie a questo coherer a goccia di mercurio, Marconi poté ascoltare in cuffia i primi segnali trasmessi nel dicembre 1901 da Poldhu in Cornovaglia che attraverso l'Atlantico, furono ricevuti dalla Stazione radiotelegrafica di San Giovanni di Terranova.

Nel 1916 nel pieno di un conflitto di proporzioni mondiali l'esigenza di perfezionare al massimo le armi ed le comunicazioni assumeva la massima importanza strategica.

La Regia Marina, dimostrando lungimiranza e capacità di effettuare scelte tempestive, creò un Istituto con compiti di studio e sperimentazione nel campo dell'Elettrotecnica e della Radiotelegrafia.

La decisione di concentrare a Livorno il personale ed i mezzi allora disponibili costituì un sostanziale riconoscimento dei meriti scientifici che la Marina si era guadagnata specie col valido aiuto prestato a Guglielmo Marconi durante molti anni di impegnative esperienze.

Venne così, con Decreto Luogotenenziale n. 810 in data 11 giugno 1916, costituito presso la Regia Accademia Navale un "Laboratorio Superiore di Radiotelegrafia" ad esclusivo servizio della Marina Militare ed in pari tempo bandito un concorso per la nomina di un Professore da assegnare quale Direttore di detto Laboratorio.

Tale concorso fu vinto dall'allora Professore Universitario Giancarlo Vallauri (che aveva frequentato con onore l'Accademia Navale e si era dimesso con il grado di Guardiamarina nel gennaio 1906).

In base al Regolamento approvato con D.M. 7 novembre 1916, l'Istituto aveva i seguenti compiti:

- Studio dei problemi scientifici e tecnici inerenti alle applicazioni della Radiotelegrafia e Radiotelegrafia e le speciali applicazioni della elettrotecnica interessanti la R. Marina.
- Preparazione culturale nelle materie di Elettrotecnica e Radiotelegrafia degli ufficiali frequentatori del Corso Superiore e dei Corsi di Specializzazione.



*Figura 2. Il Fondatore Amm Giancarlo Vallauri*

Nell'Istituto confluirono gli uomini e le strumentazioni della Stazione R.T. dell'Accademia Navale. Sotto la guida di Giancarlo Vallauri, esso si inserì ben presto fra la ristretta "élite" internazionale dei centri che, in quei lontani anni, stavano sorgendo con lo scopo di promuovere ricerche nel campo, allora pionieristico, della radiotelegrafia.

I risultati conseguiti in tale ambito ebbero risonanza internazionale e costituirono le basi fondamentali per lo sviluppo delle radiocomunicazioni sia militari che civili sul territorio nazionale.

### **3. Le ricerche sui tubi a vuoto**

Lo scarso rendimento dei sistemi ricetrasmittenti dell'epoca che basavano il loro funzionamento sull'utilizzo delle tecnologie a scintilla e ad arco, aveva comportato il problema di dover amplificare i segnali ricevuti prima di poterli rivelare, con l'utilizzo di triodi.

Infatti alle buone caratteristiche raddrizzanti dei rivelatori a cristallo (già disponibili a quei tempi ma scarsamente utilizzabili poiché facilmente danneggiabili dalle scariche elettriche ed atmosferiche) si erano dovuti preferire quelli a vuoto decisamente più affidabili ma con la limitazione di fornire prestazioni accettabili solo in presenza di segnali preamplificati.

Le esigenze della guerra in corso contro l'Austria e l'Ungheria comportarono la necessità da parte del R.I.E.C. di provvedere sia alla produzione dei triodi (allora denominati "audion") e sia allo studio del loro impiego come amplificatori ed oscillatori.

Il primo passo compiuto dal Vallauri fu pertanto la realizzazione di un laboratorio

per tubi a vuoto che fece fronte alle esigenze immediate delle forze armate; si ricorda in proposito che la produzione arrivò a 400 esemplari al mese e per tale eccellente risultato (conseguito con le esigue risorse sopramenzionate) il piccolo laboratorio fu oggetto di pubblico elogio.

Nel progettare i vari tipi di audion e di ricevitori, il prof. Vallauri si rese conto della necessità di sostituire ai criteri empirici seguiti all'inizio, una teoria organica che potesse consentire un progetto razionale degli amplificatori ( allora chiamati magnificatori) e degli oscillatori.

Egli arrivò così a scrivere, sulla base delle caratteristiche rilevate sperimentalmente, la famosa "Equazione del Vallauri" che in un triodo lega corrente anodica a tensione anodica e tensione di griglia nella forma:

$$i_a = a \cdot v_g + b \cdot v_a + c$$

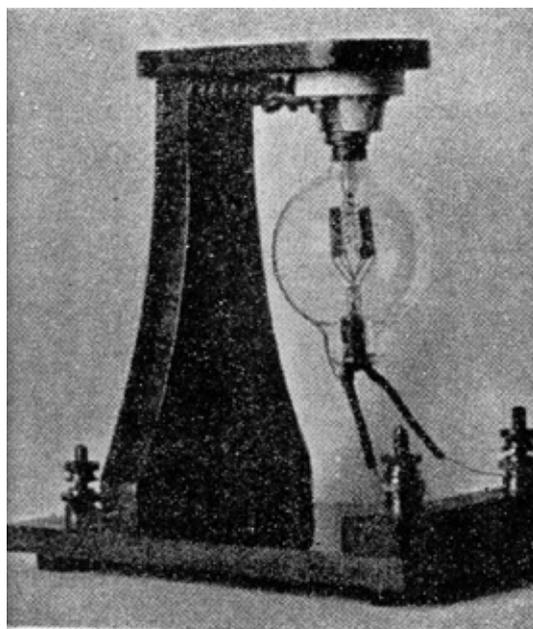


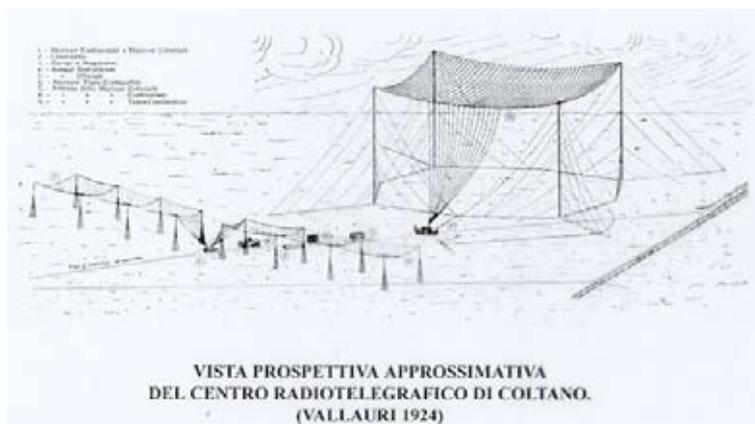
Figura 3. Triodo (Audion) costruito nell'Istituto nel 1916

#### 4. Le comunicazioni a grande distanza

Al termine della prima Guerra Mondiale la fabbricazione dei tubi a vuoto e la produzione in serie degli apparati passò all'industria privata; ciò consentì all'Istituto RIEC di esercitare la supervisione di tali attività e di avviare ricerche specialistiche nei due settori allora strategici per la Regia Marina delle comunicazioni a grande distanza e della misura delle frequenze.

Infatti il prof. Vallauri nel periodo compreso tra il 1919 ed il 1923 progettò e curò la costruzione della Stazione Radiotelegrafica Transcontinentale di Coltano che, vista con gli occhi di allora, appare impressionante. Per comunicare attraverso gli spazi intercontinentali venivano usate onde estremamente lunghe di 16.000 metri; l'antenna tra-

smittente era costituita da una rete di forma quadrata con un lato di 420 metri, tenuta a grande altezza da tralicci alti 250 metri, sostenuti da stralli, terminanti in piramide, col vertice in basso. È degno di ricordo che il montaggio di questi giganteschi piloni fu compiuto da semplici marinai.



*Figura 4. Stazione Radiotelegrafica del Coltano*

## 5. Le misure di frequenza

In questo settore l'Istituto della Regia Marina mantenne una posizione di primato sul territorio nazionale.

I primi metodi di misura erano basati sull'utilizzo delle onde stazionarie che insistevano su di una linea bifilare lunga oltre mezzo chilometro; tuttavia le procedure operative risultavano non solo molto complesse ma richiedevano anche l'impiego di molte persone e di una complicata strumentazione.

Le difficoltà operative e la scarsa stabilità dei risultati propri di tale sistema di misura, portarono alla necessità di trovare nuove soluzioni messe a punto dai Professori Vecchiacchi e Boella collaboratori del prof. Vallauri.

Vennero così ideati e realizzati i metodi di misura per confronto tra segnali aventi valori di frequenza in rapporto tra loro armonico nonché progettati i primi banchi operanti la divisione statica di frequenza che ne consentivano la relativa misura sino a valori di 100MHz.

E' da menzionare che grazie a tali realizzazioni fu in seguito possibile arrivare alla costruzione dei moderni orologi piezoelettrici ed atomici nonché ai campioni primari di tempo e frequenza ai quali sono stati dedicati numerosi lavori e manoscritti dell'Istituto.

Grazie a tali esperienze il prof. Vallauri in seguito costituirà a Torino l'Istituto "Galileo Ferraris" a cui venne demandata la gestione e diffusione sul territorio nazionale dei riferimenti primari di tempo e frequenza, compito che a tutt'oggi continua ad assicurare.

## 6. Altre ricerche

Nel 1928 i compiti dell'Istituto vennero ampliati estendendoli all'Acustica, alla

Idrofonia, agli Ultrasuoni ed alle Radiazioni Oscure (ovvero alle emissioni operanti nel campo dell'Infrarosso).

In quel periodo vennero eseguite misure di fase con l'impiego del tubo di Braun (il corrispondente dell'attuale Tubo a Raggi Catodici); esse costituivano le premesse per la nascita delle moderne misure elettroniche e della televisione in quanto vennero realizzati per la prima volta il generatore per l'asse dei tempi, il multivibratore e, infine, scoperto e pubblicato l'Effetto Boella" ovvero il fenomeno in base al quale diminuisce la resistenza dei resistori a strato al crescere della frequenza.

Nel dicembre del 1931, nel corso delle celebrazioni per il «Cinquantesimo dell'Accademia Navale», furono effettuate alcune tra le prime esperienze sulle radiocomunicazioni telefoniche collegando dapprima Livorno con l'adiacente collina di Montenero e poi Livorno con l'isola della Palmaria, mediante frequenze di circa 200 MHz e con potenze di qualche milliwatt.

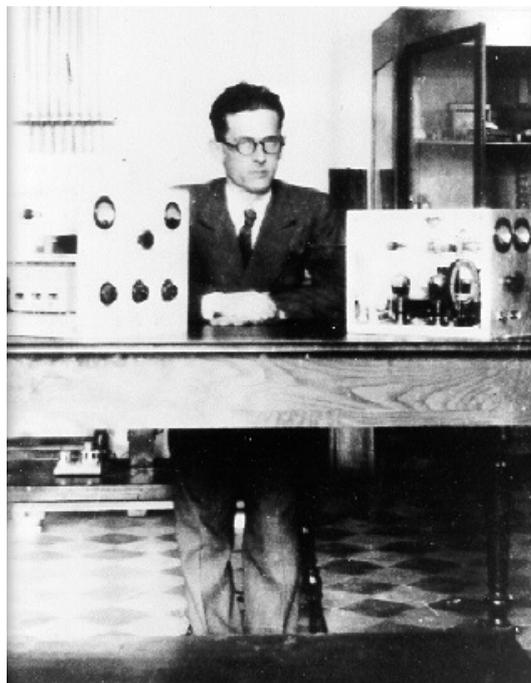
Tutte le apparecchiature necessarie furono progettate e costruite dal personale dell'Istituto sotto la guida del Prof. Nello Carrara, autore delle esperienze e della relativa teoria scientifica.

Da menzionare infine che lo stesso prof. Carrara perfezionerà a tal punto i sistemi trasmettenti/riceventi da arrivare ad una versione ultracompatta con portata dell'ordine di 100 Km pronta per la produzione industriale (1938).

## 7. Le microonde

Nel marzo del 1932, fondata dal Prof. Vallauri, nasce la rivista *Alta Frequenza*, patrocinata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, dall'Associazione Elettronica Italiana e dalla Società Italiana di Fisica.

Nel primo articolo a titolo: "La rivelazione delle microonde", a firma del Prof. Carrara, ricercatore dell'Istituto- compare per la prima volta, nella letteratura scientifica nazionale il termine «Microonde» (assegnato alle oscillazioni della banda centimetrica); nello stesso anno 1932 - nell' articolo " The Detection of Microwaves" pubblicato sulla rivista "Proceedings of the Institute of Radio Engineers" compare per la prima volta anche la versione in lingua inglese "microwaves" termine che ben presto si diffonderà in campo internazionale e che gli consentirà di ricevere il riconoscimento della "paternità".



*Figura 5. Ricetrasmittitore a micceonde realizzato dal Prof. Carrara (in primo piano) nel 1935*

Lo stesso professore condusse in quel periodo studi sul funzionamento del triodo a griglia positiva e sul magnetron monoanodico come generatore di microonde fornendo in tal modo le premesse teoriche alla scoperta di tutta l'attuale componentistica a microonde (klystron, magnetron a cavità multiple, TWT etc.).

Gli studi successivi, i miglioramenti apportati, i brillanti risultati raggiunti, sono chiaramente messi in evidenza dalle numerose pubblicazioni scientifiche che, a ritmo serrato, si sono susseguite su tutte le riviste specializzate dell'epoca. Non vi è «numero» in cui non compaia l'Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni.

## **8. Il radar**

Nel 1936, ai nomi di Vecchiacchi, Carrara, Boella, Ruelle, Matteini, e di numerosi altri ricercatori di grande valore, si andò ad aggiungere quello del Prof. Ugo Tiberio che, per accordi tra le FF.AA. fu trasferito, dall'Esercito alla Marina in qualità di Ufficiale delle Armi Navali di complemento.

Il giovane Tiberio si pose subito in evidenza con brillanti iniziative nel campo della ricerca e della progettazione che, nel corso del 1939, culminarono con la realizzazione in veste prototipica del primo "Radiotelemetro" (oggi Radar).

A Livorno trovò un ambiente maturo per sviluppare le sue idee innovatrici, un ambiente che si dimostrò da subito pronto ad iniziare la verifica, sul piano sperimentale, delle teorie che egli aveva cominciato a definire a partire dal 1933 quando, come Sottotenente di Complemento nell'Arma del Genio destinato presso l'Istituto Superiore delle Trasmissioni di Roma, ebbe modo di assistere agli esperimenti cominciati da Guglielmo Marconi sulla possibilità di sfruttare le onde radio per la localizza-

zione dei bersagli. La sua tesi, assolutamente innovativa, si basava sul calcolo diretto dell'intensità dell'eco radar utilizzando la cosiddetta equazione del radar o della quarta potenza; questa idea scientifica formulata matematicamente aveva forma tanto diversa da quella con cui nello stesso periodo Sir Watson Watt annunciava all' Ammiragliato Britannico l' invenzione del radar.

L'invenzione del Tiberio era il frutto di pura teoria, quella di Watson Watt l'utilizzazione nuova di un apparato già funzionante per misure sulla ionosfera.

Così nel 1936 venne realizzato il primo Radio Detector Telemetro ad onda continua modulata in frequenza operante a 200 MHz designato con la sigla E.C.1 ( acronimo di Elettrotecnica Comunicazioni 1 ad indicare l'Istituto di appartenenza ) che fu lungamente utilizzato per la dimostrazione pratica della teoria della equazione del radar. Per l'occasione fu allestita una esperienza con l'impiego di un'imbarcazione che fungeva da bersaglio nei confronti dell'apparato che era stato installato sulla terrazza dell'istituto RIEC.

I primi risultati, sebbene in assoluto non soddisfacenti, servirono come supporto alla verifica sperimentale; si ricorda che la distanza massima alla quale fu possibile avere echi radar utili era dell'ordine di 2000 metri. Questo apparato fu anche utilizzato in esperimenti di identificazione notturna di unità amiche (in sostanza come IFF per Unità Navali), impiegandolo a frequenza fissa su un'eco prodotta da un dipolo modulato meccanicamente che veniva montato sull'Unità oggetto di riconoscimento.

La versione successiva denominata E.C.1-bis (anno 1937 che differiva dalla precedente per l'utilizzo di un particolare ricevitore a supereterodina) non diede risultati soddisfacenti per complicazioni insorte nella messa a punto del dispositivo di eterodina e fu pertanto subito abbandonata. Con il prototipo che seguì denominato E.C.2. (1937) si volle verificare la possibilità di migliorare le prestazioni con l'impiego di pacchetti di impulsi; purtroppo i risultati che diede furono insoddisfacenti per una concomitanza di inconvenienti di ordine pratico (si producevano delle forti scariche all'interno dei tubi trasmettenti che impedivano il regolare funzionamento del sistema).

Solo con l'introduzione dell'apparato designato E.C.3 (sviluppato a partire dalla fine del 1939) si cominciò a delineare la possibilità di conseguire risultati significativi per pensare ad impieghi realmente operativi.

Le principali caratteristiche di tale apparato si possono così sintetizzare: frequenza di lavoro circa 380 MHz (onda di 70 cm) frequenza di ripetizione di 7500 Hz- portata su bersagli aerei sull'ordine degli 80 Km mentre per l'impiego navale si potevano raggiungere i 15 Km circa.

Purtroppo la cronica mancanza di fondi e probabilmente la non completa comprensione del valore operativo della nuova realizzazione, fece sì che il lavoro di ricerca subisse a partire da tale data un rallentamento consistente.

Il passo che si doveva compiere richiedeva ben altri mezzi di quelli allora a disposizione (si ricorda che le attività sperimentali dell'Istituto erano finanziate con una assegnazione annua di lire 20.000); al progetto radar lavoravano due sezioni facenti

capo rispettivamente al prof. Tiberio ed al Prof. Carrara che tra l'altro dovevano anche assicurare l'insegnamento presso l'Accademia Navale. Ciascuna sezione comprendeva un massimo di due sottufficiali ed alcuni operai che lavoravano a stretto contatto con i due professori i quali, oltre allo sviluppo della teoria e dei calcoli, non disdegnavano di partecipare direttamente anche alla realizzazione manuale e pratica delle apparecchiature.

Questo minuscolo gruppo di persone cercava di supplire con l'entusiasmo e con la febbrile attività alla scarsità di mezzi. Ed in gran parte vi riuscirono.

Vi erano dei limiti soprattutto tecnologici - in particolare sulla componentistica di potenza - che dovevano essere superati anche con l'aiuto dell'industria nazionale.

Ma la Industria nazionale di allora non era tecnologicamente pronta ad assolvere il compito richiesto per lo sviluppo delle nuove apparecchiature.

Purtroppo tali realizzazioni prototipiche vennero ritenute degne di interesse solo a partire dal 1941 a seguito dei luttuosi eventi conseguenti alla battaglia navale di Capo Matapan.

Le cause di tale insuccesso furono attribuite in toto alla disponibilità dei "Radiolocalizzatori" da parte della Marina Britannica (anche se oggi sappiamo che ciò non corrisponde completamente al vero), fatto sta che da allora iniziò in Italia la rivalutazione dell'importanza di poter disporre nel più breve tempo possibile di apparati radar realmente operativi da utilizzare per tutte le esigenze delle tre forze armate.

Ed il vero protagonista e autore della febbrile ripresa delle attività di messa a punto di tali sistemi fu ancora una volta l'Istituto RIEC con i suoi professori Tiberio e Carrara.

Il lavoro di sviluppo e di ricerca riprese con l'entusiasmo di sempre ed in tempi rapidissimi furono ricondizionati e potenziati i due prototipi del sistema E.C.3 rimasti per un certo tempo dimenticati nei laboratori. Venne così realizzato un radar per la sorveglianza costiera denominato "Folaga" (operante nella banda tra 150 e 300 MHz e di cui venne in seguito assegnata all'industria nazionale la costruzione di 150 esemplari sotto il controllo del RIEC) ed uno di impiego navale denominato "Gufo" operante nella banda tra 400 e 750 MHz per il quale venne ordinata la costruzione in 50 esemplari ad un gruppo di industrie controllate anch'esse dall'Istituto RIEC.

Per quest'ultimo apparato era stato possibile assicurare prestazioni molto interessanti grazie all'introduzione di nuovi tubi a vuoto progettati dal prof. Carrara aventi potenza di picco di 10 KWatt con cui è stato possibile l'inseguimento di bersagli aerei sino ad una distanza di 120 Km e di bersagli navali sino a 30 Km (a seconda della quota di installazione delle antenne).

Fu poi costituito anche il "Comitato RaRi" - acronimo di Radio-detector-telemetri - composto da qualificati rappresentanti degli Stati Maggiore delle tre FF.AA. che si occupò di coordinare l'intero panorama di attività, ivi compresa quella della Guerra Elettronica, che fu affidata ad un particolare



*Figura 6. Radar EC1 in prova sulla terrazza dell'Istituto nel 1935*

gruppo di esperti denominato “Sottocomitato Radiofari E RaRi Nemici” del quale facevano parte anche i professori Tiberio e Carrara.

A disposizione del Comitato furono poste somme ingenti con le quali fu possibile assegnare alle industrie grosse ordinazioni, che, peraltro, non ebbero completamente seguito a causa della crisi industriale conseguente agli eventi bellici.

I progressi conseguiti in termini di prestazioni dagli apparati sviluppati per ultimi, furono davvero eccellenti; si ricorda in proposito che con la versione più aggiornata del Folaga durante prove sperimentali condotte sulla terrazza del RIEC nel maggio del 1943, fu avvistata ad oltre 200 Km una formazione di un centinaio di aerei USA che stavano sopraggiungendo dalla Sardegna per bombardare la città di Livorno.

### **9. La guerra elettronica e le comunicazioni**

Con la costituzione del comitato RA.RI fu affidata all'industria, sempre sotto il controllo del R.I.E.C. e di altri Istituti di ricerca militari, il compito di perfezionare, adattandoli meglio alla riproduzione in serie, i radar “Gufo” e “Folaga” realizzati a Livorno. Ai ricercatori del R.I.E.C. era rimasta la responsabilità di studiare, in collaborazione con altri Istituti militari, le modalità per impedire l'intercettazione dei segnali radar da parte del nemico, per limitare gli effetti dei disturbi dovuti a falsi echi generati con l'utilizzo di piccoli trasmettitori radar, insieme ad altri problemi connessi con quella che ha assunto il nome di «guerra elettronica», con speciale riguardo al settore navale, ovviamente più delicato.

La prima esperienza è consistita nel mettere a punto un disturbatore antiradar di tipo semplificato che trasmetteva ad onda continua un segnale avente la stessa frequenza del radar da contrastare. La contromisura radar era altrettanto semplice in quanto era sufficiente inserire sulle griglie degli amplificatori a media frequenza dei ricevitori adatti gruppi di polarizzazione automatica.

In seguito gli anglo-americani utilizzarono disturbatori ad impulsi asincroni e sin-

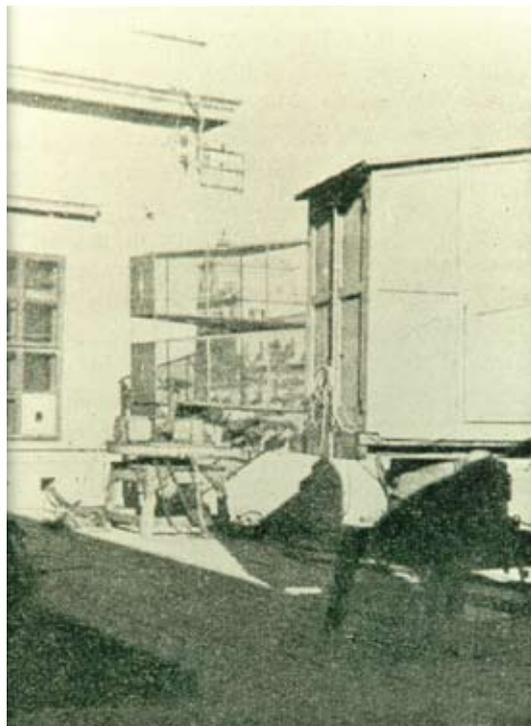
cronizzati che furono facilmente resi inefficaci con un opportuno addestramento degli operatori ai radar .

La situazione si fece più difficile allorché comparvero i disturbatori « caotici » che causavano un consistente aumento di rumore sul ricevitore radar; le contromisure radar messe a punto nell'Istituto avevano impegnato molto il team del prof. Tiberio ma comunque riuscirono ancora una volta a dare risposte efficaci anche a tali problematiche. Tali tecniche consistevano sia nell'accorciare le lunghezze d'onda utilizzate degli apparati radar navali e sia nel renderli idonei ad operare su più frequenze tra loro combinate.

Nel medesimo tempo furono avviate ricerche per utilizzare nuove tecniche di emissione dei segnali radar basate sulla compressione di impulso di tipo continuo e con sull'impiego di reti dispersive che consentivano di utilizzare soluzioni veramente d'avanguardia per il miglioramento delle caratteristiche di Contro Misura Elettronica dei radar stessi.

Gli studi sui sistemi anti-disturbo, e sui complessi intercettatori-disturbatori, portarono l'Istituto di Livorno a progettare apparecchiature estremamente elaborate e complesse, ed a realizzarne anche qualcuna, assumendo una posizione molto avanzata sulla via del progresso elettronico.

Non va infine dimenticato che anche durante la seconda guerra mondiale furono continuati e perfezionati numerosi studi e realizzazioni inerenti alle comunicazioni. Molti ricetrasmittitori per comunicazioni su Onde Medie e Corte utilizzate per assicurare le



*Figura 7. Antenne sperimentali a tromba dei Radar EC3 ed EC3bis*

comunicazioni tattiche in fonìa tra le Unità Navali stesse e/o i Centri Operativi di terra furono progettati e/o messi a punto presso l'Istituto.

E' in particolare degno di menzione un' apparato ricetrasmittente ad onde ultracorte che fu interamente realizzato dall'Istituto in veste di prototipo ma pronto per essere riprodotto in serie dall'industria nazionale

### **10. Il decentramento**

A seguito dell'occupazione tedesca della città di Livorno avvenuta dopo l'8 settembre del 1943, l'Istituto venne decentrato in sede meno esposta all'interno di Villa Breda a Campo San Martino, comune di Piazzola Sul Brenta (Padova).

Purtroppo gli eventi bellici fecero sì che tutta la documentazione scientifica più importante prodotta dall'Istituto (che per ovvi motivi era stata classificata "segreta") fosse distrutta e bruciata per evitare che cadesse in mano nemiche; così a tutt'oggi non esiste più traccia di tutti i contributi scientifici prodotti nel periodo adiacente alla 2<sup>a</sup> Guerra Mondiale.

Il gruppo di ricercatori fu disperso; in particolare i prof. Tiberio, Carrara, Lombardini ed altri furono trasferiti a Brindisi insieme all'Accademia Navale ove continuarono l'opera didattica che in tempi normali dividevano con quella scientifica.

Essi comunque riuscirono a creare anche a Brindisi un piccolo laboratorio per le esperienze e la didattica, che fu attrezzato utilizzando alcuni apparati radar e di intercettazione elettronica recuperati a bordo di aerei USA risultati abbandonati presso la vicina base aerea.

Tali apparati vennero smontati ed esaminati con cura per trarne insegnamenti sulle tecniche e sulla tecnologia di cui disponevano le industrie americane. Certamente il confronto con quanto era stato sviluppato in Italia deve aver suscitato sorpresa ed ammirazione.

Ma ancor maggior sorpresa ed ammirazione suscitò il constatare il grande lavoro che loro, così pochi, avevano fatto per dare all'Italia l'arma del Radar, a fronte degli sforzi degli alleati di cui si venne a sapere a guerra conclusa.

Nel 1949 infatti pervenne al prof. Carrara l' "Opera Omnia" sul Radar edita in 28 volumi dal Massachusetts Institute of Technology (ancora oggi conservata nella biblioteca dell'Istituto Vallauri); nella prefazione del primo volume è scritto che il governo USA per la costruzione del radar aveva impegnato migliaia di scienziati e di numerosi istituti di ricerca coordinati dal M.I.T. .

Tradotto in cifre, lo sviluppo del radar Italiano (comprendendo tutti gli esemplari a partire dalla serie degli E.C. - per arrivare ai tipi Gufo, Veltro, Folaga, Lince, Lepre - in dotazione questi ultimi due all' Aeronautica- e poi agli IFF, tavoli tattici ecc.) è costato complessivamente circa 60 mila dollari dell'epoca. Un importo irrisorio se paragonato ai 2.7 miliardi di dollari (quasi il doppio di quanto fu speso per la bomba atomica) e migliaia di ricercatori e tecnici (compresi quelli inseriti nella produzione ) impegnati dagli USA.

# *Poliedri in pezzi*



## LA MOSTRA “POLIEDRI IN PEZZI”

ROSELLINA BAUSANI

*Responsabile dei Laboratori didattico - scientifici Franco Conti*

ORNELLA SEBELLIN

*Coordinatrice del Laboratorio di Matematica*

La mostra si è rivolta a chiunque, grande o piccino, avesse voglia di mettersi in gioco e di scoprire una matematica che coinvolgesse la manualità, l'astrazione, e che si occupasse di oggetti “belli”. In particolare, scopo della mostra è stato quello di sollecitare la fantasia e l'immaginazione del visitatore nell'osservazione dei poliedri, guidandolo alla riscoperta delle loro caratteristiche, fatta non attraverso i calcoli (o per lo meno non solo) ma con la manipolazione, la scomposizione e ricomposizione dei poliedri stessi. Infatti, il loro essere scomposti in “pezzi” rivela nuove proprietà e ne fa riscoprire altre già conosciute: il visitatore è stato prima sollecitato a porsi domande e poi guidato nella ricerca autonoma di soluzioni in modo divertente e costruttivo.

La mostra è stata aperta tutti i giorni feriali dalle 9 alle 13 o anche le 14, se l'entusiasmo dei visitatori non ci permetteva di rispettare gli orari. Il sabato mattina e pomeriggio e talvolta anche la domenica pomeriggio la mostra è rimasta aperta solo su prenotazione e ha visto la partecipazione di gruppi di famiglie, e perfino di scolaresche con insegnanti “fuori orario”. In totale le presenze sono state quasi 2000.

E' stata ospitata dal 10 novembre al 1 dicembre presso la Limonaia, in Vicolo del Ruschi a Pisa e successivamente, a causa delle molteplici richieste delle scuole, dall' 11 dicembre al 27 febbraio, presso il Liceo Artistico Franco Russoli in via S.Frediano 13, sempre a Pisa.

L'esposizione nella sede iniziale si svolgeva in più ambienti: nel salone d'ingresso erano esposti gli oggetti della mostra secondo un percorso museale fatto di pannelli esplicativi e tavoli con i vari poliedri “in pezzi”. Ogni postazione era caratterizzata da un pannello che introduceva l'argomento, proponeva problemi, indirizzava alla ricerca delle possibili soluzioni, ponendo l'accento a volte anche sul percorso storico della scoperta e dello studio delle proprietà dei poliedri.

Centralmente e al fondo della sala si potevano esaminare e soprattutto toccare le riproduzioni in legno dei cinque solidi platonici, dei tredici poliedri archimedei e dei loro duali, e dei poliedri stellati. In realtà tutti gli oggetti esposti erano a disposizione del pubblico che poteva lavorarci liberamente.

In fondo al salone hanno trovato posto alcuni lavori dell'artista Sandro del Pistoia che nelle sue opere, tutte realizzate con materiale naturale come pelli e legno, si ispira spesso a forme poliedriche.

Nella sala a fianco dello spazio espositivo, il "laboratorio" ha accolto i visitatori grandi e piccini che si sono cimentati nella costruzione dei poliedri con le geoforme, un materiale didattico particolarmente duttile e che è stato molto apprezzato anche dai "grandi".

Nel laboratorio erano esposti i lavori degli alunni delle scuole elementari e superiori che durante l'anno scolastico avevano partecipato al progetto sulla geometria solida.

Un secondo ambiente era dedicato al lavoro fatto dai ragazzi del Liceo Artistico di Pisa che hanno proposto la riproduzione su vetro di alcune immagini di poliedri tratte dai disegni di Leonardo per il *De divina proportione* di Luca Pacioli, realizzate con la tecnica della sabbiatura.

Le visite per le classi, ma su richiesta anche per i normali visitatori, sono state guidate dai ragazzi di MaDE@DM che è un'associazione di studenti, laureandi e dottorandi di Matematica dell'Università di Pisa, che si occupa di iniziative di divulgazione della matematica.

Ad ogni insegnante accompagnatore, o a chi ne faceva richiesta, è stato regalato un CD contenente sia la teoria (calcoli, dimostrazioni, spunti di lavoro per insegnanti...) che indicazioni utili alla riproduzione degli oggetti esposti, suggerimenti tecnici e una nutrita bibliografia.

Gli argomenti trattati sono stati i seguenti: le sezioni del cubo; dal cubo al tetraedro e all'ottaedro; la sezione aurea e i poliedri; i solidi archimedei; i poliedri stellati; i poliedri composti; la tassellazione dello spazio; il dodecaedro rombico; origami e geometria solida; il teorema di Dehn.

Ad esempio, la dualità cubo-ottaedro è stata presentata come la trasformazione di un cubo, per troncamento dei vertici, in cubo troncato, cubottaedro... fino a ottenere l'ottaedro, e veniva verificata empiricamente utilizzando modelli in cartoncino introdotti in un cubo di vetro. Nel primo passaggio, il vincolo di muoversi solo all'interno di figure regolari condiziona la scelta del punto in cui fare il taglio per troncare i vertici del cubo (non banale in questo caso, più immediato nel passaggio inverso dall'ottaedro al cubo) e ha due conseguenze importanti: da un lato porta a scoprire i poliedri archimedei, la loro definizione e le loro proprietà, dall'altro motiva alla necessità di non affidarsi alla sola osservazione delle figure ma piuttosto al rigore della dimostrazione geometrica. Infatti la costruzione geometrica di un ottagono regolare sulla faccia di un cubo non è affatto immediata.

Dalla manipolazione può nascere poi la curiosità di utilizzare le parti che sono state tolte al solido iniziale per creare altri poliedri, in un gioco di costruzioni che fa riflettere,

imparare, e che stimola a risolvere altri problemi: ad esempio come ricavare il volume di un tetraedro a partire da quello di un cubo che lo contiene, quello dell'ottaedro duale del cubo, o addirittura quello della stella octangula. Ma anche, più semplicemente, ritrovare la formula del volume di una piramide attraverso la scomposizione di un cubo in tre o sei piramidi a base quadrata.

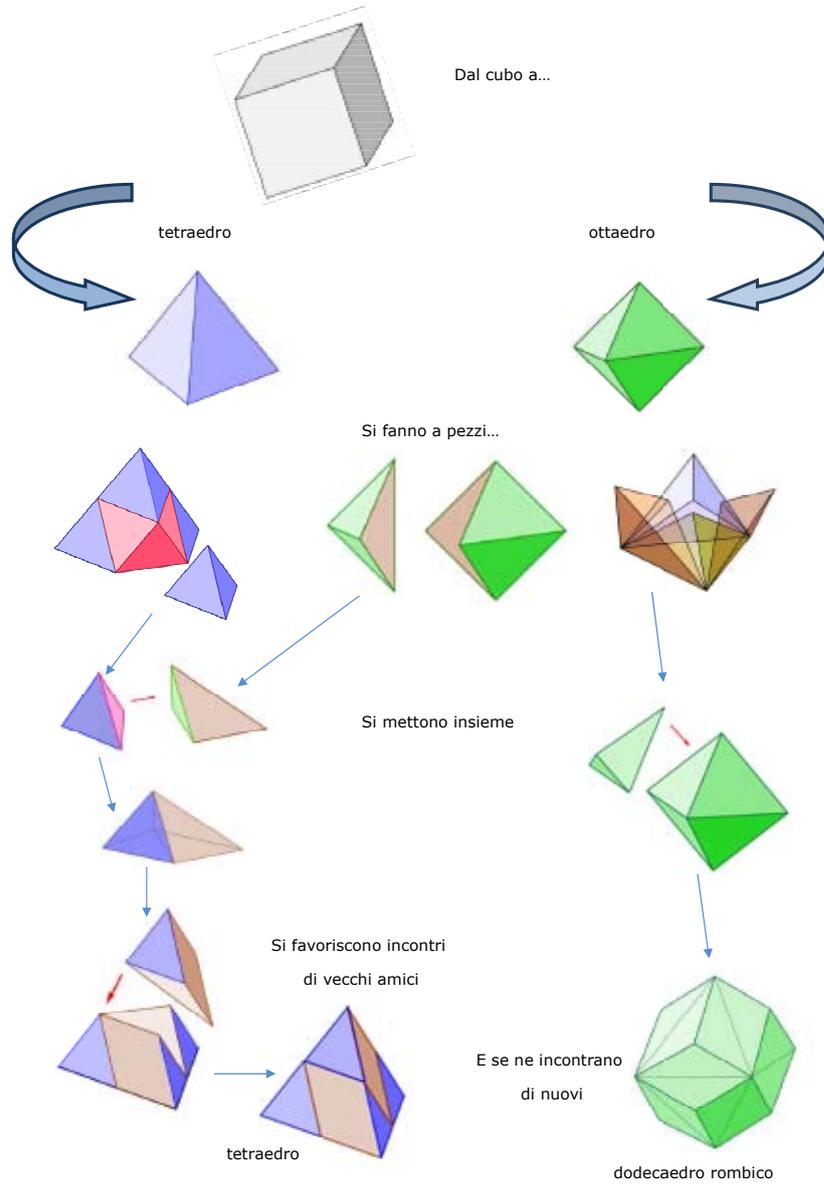
Viceversa, il riuscire a vedere "dentro" un poliedro stellato, cioè saperne riconoscere il cuore, porta a trovarne il volume come somma di volumi già noti. Mentre anche con la sola manipolazione di poliedri il visitatore ha potuto riconoscere quali di essi tassellano lo spazio, aiutato eventualmente dalle immagini del pannello esplicativo quando le cose si facevano un po' più complesse...

Dati tecnici: le presenze complessive sono state 1970, di cui 1239 alunni, per un totale di 54 classi e 98 docenti, mentre il pubblico e le famiglie con bambini sono stati 633.

Questa mostra è stata organizzata dai Laboratori didattico - scientifici "Franco Conti", laboratori promossi dall'Assessorato alla PI della Provincia di Pisa con la finalità di migliorare l'insegnamento-apprendimento in ambito scientifico e il rinnovamento delle metodologie didattiche. Essa vuole essere un piccolo esempio di ricerca-azione, nell'ottica di un insegnamento laboratoriale che avvicini con piacere i ragazzi allo studio della matematica, giustificando ai loro occhi la necessità di calcolare, verificare e infine dimostrare.

I laboratori sono intitolati a Franco Conti, docente della Scuola Normale, prematuramente scomparso, didatta appassionato e straordinario divulgatore della matematica e della fisica.

# TETRAEDRO E OTTAEDRO



# ATTIVITÀ PRESSO MUSEI





---

## LA STORIA DELL'INFORMATICA AL MUSEO DEGLI STRUMENTI PER IL CALCOLO DI PISA<sup>1</sup>

GIOVANNI A. CIGNONI

FABIO GADDUCCI

*Fondazione Galileo Galilei, Pisa & Museo degli Strumenti per il Calcolo, Università di Pisa*

L'esperienza del Museo degli Strumenti per il Calcolo con Pianeta Galileo ha permesso di mettere a punto una serie di contenuti divulgativi da offrire alle scuole e ai visitatori in genere, sperimentando formati didattici capaci di offrire un'esperienza il più completa possibile attraverso le macchine conservate o ricostruite al Museo. I cimeli diventano testimoni attraverso i quali "narrare" la storia dell'informatica. L'articolo offre uno spaccato dell'attuale offerta divulgativa descrivendo come è articolata in termini di incontri con il pubblico, visite guidate e laboratori didattici. Tale offerta è un risultato della ricerca storica e tecnologica realizzata dal progetto HMR, le cui applicazioni divulgative al Museo sono state sviluppate anche col contributo di Pianeta Galileo.

### **Introduzione**

Non è esagerato affermare che il Museo degli Strumenti per il Calcolo dell'Università di Pisa [1] ospita una collezione di rilievo europeo. Fra i pezzi di maggior pregio ce ne sono alcuni unici: la Calcolatrice Elettronica Pisana (CEP) del 1961 e l'ELEA 9104 dell'Istituto per le Applicazioni del Calcolo di Roma del 1966. Ma gli esemplari conservati spaziano dai prodotti Olivetti che cinquanta anni fa tentavano la conquista del mercato dei calcolatori, alle macchine che, a partire dagli aritmometri del 1800 fino ai portatili degli anni Novanta del secolo scorso, hanno fatto la storia del calcolo personale.

Da qualche anno, in collaborazione col progetto HMR [2] del Dipartimento di Informatica dell'Università di Pisa, il Museo sta costruendo un'offerta didattica e divulgativa che, per originalità e rigore scientifico, vuole essere adeguata al valore della propria collezione di cimeli informatici.

I calcolatori del passato, esplorati come cimeli e ricostruiti, in solido o virtualmente, sono protagonisti delle attività didattiche al Museo. Il fascino dei calcolatori d'epoca è in grado di generare curiosità sul funzionamento delle macchine e dei programmi, e rappresenta una buona leva per affascinare i ragazzi e stimolarli a investire nello studio dell'informatica e dell'elettronica.

L'hardware e il software di oggi sono troppo complessi per poter essere presentati come esempi dei quali si può comprendere il funzionamento. Invece, l'informatica del

---

1 Incontri con le scuole al Museo, il martedì e il venerdì, da novembre 2012 a gennaio 2013.

passato ci offre esempi a dimensione umana, preziosi per il loro valore storico, singolari per la loro distanza dall'informatica quotidiana, ma soprattutto utili per comprendere fino in fondo i principi e i meccanismi alla base del funzionamento dei calcolatori: sempre gli stessi nonostante gli enormi progressi in termini di prestazioni, dimensioni e interfacce utente.

### **L'esperienza di Pianeta Galileo 2012**

Il finanziamento di Pianeta Galileo alla Fondazione Galileo Galilei per il progetto "La storia dell'Informatica a Pisa – Incontri al Museo degli Strumenti per il Calcolo" è stato principalmente utilizzato per l'attività di ricerca storica finalizzata alla realizzazione del materiale didattico redatto appositamente per i due incontri "L'informatica, una lunga storia" e "Una sessione sulla Macchina Ridotta" proposti alle scuole nell'ambito di Pianeta Galileo 2012.

Il materiale didattico conta oltre 200 slide che, tramite una narrazione per immagini, affrontano da diverse prospettive la storia dell'informatica e quella dei progetti pisani che fra il 1955 e il 1961 realizzarono i primi calcolatori italiani.

Il materiale, abbondante per oltre 8 ore di divulgazione, è stato usato fra novembre 2012 e gennaio 2013 come traccia libera durante gli incontri con le classi, dando luogo a esperienze ogni volta diverse che ripercorrevano e collegavano i vari temi dell'informatica e della sua storia seguendo gli interessi e le domande dei partecipanti.

I temi trattati spaziano dagli aspetti logici e matematici all'evoluzione dell'hardware e del software, dai primi mezzi di comunicazione a distanza alle reti geografiche, dai personaggi ai grandi progetti di ricerca, dalle imprese industriali e commerciali alle lusinghe della pubblicità quando l'informatica diventa un prodotto di consumo, fino alle suggestioni e alle fantasie che i calcolatori hanno suggerito nella letteratura e nel cinema.

Nei mesi successivi agli incontri in calendario per Pianeta Galileo, il materiale didattico è stato riorganizzato nell'attuale offerta divulgativa e didattica che soddisfa le esigenze sia del Museo, soprattutto logistiche di utilizzo ottimale degli spazi e del personale, sia delle scuole che spesso devono far coincidere la visita e i laboratori con i tempi di una gita.

### **L'offerta didattica del Museo**

Le attività offerte alle scuole si compongono di incontri di introduzione e approfondimento, di visite guidate alle sale del Museo, di laboratori pratici. Gli incontri sono pensati per incuriosire e destare interesse e sono condotti stimolando domande e offrendo spunti di discussione. Le visite approfittano dell'unicità delle collezioni del Museo per legare i concetti alla concretezza e al fascino dei cimeli conservati. I laboratori propongono sfide per consolidare le nozioni attraverso l'esperienza pratica.

Le attività proposte offrono approfondimenti specifici sulle vicende italiane e sui calcolatori realizzati all'Università di Pisa negli anni Cinquanta, ma tutta la storia dell'informatica è affrontata nei suoi molteplici aspetti: scientifici, tecnologici, sociali e culturali. Tutte le attività hanno come denominatore comune la divulgazione tecno-

logica: la storia dell'informatica, anche quando non riguarda hardware e software, ma documenti, avvenimenti, aneddoti o escursioni nel fantastico e nell'intrattenimento, è sempre indagata con rigore scientifico, sfruttando ogni occasione per imparare qualcosa in più su come funzionano i calcolatori. Le tecnologie di oggi, in particolare la simulazione software, sono usate per far rivivere i calcolatori di ieri; nella loro semplicità, i calcolatori di ieri sono ottimi esempi per spiegare le tecnologie di oggi.

Le attività sono principalmente rivolte alle scuole medie e superiori in modo da affiancare l'insegnamento dell'informatica a più livelli di approfondimento, anche per quei casi nei quali alla materia è dato poco (o nessuno) spazio nei programmi didattici.

L'offerta è formulata in moduli tematici definiti nei contenuti e negli obiettivi divulgativi. Tipicamente, ogni modulo, incontro, visita o laboratorio, ha una durata di circa 45' con una pausa di circa 15' che può essere utilizzata per domande e approfondimenti oppure, semplicemente, per rilassarsi e ristabilire i livelli di attenzione. In funzione di esigenze particolari, i tempi e i livelli di approfondimento possono essere ridotti per venire incontro agli orari e alle esigenze logistiche delle scuole in visita al Museo. Una coppia incontro-visita (gli "assaggi digitali", come precisato più avanti) è studiata per i gruppi, prevalentemente non scolastici, che dispongono di un tempo limitato (circa 2h) e desiderano vedere i "must" del Museo in una sola volta.

La maggior parte dei moduli si presta ad essere adattata di volta in volta all'età, alla formazione e alla capacità di attenzione del pubblico. Alcuni moduli sono specificamente rivolti alle scuole superiori, sia adatti a tutti gli indirizzi (richiedono una più ampia cultura di base), sia dedicati alle scuole con vocazione tecnologica (richiedono competenze informatiche scolastiche). I moduli sono organizzati propedeuticamente per essere proposti alle classi in successione, instaurando con le scuole e con gli insegnanti un percorso divulgativo anche pluriennale.

### **Gli incontri**

L'informatica, oltre che di calcolatori, è densa di avvenimenti, personaggi, concetti e soluzioni tecniche. Ogni calcolatore ha moltissime cose da raccontarci. L'offerta tradizionale prevede una guida che parla al pubblico mentre si visitano le sale del museo. Ma, per quanto affascinanti, i cimeli non sempre sono un supporto efficace alla divulgazione, specialmente quando le informazioni necessarie per comprendere il valore di un calcolatore riguardano il suo contesto storico e tecnologico. Gli incontri preparano alle visite e ai laboratori didattici, fornendo organicamente tutte le informazioni di contesto e basando la narrazione su immagini e video presentati e commentati dal vivo, favorendo l'attenzione e coinvolgendo il pubblico a intervenire con osservazioni e domande.

*11 - Dal calcolo al calcolatore, una lunga storia.* La storia del trattamento delle informazioni, del calcolo e dell'informatica è lunga 5000 anni. Fra immagini curiose e rivelazioni inaspettate, questo incontro con l'informatica offre l'introduzione necessaria per sapere cos'è, cosa può fare, come è fatto e come è nato il calcolatore moderno. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), nessuna propedeuticità.

*I2 - Informatica e comunicazione.* Dai telegrafi ottici all'internet della Regina Vittoria fino al web dei giorni nostri, questo incontro offre uno spaccato della storia dell'informatica dedicato alle comunicazioni che ci porta dai cinque segni dell'alfabeto Morse (sì, 5) alla battaglia dei cifrari della II Guerra Mondiale. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo I1.

*I3 - Il progetto CEP, un'avventura scientifica.* Dal 1955 al 1961 a Pisa furono realizzati i primi calcolatori italiani. Finanziatori illuminati, sostenitori illustri, collaborazioni e competizioni, dubbi e difficoltà economiche sono gli ingredienti di uno dei momenti più felici della nostra storia tecnologica. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo I1.

*I4 - La Macchina Ridotta, un calcolatore riscoperto.* Il primissimo calcolatore italiano, la Macchina Ridotta costruita a Pisa nel 1957, era stato dimenticato. Un capitolo del progetto CEP viene riletto attraverso i metodi dell'archeologia sperimentale, gli stessi adottati dal progetto HMR per scoprire la rilevanza di un primato e le cause del suo oblio. Scuole superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo I3.

*I5 - Il calcolatore percepito: il mercato e la pubblicità.* Il calcolatore da strumento scientifico è oggi un oggetto di consumo. La pubblicità ha i suoi fini, ma spesso stravolge la realtà. Ne derivano storie inaspettate, personaggi da ridimensionare e fatti da ripristinare. Anche per imparare ad essere consumatori meno passivi. Scuole superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo I2, abbinabile a I6.

*I6 - Il calcolatore immaginato: letteratura e cinema.* I cervelli elettronici hanno stimolato la fantasia degli autori e suggestionato il pubblico. Scoprire le contaminazioni fra scienza, fantascienza e immaginario collettivo ci fa apprezzare sia l'impegno dei ricercatori che l'estro degli artisti e scoprire gli esiti curiosi della ricerca di un realismo convincente. Scuole superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo I2, abbinabile a I5.

*I7 - Assaggi digitali: le storie.* Un incontro per preparare a una visita dei pezzi più pregiati delle collezioni del Museo. Gli assaggi toccano fatti inaspettati e dettagli curiosi della storia dell'informatica testimoniati dalle macchine conservate al Museo: dalle radici medievali (e pisane) dell'era digitale, alle catene di coincidenze che determinano le sorti dei progetti tecnologici. Prevalentemente per gruppi non scolastici, da abbinare a V3.

### **Visite guidate**

Le visite, preparate dagli incontri introduttivi, si concentrano sulle macchine svelandone i dettagli tecnologici e spiegandone le modalità di funzionamento.

*V1 - Dentro un calcolatore: la CEP del 1961.* Il secondo calcolatore costruito a Pisa fra il 1958 e il 1961 è il cimelio più importante conservato al Museo: testimonia difficoltà e successi del progetto che lo realizzò. Inoltre, grazie alle sue dimensioni, possiamo camminarci dentro per capire come è fatto un calcolatore. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliata dopo I1, possibilmente dopo I3.

*V2 - I calcolatori dell'impresa Olivetti.* È la storia della Divisione Elettronica Olivetti, dalla distribuzione delle macchine della francese Bull fino al calcolatore dedicato costruito per l'INAC di Roma, passando per l'esponente più maturo e di maggior successo commerciale della stagione dei grandi calcolatori Olivetti: l'ELEA 6001. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliata dopo I1, possibilmente dopo I3.

*V3 - Assaggi digitali: le macchine.* Attraverso le più interessanti fra le macchine conservate al Museo, pezzi unici o molto rari, gli assaggi ripercorrono alcuni passi significativi della storia dell'informatica scoprendo come funzionavano e come in realtà ancora oggi funzionano i calcolatori. Prevalentemente per gruppi non scolastici, da abbinare a I7.

### **Laboratori didattici**

La divulgazione dell'informatica non può limitarsi all'esposizione di macchine ferme. Non solo i calcolatori sono costruiti per "girare", ma senza accenderli si perde una buona metà dell'informatica: il software. Obiettivo dei laboratori è mostrare l'informatica in funzione, proponendo sfide e invitando il pubblico a "toccare" i calcolatori.

Caratteristica del Museo è la possibilità di lavorare con le macchine del passato, restaurate, riprodotte in replica o ricostruite virtualmente tramite sofisticati simulatori software. I concetti e i meccanismi sono gli stessi delle macchine moderne, ma i vecchi calcolatori sono essenziali e perciò comprensibili in tutti i dettagli: ci si può davvero convincere di come e perchè funzionano i calcolatori dentro.

*L1 - L'addizionatore a 6 bit della MR.* Nella realizzazione del primo calcolatore italiano, il primo pezzo fu un addizionatore a valvole. Oggi una sua replica è stata ricostruita dai disegni originali, funziona e ci spiega molte cose del dentro dei calcolatori: dall'algebra booleana all'aritmetica binaria, dalle reti logiche alla frequenza di clock. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo V1, abbinabile a I3.

*L2 - Una sessione sulla MR56.* Il simulatore della Macchina Ridotta del 1956 svela cosa succede in un calcolatore quando si lancia un programma. A parte la (im)praticità d'uso, un moderno PC e la MR funzionano nello stesso modo, ma quello che oggi è nascosto in pochi click, sulla MR si osserva in ogni passo. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo V1, abbinabile a I3.

*L3 - Una sessione sulla MR57.* La MR del 1957 fu il risultato di un anno di riflessioni e miglioramenti sul progetto precedente. Una sessione sul simulatore della MR57 ci permette di valutare quanto sia importante l'interfaccia utente e di capire cosa succede quando un calcolatore esegue le istruzioni. Scuole medie e superiori (tutti gli indirizzi), consigliato dopo L2.

*L4 - Programmare la MR57.* Ogni programma, per quanto sofisticato sia il linguaggio in cui è scritto, viene trasformato ed eseguito in una serie di istruzioni base della macchina. Con la MR siamo obbligati ad utilizzare tale linguaggio macchina per programmare. È laborioso, ma permette di comprendere davvero cosa fa un calcolatore. Scuole superiori (indirizzi con basi di programmazione), consigliato dopo L3.

*Materiale didattico e divulgativo.* Il materiale usato per le attività al Museo, sia come supporto alle presentazioni durante gli incontri e i laboratori, sia come testi di approfondimento, sia come strumenti software utilizzati nei laboratori didattici, è disponibile sulle pagine web di HMR [2]. Per presentazioni e articoli si rimanda alla pagina dei Documenti, per i simulatori della Macchina Ridotta alla pagina delle Ricostruzioni.

### **Conclusioni**

L'esperienza con Pianeta Galileo è stata per il Museo un esempio positivo di esperimento pilota e successivo consolidamento di nuove modalità divulgative. Il risultato più interessante è la "fattorizzazione" delle informazioni di contesto negli incontri: la presentazione a un pubblico seduto con il supporto di immagini e video (a differenza di un pubblico in piedi di fronte a un cimelio, affascinante, ma spento) permette di catturare l'attenzione e veicolare più contenuti, concentrandosi sul contesto durante l'incontro e sui dettagli della macchina durante la visita. L'esperienza è più gradevole e didatticamente più efficace.

Oltre alla sperimentazione, l'esperienza ha accresciuto il patrimonio del Museo in termini di materiale divulgativo ed è stata un'ulteriore opportunità per farne conoscere alle scuole l'offerta didattica. In termini di numeri assoluti, l'affluenza è stata buona sebbene non eccezionale (14 classi, circa 300 ragazzi, per circa 45h di divulgazione fra novembre e gennaio), tuttavia più che sufficiente per la sperimentazione dei formati e il consolidamento dell'offerta divulgativa che è stata poi fruita con successo dalle scuole nella più propizia (per gite e uscite) primavera 2013.

Il progetto HMR e il Museo degli Strumenti per il Calcolo sono ancora impegnati nella ricerca, sia storica [3, 4] sia di nuove forme di divulgazione [5]. Le possibilità offerte da Pianeta Galileo si sono rivelate un utilissimo complemento a queste attività in termini di contributi e di visibilità [6].

## BIBLIO-SITOGRAFIA

- [1] Museo degli Strumenti per il Calcolo, pagina web, <http://www.fondazionegalileo-galilei.it>, ultimo accesso giugno 2013.
- [2] Hackerando la Macchina Ridotta, pagina web, <http://hmr.di.unipi.it>, ultimo accesso giugno 2013.
- [3] G.A. CIGNONI, F. GADDUCCI, “Rediscovering the Very First Italian Digital Computer”, atti di IEEE 3rd HISTory of ELectro-technology CONFerence, Pavia, 5-7 settembre 2012.
- [4] G.A. CIGNONI, F. GADDUCCI, “Experimental Archeology of Computer Science”, atti del 2° Congresso La ricerca scientifica in Museo. Quale la realtà Toscana, Calci (PI), 25-26 maggio 2012.
- [5] G.A. CIGNONI, F. GADDUCCI, “Using Old Computers for Teaching Computer Science”, atti di IFIP Conference Making the History of Computing Relevant, Londra, 17-18 giugno 2013.
- [6] “Una sessione sulla Macchina Ridotta”, video realizzato da Pianeta Galileo, <http://www.youtube.com/watch?v=LL50-PZFQMo>, ultimo accesso giugno 2013.



## IL MUSEO DI STORIA NATURALE DELL'UNIVERSITÀ DI PISA

ANGELA DINI<sup>1</sup>

Il Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa è uno tra i più antichi al mondo. Nato come "Galleria" sul finire del '500 per volontà di Ferdinando I dei Medici, oggi raccoglie ed espone oltre 400 anni di storia della ricerca scientifico-naturalistica dell'Ateneo pisano. Dal 1986 è ospitato nei locali della Certosa di Pisa a Calci e rappresenta una delle più importanti realtà museali italiane.

Reperti di zoologia, fossili e minerali, organizzati secondo criteri sistematici e tematici, sono esposti su oltre 4.000 metri quadrati di sale e gallerie disposte su tre piani. Di notevole importanza la galleria dei Cetacei, tra le prime in Europa per valenza scientifica, il settore di Paleontologia con i dinosauri e le sale degli acquari.

Il Museo offre percorsi di visita diversificati ed una intensa attività didattica che copre diversi ambiti scientifici e tutti gli ordini scolastici. Solo nel 2012, il museo ha svolto 675 attività per le scuole, tra laboratori didattici e visite guidate, per circa 15.000 ragazzi e bambini.

Tra queste figurano una serie di attività espressamente organizzate per "Pianeta Galileo 2012", che descriviamo sinteticamente.

Marco Zuffi, dell'Università di Pisa, ha curato il laboratorio: "Le isole fossili. Mi isolo, mi differenzio, (forse) mi evolvo", finalizzato ad individuare tramite l'orografia della regione Toscana le isole fossili come serbatoi degli indizi dell'evoluzione.

Per molti popolamenti animali non volatori le isole sono un elemento che li tiene costantemente separati da tutto il resto, mentre per altri organismi le isole sono un punto di passaggio e di sosta. Durante la bassa marea o durante gli abbassamenti del livello del mare a seguito dei periodi glaciali, diversi gruppi (mammiferi, rettili, ecc.) possono di fatto passare dal continente alle isole o muoversi tra isole anche molto distanti tra loro.

Si è concentrata l'attenzione sulle caratteristiche che gli individui e le popolazioni insulari condividono all'interno di una stessa isola e su come ogni popolamento insulare possa presentare delle specificità non condivise con altri popolamenti insulari. Si è esaminato quanto dovrebbe essere successo a popolamenti insulari rimasti separati per centinaia di migliaia di anni che, con l'abbassamento del livello del mare, si sono trovati in possibile connessione geografica e quindi genetica tra loro.

---

<sup>1</sup> Referente dei servizi educativi presso il Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa. Ha raccolto i contributi di chi ha organizzato le varie attività.

Utilizzando la cartografia di parte della Regione Toscana, scaricata da Google Maps, e mettendo in evidenza i rilievi montuosi è stato posto ai ragazzi il problema di individuare le possibili isole del passato che ora formano il paesaggio e l'orografia della Toscana costiera.

Complessivamente, la risposta è stata molto positiva e quasi tutti gli studenti hanno trovato e in gran parte ben separato le "isole fossili" della Toscana.

Graziano Di Giuseppe, dell'Università di Pisa, coadiuvato da Patrizia Scaglia e Martina Calamusa, in collaborazione con la Società Italiana di Protistologia, ha curato il laboratorio: "I protisti: modello sperimentale per lo studio della cellula eucariotica". La collaborazione fra il Museo di Storia Naturale, la Società Italiana di Protistologia Onlus e il Dipartimento di Biologia dell'Università di Pisa ha consentito la creazione di una sala dedicata ai "Protisti" presso lo stesso Museo di Storia Naturale. In questa sala, dotata di modelli tridimensionali ingranditi, di microscopi, e dell'attrezzatura da laboratorio, gli studenti delle scuole secondarie hanno potuto conoscere da vicino questi organismi unicellulari che sono considerati gli artefici del più grande salto evolutivo nella storia degli organismi viventi, poiché per primi hanno acquisito una struttura simile a quella delle nostre cellule.

Dopo aver testato le conoscenze dei ragazzi su questi organismi quasi sconosciuti al grande pubblico, ne sono state descritte le caratteristiche distintive. Quindi sono state illustrate ai ragazzi alcune esperienze di ricerca svolte nei laboratori dell'Università, in particolare come vengono fatti i campionamenti, la preparazione dei vetrini da osservare al microscopio e lo studio del DNA degli organismi campionati. Durante il laboratorio i ragazzi hanno potuto simulare dal vero l'esperienza di un ricercatore attraverso la preparazione di vetrini con cellule vive da osservare al microscopio. L'esperienza pratica si è conclusa con l'estrazione del DNA da alcune colture di protisti, con grande soddisfazione dei ragazzi.

Elena Bonaccorsi, dell'Università di Pisa, coadiuvata da Patrizia Scaglia, Silvia Sorbi e Massimo Cerri, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra, ha curato il laboratorio "Minerali intorno a noi".

Il laboratorio si è svolto nella sala espositiva dedicata a "Le ricchezze minerarie della Toscana", l'ambiente ideale per rispondere a domande come: Quanti minerali servono per fare un cellulare? E per fare un'automobile? Quanti minerali incontriamo tutti i giorni, quando ci alziamo la mattina nelle nostre case, e poi per strada, andando a scuola o al lavoro? E quanti ne utilizziamo grazie agli strumenti che la tecnologia, vecchia e nuova, costruisce per renderci la vita più semplice?

Gli studenti che hanno partecipato al laboratorio, hanno potuto osservare nelle vetrine molti minerali utili (oltre che belli) ed hanno avuto un'idea della storia estrattiva millenaria della nostra regione attraverso le sue emergenze più significative. Le mineralizzazioni a pirite della Toscana meridionale, le miniere di ematite dell'Isola d'Elba, i filoni argentiferi delle Alpi Apuane sono alcuni esempi di questa storia, perfettamente

testimoniata dai campioni esposti nelle vetrine. Questi minerali hanno favorito lo sviluppo delle grandi civiltà etrusca e romana e fino alla metà del XX secolo hanno rappresentato un'importante risorsa per il nostro territorio. Oggi, venuto meno l'interesse economico per molte di queste mineralizzazioni, permane un significativo patrimonio storico, scientifico e museologico da studiare e valorizzare.

Questo patrimonio ha anche una importante valenza didattica. I minerali di solito riscuotono un grande successo tra i bambini ed i ragazzi per la loro bellezza ed anche – a volte – perché una certa fantasia li associa a influenze e poteri magici. Nel laboratorio i minerali sono stati esaminati, graffiati, pesati e confrontati, e si è scoperto che, dietro la loro misteriosa bellezza, nascondono altre proprietà che possono essere misurate, quantificate e sfruttate per le applicazioni tecnologiche, o anche semplicemente usate per riconoscerli.

Tra le attività organizzate dal Museo nell'ambito di Pianeta Galileo vanno incluse anche due conferenze destinate agli studenti. La prima, dal titolo "Se mi ami, sbadiglia!", tenuta da Elisabetta Palagi dell'Università di Pisa, ha trattato uno dei più affascinanti comportamenti che condividiamo con moltissime specie animali: lo sbadiglio. I ragazzi sono stati invitati a formulare ipotesi sulle le possibili funzioni di questo comportamento e sul fenomeno del contagio, ipotesi che sono state poi discusse e interpretate sulla base delle attuali conoscenze scientifiche.

La seconda conferenza, dal titolo "Vulcani e miti", organizzata in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione di Pisa e tenuta da Massimo Pompilio, si è posta come obiettivo l'analisi del rapporto tra l'uomo e quei fenomeni naturali che destano curiosità e meraviglia, ma anche sgomento e paura, per la loro potenza e bellezza, di cui i vulcani rappresentano l'esempio principe.

Nella prima parte l'incontro ha offerto agli studenti la presentazione del rapporto uomo/vulcano di tipo emotivo, attraverso il racconto di miti, da quelli preistorici ai più recenti. Si è poi passati a descrivere il potere distruttivo dei fenomeni vulcanici e sono stati presentati lo sviluppo delle conoscenze scientifiche e le moderne metodologie di studio mirate alla previsione del fenomeno eruttivo e alla prevenzione al rischio.



---

**PIANETA GALILEO AL MUSEO E ISTITUTO FIORENTINO  
DI PREISTORIA “PAOLO GRAZIOSI”  
OVVERO ARCHEOLOGIA E PROCESSI FORMATIVI SOCIALI**

FABIO MARTINI

*Direttore del Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria*

**1. Il Museo di Preistoria programma il passato**

Le potenzialità educative dell'archeologia partono da un presupposto molto semplice, che come tutti i concetti semplici può talora non essere messo nella giusta luce in quanto viene dato per scontato: i nostri comportamenti attuali hanno le loro radici in una tradizione culturale che deve essere tenuta presente dagli educatori che operano nella piena coscienza della dimensione storica dei comportamenti stessi. I più significativi atteggiamenti che caratterizzano i modi di vita dell'uomo nella nostra civiltà hanno avuto origine e sviluppo in consorzi sociali in epoche molto remote e le fisionomie di culture tra loro differenziate nel tempo e nello spazio in realtà rimandano ad archetipi esistenziali che compaiono nella preistoria. Le trasformazioni diacroniche sono legate alla dinamica evolutiva di variabili comportamentali e non di strutture primarie e l'uomo contemporaneo, quindi, può trovare l'origine dei suoi comportamenti e le radici della gestione dei saperi nello studio delle prime comunità della specie umana alla quale egli appartiene, l'*Homo sapiens*.

Nel lungo ed articolato cammino dell'evoluzione, che ha visto la comparsa sulla terra del genere *Homo* circa 2,5 milioni di anni fa e la successione di varie specie, *Homo sapiens* rappresenta la specie più giovane, l'unica che è sopravvissuta e che corrisponde all'apice del cespuglio evolutivo. Comparso circa 150.000 anni fa in Africa, giunge in Europa orientale circa 40.000 anni orsono e nel giro di pochi millenni colonizza l'intero continente con una rapida espansione sino alle coste atlantiche e alla penisola iberica. Il *sapiens* soppianta la specie che già popolava l'Europa, l'Uomo di Neanderthal, che si estingue in pochi millenni; tale supremazia viene messa in relazione a diverse capacità che caratterizzano la struttura culturale della nuova specie: la forte identità del gruppo, la capacità di aggregazione sociale, un articolato sistema di comunicazione (verbale e non verbale), una sapienza ambientale che permette al *sapiens* di integrarsi nei vari habitat utilizzando al meglio le risorse disponibili.

Le grandi categorie comportamentali che il *sapiens* introduce, e che da allora non sono più state abbandonate, sono tra loro concatenate in un rapporto di causa-effetto. Esse riguardano *in primis* le capacità di procacciarsi il cibo (nel Paleolitico mediante

la caccia con una strategia predatoria, in seguito con l'introduzione dell'agricoltura e dell'allevamento con sistemi produttivi che ancora oggi ci caratterizzano) e ogni pratica funzionale alla sopravvivenza. La strategia economica, che diventa sistema, si regge sul consorzio sociale. Il consorzio sociale si regge sull'affermazione della propria identità, sul riconoscimento di una storia, di un patrimonio e di beni comuni. L'identità matura e si cementa mediante l'uso di un linguaggio articolato che consente di dare un nome alle cose del mondo secondo un sistema fonico e linguistico comprensibile a tutti. Il linguaggio verbale si accompagna all'elaborazione condivisa di strumenti di comunicazione non verbali che cementano la comunità attraverso l'adozione di codici tecnologici (conoscenza tecniche nelle produzioni dei manufatti) e simbolici (la morte, la fertilità, l'individualità) condivisi. Tra gli atteggiamenti simbolici primari citiamo, ad esempio, la complessità della cultura del morire, dove la toilette funeraria riservata al defunto è deputata a sottolineare la specifica identità del defunto stesso. Altro atteggiamento importante è legato all'introduzione sistematica di ornamenti individuali (collane, bracciali, cavigliere...) che hanno lo scopo (allora come oggi) di offrire un'immagine individuale, unica e inconfondibile di chi li indossa. Un ulteriore sistema di comunicazione non verbale passa attraverso le immagini (la cosiddetta arte preistorica) che propone un codice di lettura e di rappresentazione del mondo condiviso e trasmissibile. Questo sistema organico e codificato è reso possibile dall'invenzione della linea, cioè dalla capacità di rappresentare in modo bidimensionale le masse e i volumi che il nostro sistema percettivo riceve in una visione tridimensionale della realtà.

L'eredità che noi, *sapiens* attuali, abbiamo ricevuto e che continuiamo a tramandare si identifica nella trasmissione di generazione in generazione delle identità e delle diversità attraverso la memoria dei saperi e dei beni tangibili ed intangibili.

La trasmissione dei saperi avviene, tra l'altro, anche attraverso l'archeologia, una scienza storica che può essere definita come la "scienza della memoria", alla ricerca dell'origine dei saperi, e come fine ultimo, della propria identità storica. La memoria, categoria comune a tutti gli esseri viventi, possiede nel genere *Homo* una valenza particolare. Essa non è solo il meccanismo che garantisce la ripetibilità dei gesti, dei comportamenti e delle interrelazioni che sono alla base dell'apprendimento individuale e che cementano il consorzio sociale. La memoria, in una dimensione unica nell'Uomo, è anche legata alla coscienza della finitezza della propria vita e della precarietà dell'esistenza. Questa coscienza è all'origine delle scienze archeologiche. Esse hanno come scopo ridare corpo e voce alle reliquie del passato per dare corpo e voce alle conoscenze del nostro tempo. Il fatto che la memoria sia uno strumento di apprendimento delle esperienze del mondo antico rende l'archeologia "il passato", ma poiché la memoria stessa è anche la capacità di organizzare il movimento successivo in vista di un risultato atteso, l'archeologia diventa "il futuro".

In estrema sintesi, i valori educativi dell'archeologia possono essere definiti in alcuni assiomi essenziali tra loro collegati in un processo dinamico: trasformazione dei saperi materiali e immateriali in strumenti di partecipazione attiva; l'azione, vale a dire

la gestualità, l'essere "homo faber" che attraverso le proprie capacità operative, e-segue e pro-segue la *tekne*; la comprensione, cioè l'assimilazione di sistemi tecnici e simbolici; l'inserimento di tutto ciò nella sfera della memoria come strumento di trasmissione alla comunità. Risultato ultimo di questo processo è una cultura partecipata che vede il consorzio sociale implicato e protagonista di un comportamento condiviso.

La crisi della cultura che ha connotato il '900 obbliga ad una rivisitazione critica dei linguaggi e dei sistemi di comunicazione. Nel mondo occidentale la diffusione e il radicamento di sistemi informatici, della comunicazione attraverso Internet, di sistemi di informazione globali, la velocità di scambio delle informazioni, la modificazione dei linguaggi mediante neologismi e semplificazioni, l'interculturalità sono alcuni dei principali input che costringono gli educatori e quanti operano nel sociale e nel settore della docenza ad intraprendere una sfida per il XXI secolo che concerne, in estrema sintesi: la ridefinizione delle metodologie della formazione, l'adeguamento dei contenuti, l'accessibilità universale.

L'archeologia può offrire un'occasione di riflessione e una base di ipotesi operative e, all'interno dei temi e degli argomenti dibattuti da chi opera nel settore, ritengo importante sottolineare il potenziale apporto fornito dalle strutture museali, che hanno oggi, in taluni contesti sociali, una fondamentale valenza di aggregazione.

Le strutture museali dell'ambito archeologico possono essere validi strumenti formativi se superano l'impostazione conservativa, configurandosi come centro servizi che perseguono una politica di valorizzazione educativa in parallelo con la ricerca scientifica. Alcune iniziative sono oggi essenziali e inderogabili: formazione di figure professionali per la didattica museale, deputate a visite guidate, lezioni teoriche e laboratori di archeologia sperimentale e simulativa, differenziati in base all'utenza (Scuole e Università), ricostruzioni storiche; conferenze e laboratori per bambini, famiglie e adulti; relazione diretta con gli insegnanti per programmazione e corsi di aggiornamento; editoria divulgativa.

Fondamentale per la valenza formativa dell'archeologia è l'integrazione con il territorio in quanto esso costituisce lo scenario primario per la verifica delle azioni educative. Infatti il territorio è l'unità organica nella quale l'individuo riconosce la propria identità in un sistema complesso di relazioni e di saperi condivisi ed è, in estrema sintesi, la condivisione dei saperi materiali e immateriali connessi al territorio che alimenta la vita collettiva. Conoscere significa anche programmare e trasformare, trasformare nell'ottica di uno sviluppo presuppone una sapienza ambientale che può scaturire solo da una conoscenza storica del territorio medesimo. Le iniziative che permettono una ricostruzione storica del proprio contesto sono molteplici e possono essere indirizzate alle trasformazioni sia del paesaggio naturale sia del paesaggio antropico sia delle dinamiche culturali in senso diacronico. Obiettivo primario rimane sempre la definizione delle identità che connotano le comunità, attraverso la messa a fuoco dei saperi locali, premessa per una strategia di salvaguardia delle tradizioni e dei sistemi di trasmissione dei patrimoni culturali.

In questo senso la responsabilità primaria dei Musei riguarda la capacità di radicarsi nel tessuto ambientale e sociale e di proporsi come lettore privilegiato (in quanto in possesso di strumenti culturali di eccellenza) della realtà, come interprete della necessità di non dimenticare il proprio passato e il patrimonio dei propri saperi, delle contraddizioni del microcosmo nel quale agisce, delle esigenze della realtà sociale nella quale agisce, assumendo così una valenza politica del proprio operare.

Un tema importante nella valenza educativa dell'archeologia, ma in generale per quanti operano nel campo dei cosiddetti Beni Culturali è quello relativo all'accessibilità. Negli ultimi anni in Italia si sono moltiplicate le proposte di iniziative rivolte agli utenti portatori di handicap, sia con percorsi espositivi paralleli a quello espositivo ordinario sia con step, al suo interno, per ipovedenti e non vedenti; si tratta di iniziative scaturite a seguito di riflessioni e confronti, convegni, incontri di studio e stages formativi che hanno avuto il merito di evidenziare questo tema innovativo, dando alla problematica anche una valutazione teorica nell'ambito delle buone pratiche. In un progetto rivolto al tema dell'accessibilità universale mezzi e scopi si fondono attraverso un percorso dinamico e interattivo che si regge sui seguenti passi primari:

1. sensibilizzazione della comunità al concetto di disabilità e a tutti gli aspetti ad essa correlati. In questo processo formativo, nel quale sono implicati educatori a diversi livelli e strutture pubbliche e private che operano all'interno della collettività, la valenza sociale e politica dell'azione si fondono nella creazione di una impostazione di accettazione-accoglienza-rispetto-valorizzazione dell'altro da sé;
2. possibilità di una progettazione accessibile per un'utenza ampliata. In questo processo sono chiamati a partecipare i professionisti ai quali viene demandata la responsabilità di realizzare strutture e infrastrutture che non solo superino l'elementare e ormai scontato impedimento delle barriere architettoniche ma che consentano una gestione allargata dello spazio (il che significa anche delle luci, dei suoni, degli odori...), nella consapevolezza che non esiste una univoca fruizione dei beni culturali esposti, siano essi monumentali o mobili. In quest'ottica diventano indispensabili la progettazione e la realizzazione di allestimenti multisensoriali;
3. progettazione e realizzazione di corsi di formazione. L'educazione all'accessibilità richiede strumenti propedeutici che possono essere trasmessi solo da personale specializzato, appositamente introdotto al tema delle buone pratiche e avviato ad un servizio professionalmente elevato e ad una gestione dell'utenza condotta sulla base di una cultura dell'accessibilità bene acquisita e non improvvisata.

Infine, un'ultima osservazione in merito all'archeologia sociale (*public archaeology*) che può essere praticata come una disciplina educativa, inserita nel contesto sociale e politi-

co. Una tale concezione del nostro essere operatori nella formazione non solo di quadri tecnici ma di future generazioni di individui consapevoli della propria responsabilità civile, coniuga tre passaggi primari in un processo nel quale il risultato finale diviene l'inizio di una sequenza nuova: la ricerca scientifica-l'azione nel contesto sociale-il coinvolgimento partecipato della comunità.

Ogni archeologo deve quotidianamente confrontarsi con i problemi connessi ai singoli settori scientifici o alle diversificate strutture pubbliche e private di riferimento, ma ciò che la crisi del nuovo millennio propone a quanti danno a questa professione anche una valenza educativa e civica è una sfida per un rinnovamento. Non reinventarsi, ma integrare il nostro operare, professionalmente definito e fortemente specializzato nelle metodologie e nei contenuti, con alcuni temi che condividiamo con quanti agiscono nei diversi campi delle scienze sociali: porre l'individuo al centro della visione del mondo; misurare e valorizzare l'intangibile, cioè i valori immateriali delle nostre scelte; mettere a fuoco le opportunità date dal fare parte attivamente del consorzio sociale; l'obiettivo dell'accessibilità universale.

## **2. Le iniziative dell'edizione 2012**

Gli eventi proposti dal Museo Fiorentino di Preistoria per l'edizione 2012 di "Pianeta Galileo" bene esemplificano i processi educativi che possono essere avviati. La base di ogni attività ha come punto di partenza un percorso espositivo, nel quale sono fruibili parti significative di collezioni archeologiche. Esso si unisce e si concerta con la lezione frontale, la quale garantisce quella *espansione conoscitiva* fondamentale per avviare un processo educativo. Nella lezione, attraverso illustrazioni e proiezioni, vengono fornite le informazioni di base per seguire un percorso informativo sui temi archeologici proposti. In seconda battuta, poter toccare materiale archeologico mette i ragazzi a contatto diretto con i documenti e ciò ha lo scopo di stimolare la *capacità dialogica con i saperi esterni*.

I laboratori-incontri attuati permettono di sperimentare le diverse tecniche del passato, essendo dedicati a temi diversi che fanno parte del comportamento quotidiano: la fabbricazione della ceramica (dalla modellazione alla cottura in forni di tipo primitivo), la produzione di strumenti e l'azione figurativa sono stati gli argomenti dell'edizione 2012 ma altri potrebbero essere proposti, ad esempio la panificazione secondo le tecniche preistoriche, la fabbricazione degli ornamenti, gli strumenti musicali. In queste attività di laboratorio la memoria ha la valenza di *gesto rinnovato* e di *azione consapevole*.

Oltre ai laboratori-seminari per le scuole di primo e secondo grado è stata organizzata la partecipazione delle scuole ad un importante convegno di Archeometria. Tutti gli eventi hanno assunto la valenza di integrazione alla proposta formativa offerta dalle scuole e hanno stimolato i ragazzi anche ad una riflessione di metodo relativa alle regole del ragionamento scientifico e all'uso delle moderne tecnologie nella ricerca preistorica.

Tutti gli incontri sono stati impostati in modo da far emergere l'organizzazione interdisciplinare della ricerca scientifica in ambito preistorico.

### **Incontro “Il più antico popolamento dell'Europa”**

Oggi noi, *sapiens*, siamo i soli abitanti dell'Europa ma in un passato non troppo lontano queste terre erano popolate da individui diversi da noi che ci hanno lasciato tracce dirette e indirette del loro passaggio. Numerosi ritrovamenti sembrano indicare l'arrivo di ominidi già da oltre un milione di anni fa in Europa, un continente che è stato abitato nella preistoria da genti diverse, portatrici ognuna di una propria cultura. L'incontro ha trattato i seguenti argomenti: la metodologia della ricerca preistorica, l'Antropologia molecolare, i più antichi resti fossili umani fuori dall'Africa, i caratteri anatomici, le capacità cognitive, l'organizzazione sociale ed economica delle culture europee pre-sapiens, le più antiche evidenze indirette di un linguaggio articolato, le più antiche evidenze rituali-simboliche. Oltre alla proiezione di immagini, i temi sono stati sviluppati ed esemplificati mediante l'analisi diretta di calchi di crani delle varie specie umane e di oggetti della cultura materiale (produzioni litiche).

### **Incontro “La rappresentazione del mondo nella preistoria e l'origine dell'arte”**

Tra i sistemi di comunicazione documentati nella preistoria il linguaggio figurativo, la cosiddetta “arte”, riveste un ruolo particolare. Essa compare in Europa circa 40-35.000 anni fa con l'*Homo sapiens*, il quale è in possesso di un articolato sistema culturale che comprende saperi materiali (lavorazione delle rocce e delle materie dure animali), saperi immateriali (ideologia funeraria, pratiche figurative, simbologie) e una padronanza completa del linguaggio articolato.

La sede del Museo Fiorentino di Preistoria è risultata particolarmente idonea questa trattazione in quanto lì sono conservati ed esposti documenti (in originale e in copia) relativi alla cultura figurativa paleolitica. L'attività pratica laboratoriale ha permesso agli studenti di applicare le tecniche figurative preistoriche producendo singolarmente delle opere utilizzando le medesime materie prime impiegate nel Paleolitico.

### **Incontro “La prima ceramica: dall'argilla al vaso nella preistoria”**

Tra il X e il V millennio a. C. il mondo mediterraneo e l'Europa continentale vivono un periodo di grandi cambiamenti. L'uomo, con la “rivoluzione neolitica”, da cacciatore-raccoglitore nomade diviene un pastore e un agricoltore sedentario, compaiono nuovi ruoli sociali, nuove attività economiche, nuovi animali e nuove piante, nuove tecniche di lavorazione della pietra per produrre nuovi strumenti e la lavorazione di nuove materie prime. Tra queste l'argilla, che viene lavorata e cotta per produrre nuovi recipienti indispensabili e insostituibili per contenere e conservare i cereali ed in genere tutti i prodotti alimentari, compresi i liquidi, per cuocere i cibi o far bollire certi alimenti, e infine per mangiare e bere. L'incontro è stato impostato soprattutto in termini operativi e gli studenti hanno sperimentato e simulato le varie tecniche utilizzate dai figli preistorici. La parte operativa dell'incontro è stata preceduta da una trattazione teorica, anche con materiale esplicativo, dei principali temi correlati all'argomento.

### **Incontro "Dai detectives dell'Archeologia, all'Archeologia dei detectives: Antropologia identificativa e Archeologia Forense"**

Il laboratorio deriva dall'idea di una reciproca collaborazione tra scienze investigative e indagine archeologica: le scienze forensi possono infatti offrire affidabili supporti tecnico-scientifici per la ricostruzione storica delle antiche popolazioni e dei loro culti (ad esempio i riti funerari) mentre l'archeologia in quanto scienza della ricerca di tracce ed elementi celati nel sottosuolo può rilevarsi utile ausilio alle indagini sulle persone scomparse. A ciò viene ad affiancarsi, in un ancor più complesso scambio pluridisciplinare, l'Antropologia Forense che si appropria ai resti scheletrici (spesso al centro anche delle indagini archeologiche) per poterli identificare, restituendo loro l'identità. Sono state evidenziate, anche mediante calchi e campioni anatomici, le principali caratteristiche morfologiche usate dagli antropologi forensi per ricostruire il profilo biologico di un individuo (determinazione del sesso e dell'età alla morte) e quelle osteobiografiche che rendono unico lo scheletro di ogni individuo e ne narrano abitudini e stile di vita. Oltre alla disamina delle tecniche per la ricerca delle persone scomparse, sono stati illustrati i metodi per l'esaltazione delle impronte digitali e degli indizi presenti nel contesto esaminato. Non sono stati trascurati gli aspetti etici della sinergia tra archeologia e scienze forensi. Infine gli studenti sono poi stati guidati virtualmente all'interno di una vera scena di 5.000 anni fa, la morte di Iceman.

### **Convegno "I materiali lapidei: problemi di diagnostica e conservazione", Firenze 16 Novembre 2012, presso il Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria "Paolo Graziosi"**

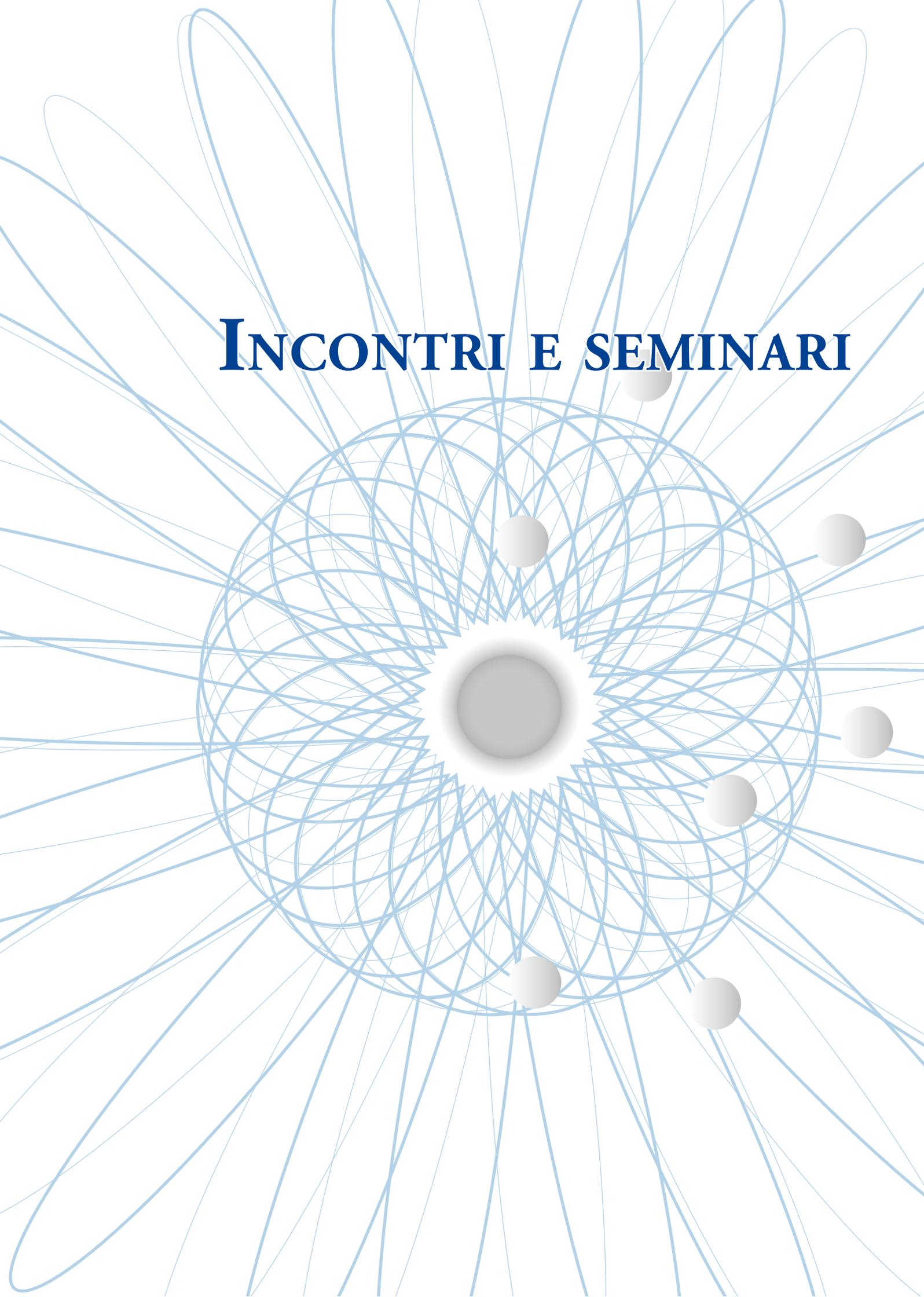
Il Convegno, già ideato nell'ambito delle attività scientifiche del Museo, è stato aperto alle scuole medie superiori al fine di avvicinare l'utenza scolastica pre-universitaria ad alcune tematiche specifiche che concernono la gestione dei Beni culturali e, più nello specifico, quelli archeologici.

Le comunicazioni hanno illustrato lo stato delle conoscenze in alcuni dei principali settori della conservazione dei materiali lapidei: le attuali metodiche utili alla definizione dello stato di conservazione dei marmi antichi e alla verifica dell'efficacia degli interventi conservativi; le indagini sulle alterazioni cromatiche delle selci della collezione del Museo di Verona (le cosiddette "selci blu" oggetto di attenzione degli studiosi dei manufatti lapidei, ma anche mediatica, nei mesi immediatamente precedenti alla giornata di studi); le tecniche utilizzate per le scialbature colorate applicate ai palazzi storici della città di Siena; la conservazione delle tombe etrusche dipinte nell'ottica di stabilire tempi e condizioni per la loro apertura al pubblico; metodi e risultati delle indagini sullo stato di conservazione delle strutture lapidee nei paesi extraeuropei.

I numerosi poster presentati nella seconda parte della giornata hanno permesso ai partecipanti al convegno di avere un quadro generale dello stato dell'arte degli studi che si stanno svolgendo nel campo della conservazione dei materiali lapidei. Significativa è stata la disponibilità alla diffusione delle problematiche anche presso le scuole medie superiori, come attività di informazione alla futura utenza universitaria.



# INCONTRI E SEMINARI





## SCIENZA, MITO, LETTERATURA E FUMETTI<sup>1</sup>

ALBERTO BECATTINI

*Liceo scientifico Niccolò Copernico di Prato*

MARCO CIARDI

*Università di Bologna*

GIACOMO SCARPELLI

*Università di Modena e Reggio Emilia*

### 1. Un confine inesistente (*Marco Ciardi*)

Esiste davvero una frattura fra la cultura umanistica e la cultura scientifica, oppure questa presunta divisione dipende soltanto dal nostro modo di porci davanti a tale questione? E se questi due mondi, apparentemente così distanti fra loro, fossero più legati di quanto in genere siamo soliti pensare? Proprio Galileo, uno dei fondatori della scienza moderna (di cui definì con precisione regole e metodo di ricerca), amava moltissimo i classici e gli autori del suo tempo, e fu proprio grazie alla sua passione per la letteratura, la poesia e l'arte che riuscì a sviluppare quella capacità di immaginazione che poi gli sarebbe stata utilissima per compiere una straordinaria rivoluzione in campo astronomico. «Solitamente, quando si parla d'immaginazione o di fantasia», ha scritto il celebre pedagogista L. S. Vygotskij, in un testo dedicato all'analisi della creatività infantile, si pensa a «tutto ciò che è irreali, che non s'accorda con la realtà delle cose». Ma la verità è un'altra; perché l'immaginazione «si manifesta in tutti – senza eccezione – gli aspetti della vita culturale, rendendo possibile la creatività artistica, scientifica e tecnica». Per questo motivo «l'immaginazione in genere, è necessaria a pari titolo nell'arte e nella scienza. Se non ci fosse stata questa facoltà l'umanità non avrebbe potuto creare l'astronomia, la geologia, la fisica» [15].

Quanto “ingegno scientifico” e spirito dell'infanzia” siano strettamente legati fra loro sarà analizzato e spiegato nel dettaglio da Giacomo Scarpelli. A noi preme, invece, fin da ora, ricordare come uno degli obiettivi dell'impresa scientifica dovrebbe essere quello di stimolare la ricerca, attraverso lo sviluppo dell'immaginazione e della fantasia. Spesso, invece, l'insegnamento scolastico delle varie discipline, soprattutto nell'ambito

---

<sup>1</sup> Il 21 marzo 2013, presso l'Aula Magna dell'Università di Siena, si è svolto l'incontro sul tema “Scienza, mito, letteratura e fumetti”, promosso e organizzato da Pianeta Galileo 2012/13. L'articolo riporta il contenuto degli interventi dei tre relatori.

della scuola secondaria superiore, tende a paralizzare le capacità creative degli studenti, perché le questioni fondamentali sono presentate in maniera estremamente asettica e tecnicistica, raramente accompagnate da una spiegazione che permetta di capire i motivi e le cause della loro origine da un punto di vista storico. La conoscenza della storia del pensiero scientifico potrebbe contribuire a creare un progetto educativo corretto, restituendo alla scienza il suo vero significato culturale: infatti, mostrerebbe come la scienza non sia soltanto un insieme ripetitivo di schemi e procedimenti non modificabili, ma consista anche (o soprattutto) in ricerca ed invenzione. La separazione della scienza dal suo racconto storico genera invece effetti dannosi e spesso non rimediabili. Tagliando alla radice i suoi legami con la storia, la scienza ha creato una barriera (che tuttavia è inesistente) fra sé ed il mondo umanistico. Dunque sarebbe necessario recuperare, nell'ambito dell'esposizione della scienza, i suoi evidenti contenuti filosofici e culturali, e sottolineare che la formazione di ogni scienziato (e, a maggior ragione, di ogni grande scienziato) non è mai strettamente tecnica; essa infatti ha un grande debito con lo sviluppo della capacità di immaginazione, spesso proveniente dall'aver coltivato (anche assiduamente) interessi in altri campi, quali l'arte, la poesia e la letteratura. Come ha scritto Primo Levi, «la distinzione tra arte, filosofia, scienza 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 di oggi, né i fisici esitanti sull'orlo del conoscibile».[1]

Tra le varie forme di letteratura (dalla mitologia alla fantascienza) che hanno intrattenuto e intrattengono uno stretto rapporto con il mondo della scienza (dalla fisica all'archeologia) un punto di primo piano va indubbiamente riservato a una delle grandi forme d'arte dei nostri tempi, la letteratura a fumetti. Anche i rapporti tra *comics* e scienza possono essere inquadrati e studiati all'interno di una casistica generale riguardante i rapporti fra scienza e letteratura, e che ho cercato di precisare qualche anno or sono, occupandomi dell'attività scientifica di Xavier de Maistre, noto al grande pubblico per i suoi contributi letterari e, in particolare, per la pubblicazione del celeberrimo *Voyage autour de ma chambre*, edito nel 1795:

- a. scienziati che forniscono specifici contributi letterari. In questo caso il pensiero va subito agli autori di fantascienza, fra i quali Isaac Asimov rappresenta uno dei punti di riferimento per eccellenza. Oppure ai capolavori del 'chimico' Primo Levi.
- b. opere scientifiche contenenti riferimenti letterari o, più in generale, ispirate o determinate dalla produzione letteraria; oppure opere scientifiche considerate anche come opere di alto valore letterario; fra queste non si può fare a meno di citare il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) di Galileo Galilei, il quale è infatti anche considerato uno dei più grandi scrittori italiani del Seicento. Secondo Giacomo Leopardi, la prosa di Galileo rappresentava una mirabile sintesi di lingua e di stile.

- c. Letterati che parlano di scienza nelle loro opere, oppure, produzioni letterarie sensibilmente influenzate dalla ricerca scientifica e dai mutamenti che in essa avvengono. Per un caso esemplificativo, si può fare riferimento alla storia del mito di Atlantide [3].
- d. Letterati che si sono attivamente impegnati in ricerche o disquisizioni di natura scientifica. Non è affatto sorprendente o inusuale incontrare riconosciuti scrittori e poeti, citati in tutte le storie della letteratura, impegnarsi attivamente nel campo della ricerca scientifica. Oltre al già citato caso di Xavier de Maistre, non può non essere menzionato, ancora una volta, il nome di Giacomo Leopardi, la cui formazione intellettuale fu in larga misura anche scientifica, come è ben evidenziato, oltre che dalla sua biografia, anche da tutta la sua produzione letteraria, a partire da quella giovanile.

Naturalmente va precisato che la casistica sopra riportata può essere facilmente comprensibile soltanto se riferita alla distinzione contemporanea che di fatto si è venuta a creare fra le professioni di scienziato e letterato; ma assai più difficile risulta la sua determinazione almeno fino alla metà del XIX secolo, fino a quando, cioè, non si cominciò ad utilizzare la parola scienziato in riferimento ad una specifica attività istituzionalmente riconosciuta. Non a caso, il termine *scientist* venne utilizzato per la prima volta da William Whewell durante una riunione della British Association for the Advancement of Science soltanto nel 1833, e la sua accettazione non fu per niente scontata. Solo nel corso della prima metà dell'Ottocento la scienza divenne un'attività professionale ben definita e autonoma, anche sotto il profilo economico. Tuttavia, per quanto riguarda il caso della letteratura a fumetti, la sua nascita e il suo sviluppo si collocano in un periodo in cui la separazione professionale fra attività letteraria e attività scientifica è ormai ampiamente definita e consumata. Infatti, nonostante abbia radici antiche e illustri, il fumetto così come lo conosciamo è nato nel corso dell'Ottocento. Alcuni studiosi tendono oggi ad attribuire l'invenzione del fumetto moderno allo scrittore e illustratore ginevrino Rodolphe Töpffer, dal 1832 professore di Letteratura all'Università di Ginevra, ma non c'è dubbio che i primi grandi personaggi della storia del fumetto così come oggi lo conosciamo (Yellow Kid, Bibì e Bibò, Little Nemo, ecc.), comparvero negli Stati Uniti tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento. Fu in quel momento che i quotidiani moderni conobbero i primi grandi successi di vendita e il nuovo genere letterario conquistò anche il pubblico più maturo. Assieme al cinema, il fumetto ha rappresentato una delle più straordinarie innovazioni nel campo della comunicazione culturale dell'età contemporanea.

La fine degli anni Venti vide l'avvento dei grandi fumetti di avventura. Oltre a Tarzan, disegnato da Burne Hogarth, nacquero Cino e Franco (Tim Tyler e Spud Slavins nell'originale americano) e Buck Rogers, il primo eroe della fantascienza. Il decennio successivo coincise quindi con la cosiddetta «epoca d'oro del fumetto»: vennero creati Mandrake, Flash Gordon, l'Uomo Mascherato (The Phantom) e molti altri.

Topolino, presentato nel 1928 come primo cartone animato sonoro, fece la sua apparizione a fumetti nel 1930. Sarà Alberto Becattini, uno dei massimi esperti del settore, a illustrarci alcune delle molteplici interazioni e influenze fra letteratura a fumetti, mito e scienza nel fantastico universo della letteratura Disney.

## **2. Ingegno scientifico e spirito dell'infanzia (Giacomo Scarpelli)**

È opinione comune che nell'*enfant prodige* sia viva e operante la fiamma del genio adulto. Ma a nostro avviso si tratta di ribaltare la prospettiva e di chiedersi se nell'uomo provvisto di talento scientifico non continui invece ad ardere il fuoco della creatività infantile. In altre parole, il vero bambino sapiente non sarebbe il bambino-prodigio, bensì lo scienziato-bambino. Il quale in sostanza è mosso dagli stessi stimoli creativi dell'infanzia.

Si potrebbe riferire della passione di Einstein per i costumi da capo indiano e per la sua propensione a evitare con il sotterfugio e con lo sberleffo le cerimonie ufficiali (ai suoi occhi emblemi dell'autorità degli adulti), così come a escogitare burle a scapito dei colleghi, tra cui Niels Bohr, anch'egli premio Nobel per la Fisica. E si potrebbe raccontare della vocazione di Bohr stesso per i cavallini pony e le trombette, e dell'indole di un terzo Nobel, Richard Feynman, il quale non perdeva occasione per mascherarsi da danzatore polinesiano e suonatore di tam-tam, o a improvvisarsi scassinatore della casaforte dove erano custoditi i progetti della bomba atomica, cui lui medesimo lavorava, nell'ambito del Progetto Manhattan [7, 11, 12]. Quanto ci preme non è l'aneddotica, bensì provare a verificare il peso effettivo nella personalità del genio scientifico di alcune impronte caratteriali e guizzi infantili. Ai quali noi aderiamo sempre volentieri, forse perché muovono e amplificano quel residuo di bambino ancora sepolto in ciascuno di noi, e forse anche perché l'irriverenza ludica riveste una funzione di affrancamento dalle costrizioni sociali, analogamente a quella del "motto di spirito" studiato da Freud.

Proprio Freud fu il primo a individuare l'accordo esistente tra le forme più celebrate del genio e gli psicocomportamenti del bambino. Il 28 maggio 1899 scriveva all'amico Wilhelm Fliess: "Ho comperato *La scoperta di Troia* di Schliemann, e mi ha fatto grande piacere leggere il resoconto della sua infanzia. Costui ha trovato la felicità con il tesoro di Priamo, poiché la felicità deriva soltanto dal soddisfacimento di un desiderio infantile" [5, p. 391]. Einstein avrebbe certamente sottoscritto, convinto com'era che lo studio e la ricerca della verità rappresentassero un ambito in cui era consentito "restare bambini per tutta la vita" [4, p. 77].

Jean-François Champollion decise a undici anni che avrebbe decifrato i geroglifici egizi. Michael Ventris era appena più grandicello quando, dopo aver ascoltato una conferenza sull'antica civiltà cretese, decise che ne avrebbe decrittato la scrittura (Lineare B). Nietzsche a tredici anni aveva stabilito di indagare la sostanza del Male; in seguito aveva raccomandato di mettere in ciò che si fa lo stesso impegno e la stessa serietà che pone nel gioco il bambino. Cosa accomuna dunque quest'ultimo e l'adulto geniale? Lo stupore per il mondo e il desiderio di spingersi oltre l'osservazione e la descrizione, fino

ad appropriarsi di ciò che si va svelando. Nel *Teeteto* (155d) Patone affermò infatti che l'essere colmo di meraviglia è proprio del filosofo e che "il filosofare non ha altro inizio che questo".

La pratica della scienza e della conoscenza costituirebbero insomma il gioco dei giochi, per svolgere il quale occorre conservare la curiosità nell'accezione più nobile e ampia, una curiosità fatta di prontezza e candore, impegno e leggerezza, immaginazione e ottimismo. Gli episodi a riguardo non mancano.

Alfred R. Wallace, il co-ideatore della teoria della selezione naturale, scrisse che in Darwin "la curiosità del bambino sembra non aver perduto nulla della sua forza". E un altro grande evoluzionista, Thomas H. Huxley, fece eco, asserendo che l'autore dell'*Origine delle specie* era l'esempio più genuino di scienziato in grado di affrontare e risolvere problemi cruciali in virtù di una mai perduta vena d'ingenuità infantile, che lo poneva davanti alla natura nella medesima umile e fruttuosa disposizione d'animo di Cenerentola verso principi e regge [9, I, p. 235]. Autorevoli storici della biologia si sono divertiti a loro volta a ritrarre Darwin come un "bambino troppo cresciuto" – definizione questa già adoperata per lui dalla moglie Emma [10]. L'immagine che emerge è quella di un Darwin metodico e tenace, che fece strumento della propria libertà intellettuale una *naïveté* che era espressione della meraviglia e del mai appagato bisogno di scoprire che accomunavano il bambino al filosofo. "Era sempre presente in lui un candore stupefacente e al tempo stesso infantile e profondamente ostinato": lo disse di Einstein J. Robert Oppenheimer, ma calzerebbe perfettamente anche per Darwin.

Se dunque s'impone la necessità di conservare l'originaria propensione al gioco come indagine, intesa cioè quale mezzo a disposizione del cucciolo che si prepara alla vita apprendendo e sperimentando, che cosa sarebbe accaduto se i geni, spesso non privi di magagne mentali, avessero subito terapie di tipo psicologico? Einstein a un allievo di Freud che si era offerto di esaminarlo rispose che seppure con rinascimento, non poteva acconsentire, e che preferiva rimanere nell'ignoranza di chi non è stato psicanalizzato. Era consapevole che diversamente avrebbe corso il rischio di diventare un cittadino più rispettoso ma meno creativo.

Freud in persona, tuttavia, l'analisi di un genio si provò a effettuarla, e saggiamente di uno del tempo che fu, che non avrebbe risentito dello scombussolamento eventualmente arrecato alla sua interiorità: Leonardo da Vinci, il quale rimase tutta la vita un temperamento sostanzialmente fanciullesco [6]. Oltre ai grandi giocattoli scientifici per i quali lo celebriamo, Leonardo inventò e costruì altri ingegnossissimi trastulli, tra cui animaletti plasmati con la cera, in grado di librarsi nell'aria al minimo alito di vento. Erano oggetti che procuravano al suo creatore un piacere intimo, allo stesso modo di quelle lettere (rinvenute tra i manoscritti milanesi) a fantomatici vassalli di sultani babilonesi, contenenti resoconti di pellegrinaggi in Oriente. Un epistolario che ha fuorviato per decenni i biografi e che al dunque si è rivelato parto della fantasia di Leonardo, in cui egli dava sfogo al suo desiderio bambinesco d'avventura e di esplorare contrade lontane e misteriose.

L'analisi svolta da Freud suggerisce una considerazione su come l'energia immaginativa infantile possa avere un ruolo anticipatore anche nella forma più concreta della scienza, la tecnologia. In quest'ambito persino il cinema, la letteratura per ragazzi e il fumetto hanno dato il loro significativo e inatteso contributo. È risaputa l'affermazione di Steven Spielberg secondo cui ha voluto realizzare i film che gli sarebbe piaciuto vedere da piccolo. Ma pochi sanno che i progressi nell'investigazione all'interno della Grande Piramide di Cheope, compiuti da Gilles Dormion e da Jean-Patrice Godin, si devono alla brama per i segreti dell'archeologia egizia suscitata in costoro dalla lettura di un'avventura a fumetti del belga Edgar Jacobs, e che aveva per protagonisti gli esploratori Capitano Blake e Professor Mortimer. Ancor meno noto che un certo evoluto cellulare da polso messo sul mercato un paio d'anni fa, è la tardiva realizzazione commerciale della videoricetrasmittente da polso in dotazione al detective di carta Dick Tracy, creato da Chester Gould negli anni Trenta; e che il *Vash*, il più piccolo sottomarino del mondo, dalle forme di cetaceo, con pinne e sfiatatoi, costruito da Rowe e Kaiser in USA nel 1994, è la copia pressoché identica di quello concepito dall'eccentrico e svagato compagno d'avventure di Tintin, il professor Girasole, in una storia disegnata da Hergé nel 1942. Merita infine di riferire che Wernher von Braun, il padre dei progetti spaziali americani, aveva ispirato i suoi missili a quelle delle pellicole mute di Méliès (a loro volta tratte dalle storie futuribili di Verne), cui aveva assistito nella nativa Prussia quando portava i calzoncini corti.

Conclusivamente, rivolgiamoci al Robert Louis Stevenson autore de *L'Isola del Tesoro*, un romanzo che ha dischiuso le menti di generazioni e generazioni di ragazzi e che si è prestato a numerosissime versioni cinematografiche e a fumetti (anche chi scrive ha compiuto una rivisitazione ironica del romanzo [13]). Ebbene, questo scrittore – che Pietro Citati ha definito impareggiabile nell'insegnare l'arte di diventare maturi, lui che era rimasto fondamentalmente un ragazzo – ci ha lasciato una verità illuminante e definitiva: “Una predisposizione alla curiosità di oggi diverrà il sostrato della scienza di domani. Poiché dalla mente di un bambino si può pescare più storia e filosofia che in tutti i volumi stampati di una biblioteca” [14, p. 382].

### **3. Il fumetto disneyano tra mito, leggenda e realtà (Alberto Becattini)**

#### **3.1 Il mondo cavo**

A partire dal XVII secolo, diversi studiosi cominciano a teorizzare che il nostro pianeta sia cavo al proprio interno e che contenga superfici abitate o abitabili [8]. Il primo è Edmund Halley, che nel 1692 propone l'idea che la Terra sia formata da un guscio esterno spesso 800 km, da due gusci interni concentrici e da un nocciolo. Nel 1818 lo statunitense John Cleves Symmes Jr. avanza l'ipotesi che il guscio terrestre sia cavo e spesso 1300 km. Nel 1908 Willis George Emerson riporta la storia riferitagli dal pescatore norvegese Olaf Jansen, che insieme al padre afferma di aver raggiunto il mondo sotterraneo e visitato le città del mitico regno di Agarthi (o Agartha). Il cuore del regno,

con capitale Shamballah, sarebbe situato sotto l'Asia centrale, si estenderebbe "per vie sotterranee nel mondo intero [...] fino alle caverne dell'America."

In ambito disneyano, è letteralmente affascinato dalla teoria del mondo cavo Bill Walsh, che dal 1943 sceneggia le strisce quotidiane di *Mickey Mouse* disegnate da Floyd Gottfredson. Nella strip del 26 settembre 1947, Topolino, caduto in una grotta, incontra uno strano ometto dalla testa ellittica che gli mostra poi un orologio con data 3 ottobre 2447, 500 anni nel futuro. Proviene dunque dai meandri della Terra, dove il tempo scorre in modo diverso rispetto alla superficie. L'ometto viene denominato Eega Beeva (Eta Beta), perché all'inizio "eega" è l'unica parola che dice e perché il suo vero nome è troppo complicato. Resterà al fianco del Topo per circa tre anni, mostrando anche di possedere strani poteri. L'11 luglio 1950, tuttavia, se ne tornerà alla sua dimora sotterranea, desideroso di rivedere i suoi cari.

Tra gli scrittori affascinati dalla teoria del Mondo Cavo c'è il francese Jules Verne, che nel 1864 scrive il romanzo *Voyage au centre de la Terre* (*Viaggio al centro della Terra*), nel quale alcuni impavidi, guidati dal professor Otto Lidenbrock, seguono le indicazioni di una antica pergamena per per raggiungere il centro della Terra attraverso un vulcano, lo Snæffels in Islanda. Nel 1954, ancora Walsh e Gottfredson danno una loro particolare versione del viaggio al centro della Terra in *Topolino e il terraplano*. Earthplane è infatti il nome della macchina che il Topo e il piccolo Wing Ding usano per giungere nel regno di Concavia, dove Topolino viene eletto re e vive una serie di disavventure.

Il Terraplano sembra ispirarsi direttamente alla gigantesca macchina-talpa usata dal professor Abner Perry e dal giovane David Innes per raggiungere il centro della Terra nel romanzo *At the Earth's Core* (1914) di Edgar Rice Burroughs. Il mondo sotterraneo scoperto dai due scienziati è chiamato Pellucidar ed è abitato da pterodattili senzienti, uomini-gorilla e altri strani esseri. Il romanzo apre un ciclo del quale fa parte anche *Tarzan at the Earth's Core* (1929).

Tornando al romanzo di Verne, i viaggiatori arrivano infine in una enorme "caverna" al centro della Terra, trovandosi dinanzi a un vero e proprio mare sotterraneo, splendidamente raffigurato nel film del 1959 diretto da Henry Levin. Nella storia di Topolino troviamo invece un fiume sotterraneo che scorre verso l'alto, e grazie al quale il protagonista riuscirà a tornare in superficie, letteralmente sputato fuori da un geysir. Nel film di Levin, Lidenbrock e compagni risalgono le cavità terrestri attraverso un condotto del magma a bordo di un antico braciere, per poi essere espulsi attraverso la bocca del vulcano Stromboli.

### **3.2. Barks nell'antico Egitto**

L'autore disneyano maggiormente affascinato da miti e leggende è senza dubbio l'americano Carl Barks (1901-1999), che dal 1942 al 1966 disegna e sceneggia per gli albi a fumetti oltre 500 storie con i Paperi. Nel settembre 1943 viene pubblicata *Donald Duck and the Mummy's Ring* (*Paperino e l'anello della mummia*). In questo caso Barks è ispirato dal film di Karl Freund *The Mummy* (*La mummia*, 1932), un classico del

cinema horror nel quale Boris Karloff impersona Im-Ho-Tep, alto sacerdote egiziano vecchio di 3700 anni, resuscitato da una spedizione archeologica. Più importante, soprattutto dal punto di vista grafico, è tuttavia l'influenza del *National Geographic Magazine*. “Per la maggior parte delle ambientazioni e delle idee per la trama”, ricorderà Barks, “mi ispirai alle illustrazioni nel *Geographic*, pensando che quelli erano i luoghi che mi sarebbe piaciuto disegnare, con tutte quelle imbarcazioni, gli antichi templi e le piramidi. Così inventai una storia nella quale avrei avuto l'occasione di ritrarre quei magnifici sfondi.”

In particolare, nel rappresentare i luoghi leggendari che fanno da cornice all'avventura vissuta da Paperino e i Nipotini, Barks si rifà alle belle foto di B. Anthony Stewart pubblicate sul *Geographic* a corredo di un articolo nell'aprile 1940. Si pensi al quartiere orientale del Cairo, alla piramide di Maidum, o ai colossi di Memnon. Su un altro numero della rivista (quello dell'ottobre 1941), Barks trova poi l'articolo *Life, Culture and History of the Egyptians* (“Vita, cultura e storia degli Egiziani”), splendidamente illustrato da H. M. Herget. Proprio ai dipinti di Herget Barks attinge per quanto concerne il palazzo del Bey di El Dagga, ritratto nell'ultima parte della storia. Barks si rifà al tempio di Hat-shepsut, che peraltro sposta dall'entroterra sulla riva del fiume. Alle illustrazioni di Herget Barks attinge pure per i sarcofagi, i paramenti dei sacerdoti e gli arredi all'interno del palazzo.

### 3.3. Barks e il vello d'oro

Tra i miti che ispirano Barks per una delle sue più belle storie c'è quello di Giasone e del vello d'oro. Divenuto adulto, Giasone, figlio del re di Iolco, reclama il potere sul suo paese, che l'usurpatore Pelia si impegna a restituirgli dopo che gli avrà portato il vello d'oro consacrato ad Ares e custodito nella Colchide da un drago. Giasone chiede l'aiuto di Argo, il quale costruisce con l'aiuto della dea Atena la nave Argo, cioè “Veloce”. Quando finalmente Giasone e i suoi compagni raggiungono la Colchide, il re Eete subordina la consegna del vello alla condizione che Giasone riesca a domare due tori dagli zoccoli di bronzo, che soffiano fuoco dalle narici e compia ulteriori gesta sovrumane. Grazie ai sortilegi di Medea, figlia del re, che si innamora di Giasone, questi supera le diverse prove, riesce a far addormentare il terribile drago e fugge con Medea e con il vello. Dopo un avventuroso viaggio di quattro mesi, l'Argo approda finalmente a Iolco. Giasone porta poi la nave a Corinto consacrandola a Poseidone e, consegnato il vello a Pelia, ottiene il regno.

Nel dicembre 1955 viene pubblicata negli USA *Zio Paperone e il Vello d'Oro* il cui titolo originale (*The Golden Fleecing*) gioca su “fleece” (vello) e “fleecing” (fregatura). La storia fonde atmosfere dalle tinte fosche con situazioni surreali da commedia. Convinto che un paperone come lui “dovrebbe avere un abito d'oro per vestire in modo adeguato alle proprie possibilità”, Zio Paperone parte infatti verso la Colchide alla ricerca del vello d'oro, su una replica della nave Argo, messaggi a disposizione da quelli che sembrano dei mercanti arabi ma che si riveleranno invece essere arpie.

Nella mitologia greca, le arpie (ovvero, “le rapitrici”) sono creature mostruose, con viso di donna e corpo d’uccello. Sono citate, tra l’altro, nell’*Odissea* di Omero, nell’*Eneide* di Virgilio, e nel Canto XIII dell’Inferno dantesco, dove rompono i rami e mangiano le foglie degli alberi al cui interno si trovano le anime dei suicidi. Nella leggenda del vello d’oro, Giasone uccide le Arpie che ogni giorno rubavano il cibo a Fineo, re della Tracia. Le arpie di Barks sono invece patite di cucina, e costringono Paperone ad assaggiare piatti disgustosi come il *parsnip pudding* (assa fetida). Tra l’altro, su indicazione dei direttori editoriali, Barks deve cambiare il termine “harpies” in “larkies” (allodolette o mattacchione). Neutralizzate le arpie con l’aiuto dei nipotini, Paperone si impadronisce infine del vello d’oro. Come accade nella leggenda, a custodire il vello c’è un drago, che viene qui addormentato dai nipotini, i quali gli coprono gli occhi con della lana.

### 3.4. Paperino, Scarpa e il Colosso del Nilo

Considerato la più grande opera di Ramses II, il tempio rupestre di Abu Simbel, risalente al 1300 a. C., è una vera meraviglia dell’antichità. Le quattro colossali statue, alte venti metri e interamente scolpite nella roccia, sono un’icona della civiltà egizia. Gravemente danneggiato da un terremoto e sepolto per secoli sotto la sabbia, il tempio rischia di scomparire quando, nel 1954, il presidente egiziano Nasser decreta la costruzione della grande diga di Assuan, la quale prevede la creazione di un enorme lago artificiale. Al grido d’allarme lanciato dall’Unesco, 113 paesi sono pronti ad aiutare l’Egitto con uomini, denaro e tecnologia. Nel 1966, dopo anni di vane congetture, si giunge alla conclusione di smontare pezzo a pezzo il complesso, numerandone i blocchi, per rimontarlo in un luogo sopraelevato che non sarà sommerso dalle acque.

L’idea per salvare il tempio deriva in effetti da una storia Disney, *Paperino e il colosso del Nilo*, realizzata dal maestro veneziano Romano Scarpa e uscita in due episodi su *Topolino* il 2 e il 9 luglio 1961. Zio Paperone è in Egitto a visitare il colosso di Ramses (per semplificare le cose, Scarpa riduce le statue a una sola), credendo che esso poggi su un enorme filone di platino. In cambio del suo sfruttamento, si impegna col governo egiziano a spostare il colosso che è minacciato dalla costruzione della diga di Assuan. A trovare infine la soluzione è Archimede Pitagorico: la statua dovrà essere tagliata in tanti cubi numerati e poi rimontata in una località che non verrà sommersa dalle acque dopo l’attivazione della diga. Paperino si occupa di coordinare i lavori di smontaggio. Gli operai assoldati sono in realtà i membri della Banda Bassotti, che di notte sostituiscono i blocchi originali (ricchi di uranio) con normalissimi blocchi di argilla. Per fortuna Paperino scopre il raggio dei furfanti e l’avventura si conclude nel migliore dei modi. Il colosso è ricostruito, i Bassotti arrestati e la famiglia dei paperi viene premiata dal governo egiziano con una onorificenza. Nella realtà, come Scarpa ricorderà in una intervista, “Verso la fine degli anni Ottanta il governo egiziano ha donato a quello italiano un preziosissimo reperto archeologico per l’aiuto ricevuto nel salvataggio dei

monumenti di Abu Simbel. Bè, il sistema che hanno utilizzato lo hanno appreso dalla mia storia. Io non ho ricevuto nessun ringraziamento personale, ma mi è bastata la soddisfazione” [2].

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] B. Arpaia, *Non due ma mille culture*, in «Il Sole-24 ore», 10 luglio 2011, p. 33.
- [2] A. Becattini, L. Boschi, L. Gori, A. Sani, *R. Scarpa - Un cartoonist italiano tra animazione e fumetti*, Bologna, Alessandro Distribuzioni, 1988.
- [3] M. Ciardi, *Le metamorfosi di Atlantide. Storie scientifiche e immaginarie da Platone a Walt Disney*, Roma, Carocci, 2011.
- [4] A. Einstein, *Il lato umano* (1979) Torino, Einaudi 1980.
- [5] S. Freud, *Briefe an Wilhelm Fliess 1887-1904* (1986), Torino, Bollati Boringhieri 1990.
- [6] S. Freud, *Un ricordo d'infanzia di Leonardo da Vinci* (1910) in *Opere*, Torino, Bollati Boringhieri 1989, VI, pp. 213-284.
- [7] J. Gleick, *Genio. La vita e la scienza di Richard Feynman* (1992) Milano, Garzanti, 1994.
- [8] J. Godwin, *Il mito polare. L'archetipo dei Poli nella scienza, nel simbolismo e nell'occultismo* (1993), Roma, Edizioni Mediterranee, 2001.
- [9] L. Huxley (a cura di), *The Life and Letters of Thomas Henry Huxley*, London, Macmillan 1900.
- [10] A. La Vergata, *Images of Darwin*, in *The Darwinian Heritage*, a cura di D. Kohn, Princeton, Princeton University Press 1983, pp. 901-1099.
- [11] A. Pais, 'Sottile è il Signore...' *La scienza e la vita di Albert Einstein* (1982), Torino, Boringhieri 1986.
- [12] A. Pais, *Il danese tranquillo* (1991), Torino, Bollati Boringhieri, 1993.
- [13] F. e G. Scarpelli, *Estella e Jim nella meravigliosa Isola del Tesoro*, illustrazioni di Furio Scarpelli, Roma, Gallucci 2012.
- [14] R.L. Stevenson, *Random Memories: Rosa quo Loquorum* (1896), in *The Works of Robert Louis Stevenson*, London, Chatto & Windus, XV, 1907.
- [15] L. S. Vigotskij, *Immaginazione e creatività nell'età infantile*, Roma, Editori Riuniti, 1972.



## STEPHEN J. GOULD A DIECI ANNI DALLA SCOMPARSA

BRUNELLA DANESI

*redazione di* Naturalmente. Fatti e trame della Scienza

ANNA MARIA ROSSI

*Università di Pisa*

Nell'ambito di Pianeta Galileo 2012, è stata organizzata un'iniziativa articolata dedicata a Stephen J. Gould, scomparso prematuramente nel 2002, per celebrare anche il 25ennale della rivista *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza*.

L'intenzione era quella di ricordare la figura e l'opera del noto paleontologo americano del Museo di Zoologia Comparata dell'Università di Harvard che è stato un eminente storico della scienza e biologo evolucionista. Gould ha dato uno dei principali contributi scientifici e filosofici all'odierna visione del processo dell'evoluzione dei viventi, contributi che hanno aperto la strada a numerosi e fecondi programmi di ricerca, sia sul piano teorico che sperimentale. Si deve principalmente a lui l'introduzione di concetti innovativi che, negli ultimi decenni, hanno dato alla teoria di Darwin maggior vigore e capacità esplicativa su diversi aspetti: i modi e i tempi delle speciazioni (a volte graduali, a volte punteggiate); la molteplicità delle unità e dei livelli di selezione; il legame stringente tra fattori funzionali e fattori strutturali (i vincoli interni e di sviluppo).

Gould è stato anche il più noto divulgatore scientifico che abbia scritto per il grande pubblico e la sua cospicua produzione è stata tradotta in molte lingue. Ha ricevuto numerosi premi sia per la sua attività scientifica che letteraria che gli hanno procurato una fama mondiale, ma anche stuoli di detrattori e oppositori, che lo hanno contrastato praticamente su ogni aspetto della sua multiforme attività scientifica e socio-politica. Si è battuto con passione contro ogni forma di dogmatismo, contro l'oscurantismo creazionista e contro la sociobiologia, ha aderito ai movimenti per i diritti civili dei neri e alle campagne per la giustizia sociale. È stata instancabile la sua battaglia per sdoganare lo studio della biologia della mente dal determinismo biologico, per delegittimare ogni forma di pseudoscienza e, in particolare, le pretese scientifiche del razzismo e dei suoi artificiosi corollari: la discriminazione, l'oppressione e la sopraffazione delle razze, delle classi e dei sessi.

L'iniziativa si articolava in due eventi: un convegno dal titolo "Stephen Jay Gould a dieci anni dalla scomparsa" che ha avuto luogo il 4 dicembre 2012 dalle 15,30 alle 19,30 presso La Limonaia di Palazzo Ruschi (Pisa), sede dell'Associazione La limonaia-Scien-

za Viva [www.lalimonaia.pisa.it](http://www.lalimonaia.pisa.it) ed era rivolto prevalentemente a insegnanti e a studenti delle ultime classi delle scuole superiori, ma era aperto anche a tutta la cittadinanza; la pubblicazione di un volume dal titolo “Grazie Brontosauo! Per Stephen Jay Gould” edito per i tipi di ETS, Pisa.

Al convegno sono intervenuti Marco Ferraguti, professore di Evoluzione Biologica presso l'Università di Milano, Paolo Francalacci, professore di Genetica presso l'Università di Sassari, David Gianfranco Di Segni, ricercatore presso l'Istituto di Biologia Cellulare del CNR di Roma, e Brunella Danesi della Redazione della Rivista *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza*.

Introduzione e saluti del Prof. Vincenzo Cavasinni a nome del comitato scientifico dell'Associazione La limonaia-Scienza Viva e del Prof. Vincenzo Terreni a nome della redazione di *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza*

### **Gli equilibri punteggiati messi alla prova (Prof. M. Ferraguti)**

L'intervento di Marco Ferraguti ha tracciato lo sviluppo storico della teoria degli equilibri punteggiati, proposta agli inizi degli anni Settanta da Gould ed Eldredge: “La storia dell'evoluzione non è la storia di un dispiegamento lento e solenne, bensì la storia di una serie di equilibri omeostatici, che solo raramente (ma in realtà con una certa frequenza, data la vastità del tempo a disposizione) sono perturbati da eventi di speciazione rapidi ed episodici.”

Le reazioni di molti evoluzionisti di allora furono furibonde e gli autori della teoria furono accusati di superficialità e cialtroneria. Il relatore ha esaminato i dati paleontologici ottenuti a favore e contro la teoria negli anni successivi e ha ricordato l'articolo del 1986 di Gould ed Eldredge in cui era citato Agassiz che aveva sostenuto come le reazioni a ogni nuova teoria attraversano, nel tempo, tre stadi: primo “è tutto sbagliato”, secondo “va contro l'ordine costituito”, e infine, terzo, “l'avevamo già detto noi”, dimostrando come, anche nel caso della teoria degli equilibri punteggiati si sia assistito nel tempo a questa evoluzione.

### **Gli strumenti dell'evoluzionista (Prof. P. Francalacci)**

Paolo Francalacci ha riassunto i punti più importanti che caratterizzano la teoria dell'evoluzione attualmente condivisa. Ha sottolineato i cambiamenti di paradigma che si sono affermati negli ultimi anni anche grazie agli studi di Gould: i piani di organizzazione di tutti gli esseri viventi sono molto antichi e la specie umana è una delle tante specie attualmente viventi, non il fine ultimo dell'evoluzione; il caso è in equilibrio con la necessità, ma si tratta di un equilibrio instabile, soggetto ad un continuo mutamento verso un altro stato di equilibrio, in una direzione non predeterminata. Francalacci ha inoltre parlato degli effetti della mutazione, selezione, flusso genico, selezione naturale e sessuale come motori dell'evoluzione dei viventi.

### **La musica del caso: la teoria dell'evoluzione in una prospettiva religiosa (Prof. David Gianfranco Di Segni)**

David Gianfranco Di Segni ha affrontato il tema delle ragioni per cui tutte le religioni

hanno difficoltà ad accettare la teoria darwiniana. Il motivo più importante è legato alla nozione di caso e di contingenza, che non può essere aggirato ritenendo che Dio ogni tanto dia una spinta qua e una là, perché equivarrebbe a considerare il Creatore alla stregua di un tappa-buchi. Ha poi illustrato un'antica interpretazione rabbinica, risalente a quasi 2000 anni fa, a commento del versetto biblico *e fu sera e fu mattina* (Genesi 1:5), che afferma che c'era una successione di tempi precedente il primo giorno della creazione. Alla domanda di cosa facesse il Santo Benedetto durante questo tempo primordiale, Rabbi Abbahu rispondeva: "Creava mondi e li distruggeva, fino a che creò l'attuale mondo e disse: Questo mi piace, quelli non mi piacevano". Si potrebbe quasi dire che R. Abbahu sostenga che neanche il Creatore sapesse, dando inizio alla creazione, cosa ne sarebbe uscito. In altre parole, non si parla di una creazione pre-ordinata, ma di una sorta di work in progress, con uno sviluppo che è legato anche al caso e alla contingenza

### **Gli insegnamenti di Stephen J. Gould (Prof. B. Danesi)**

Brunella Danesi ha messo in luce l'importanza che gli scritti di Gould potrebbero ancora avere se fossero diffusi nelle scuole secondarie. Il paleontologo era capace di cogliere le profonde connessioni fra scienza, letteratura, arte grafica e leggere le sue pagine fa cogliere la profonda unitarietà della cultura. Ma soprattutto sono importanti i suoi scritti in cui è più evidente il suo impegno contro ogni forma di discriminazione. Danesi ha ricordato la netta presa di posizione di Gould a proposito dei "Magisteri non sovrapposti": è fondamentale che tutti capiscano – e i giovani in particolare – che la teoria dell'evoluzione non è a favore o contro la religione, "perché la natura non è qualcosa che, per le sue proprietà intrinseche, possa offrire conforto o consolazione in termini umani".

Al pubblico del convegno è stato presentato il volume "Grazie Brontosauo! Per Stephen Jay Gould" (ETS, Pisa, 2012) che costituisce un supplemento alla rivista *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza*.<sup>1</sup> Numerosi gli interventi presenti in questo saggio in cui epistemologi, biologi e filosofi hanno ricordato con partecipazione e affetto la figura del grande paleontologo scomparso da dieci anni, i cui insegnamenti hanno lasciato una traccia indelebile in quanti l'hanno letto e amato, non soltanto per la sua figura di scienziato, ma anche per il suo impegno civile.

Due parole sulla rivista *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza*<sup>2</sup> che celebrava il suo venticinquennale e che si è sempre occupata di cultura e didattica delle scienze, comprendendo dalle politiche scolastiche alla proposta di percorsi didattici e di protocolli di laboratorio. Con la consapevolezza dei risvolti culturali e sociali dei proces-

1 Una descrizione del volume si trova al sito <http://www.naturalmentescienza.it/sections/?s=258> e al sito [http://www.naturalmentescienza.it/libri/Grazie%20Brontosauo!\\_demo.pdf](http://www.naturalmentescienza.it/libri/Grazie%20Brontosauo!_demo.pdf) se ne può scaricare un estratto.

2 Si veda al sito <http://www.naturalmentescienza.it/>

si di insegnamento e di apprendimento, *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza* ha concentrato i suoi sforzi sull'approfondimento disciplinare, tenendo conto che esiste un'unità di fondo della cultura e, quindi, mettendo in luce i nessi fra le scienze e quanto convenzionalmente si trova al di fuori: letteratura, storia, filosofia, arte e avendo caro il motto di Lao-Tzu "piuttosto che maledire il buio è meglio accendere una candela".

In *Naturalmente. Fatti e trame della Scienza*, a numerose rubriche fisse su vari temi scientifici si affiancano articoli di storia della scienza, epistemologia, bioetica, interviste a filosofi, scienziati e storici per evidenziare gli intrecci fra storia della scienza e storia delle idee. La visione di fondo della redazione è che la continua verifica e il confronto di tesi diverse sia – o dovrebbe essere – un'abitudine e un'attitudine di qualunque ricercatore, e che una tale attitudine possieda una valenza etica e, in senso lato, politica e dovrebbe promuovere una sensibilità civile per tutto ciò che riguarda la politica culturale nel nostro Paese, dalla scuola, alla ricerca, alla divulgazione scientifica.

## IL SIGNIFICATO EVOLUTIVO DELLE ESTINZIONI DI MASSA<sup>1</sup>

ANNA MARIA ROSSI

*Università di Pisa*

Secondo la teoria dell'evoluzione le specie si avvicendano continuamente, di tanto in tanto ne nasce una nuova che può diffondersi con successo. Ma come nasce una specie? Darwin inizialmente postulava che una nuova specie discendesse da una preesistente che si trasforma in modo lento e graduale, ma questo non sempre avviene. Eventi di vario tipo, per esempio fenomeni migratori, dispersione in nuovi habitat o comparsa di nuove opportunità ecologiche, possono creare le condizioni per la separazione di gruppi che derivano da una stessa popolazione iniziale<sup>2</sup>. Se non avvengono accoppiamenti tra i membri dei due gruppi<sup>3</sup> per la presenza di barriere geografiche, ecologiche o biologiche, la separazione causa un aumento della divergenza tra la popolazione neonata e quella originaria, e ciascuna può continuare a prosperare, se non si estingue per altri fatti. Per esempio, una nuova colonia, in principio di piccole dimensioni, va a insediarsi in un ambiente diverso dove può espandersi e differenziarsi dalla popolazione originaria adattandosi all'attuale nicchia<sup>4</sup>. Si possono così accumulare differenze genetiche con ritmi e modalità diverse fino a che i due gruppi diventano gradualmente incapaci di incrociarsi e di procreare. Saranno diventate due specie diverse. Va detto che può anche avvenire il fenomeno inverso, che gruppi originariamente separati possano fondersi e in questo caso si può avere un effetto omogeneizzante di rimescolamento genetico.

### **Il cambiamento di paradigma**

Agli inizi degli anni '70, due paleontologi americani Stephen J. Gould e Niles Eldredge formularono la teoria degli equilibri punteggiati o intermittenti per spiegare il fatto che nei reperti fossili si osservassero lunghi periodi in cui le forme di una specie restavano sostanzialmente immutate (fase di equilibrio o stasi) e periodi relativamente brevi di intensa diversificazione (picchi intermittenti). La loro teoria suggeriva che il processo

---

1 Questo seminario è stato tenuto il 13/11/2012 presso l'Associazione La Limonaia Scienza Viva, Vicolo del Ruschi, 4, Pisa, ed è stato preceduto dal seminario *L'estinzione dei dinosauri* del Prof. Andrea Milani-Comparetti, dell'Università di Pisa.

2 Ci sono quattro principali modalità di speciazione: allopatrica, peripatrica, parapatrica e simpatrica.

3 L'isolamento riproduttivo ha come effetto l'assenza di rimescolamento genetico.

4 Una ricca variabilità genetica è una caratteristica vantaggiosa per una popolazione e rappresenta il potenziale indispensabile per il cambiamento evolutivo. Infatti, la presenza di molte varianti genetiche consente maggiore flessibilità, capacità di adattamento e di sopravvivenza anche in caso di cambiamenti ambientali.

dell'evoluzione non fosse sempre lento e graduale, ma che ci fossero degli intervalli episodici di cambiamento evolutivo relativamente rapido. [1, 2]

I due paleontologi riesaminarono anche altri aspetti della teoria di Darwin. In particolare, secondo loro, non era necessario che il processo dell'evoluzione proceda gradualmente verso un progressivo aumento di complessità. La concezione, detta gradualismo filetico, si era radicalizzata con i neodarwinisti, intorno agli anni '30, come pure l'idea che mutazione e selezione naturale fossero i principali se non esclusivi motori del meccanismo evolutivo.

### **I caposaldi della teoria di Gould e Eldredge**

il ritmo dell'evoluzione non è uniforme ma intermittente

l'evoluzione non ha un'intrinseca tendenza verso una maggiore complessità, ma sperimenta una serie di soluzioni innovative che possono fallire o avere successo

non sempre sopravvive il più adatto, ma fattori contingenti o locali possono decretare il successo anche di varianti imperfette

ci sono molteplici modalità evolutive, non esclusive ma complementari al binomio mutazione-selezione

### **Micro e macroevoluzione**

Mentre la variabilità genetica, che compare ad ogni generazione per effetto della mutazione, arricchisce la popolazione, la selezione naturale favorisce quegli individui che, grazie a una combinazione di caratteri ereditabili che li rende particolarmente ben adattati ad un dato ambiente, al clima, alle risorse nutritive, alla supremazia sul territorio, hanno una maggiore probabilità di avere successo riproduttivo e, quindi, di lasciare un maggior numero di figli, a cui trasmettere le proprie caratteristiche. Ma se fosse sempre e solo così, come potrebbero estinguersi specie perfettamente adattate?

Se la sopravvivenza di una specie dipendesse solo da quanto i suoi membri sono adattati, le specie più antiche dovrebbero essere quelle più selezionate e quindi a prova di estinzione. In realtà, l'adattamento ha un valore locale e contingente, cioè è relativo ad un certo habitat, e quindi trasformazioni dell'ambiente (per esempio, cambiamenti di temperatura, umidità, vegetazione e fauna) possono sovvertire l'ordine di preferenza del più adatto. La sopravvivenza dipende dalle caratteristiche della specie al momento del cambiamento, perché se essa non dispone di risorse per adottare nuove strategie di sopravvivenza idonee alle mutate condizioni può estinguersi. Nell'ambito della specie gli individui meno specializzati, meno adattati, hanno maggiori probabilità di mettersi in salvo perché quando cambiano le condizioni a contorno, è meglio essere più flessibili<sup>5</sup>. [3]

5 Anche la dimensione della popolazione ha importanti effetti sulla probabilità di successo evolutivo. In una piccola popolazione una variante anche se vantaggiosa potrebbe essere persa per puro effetto

Le modalità della microevoluzione possono essere relativamente lente e graduali, ma cambiamenti più radicali possono cancellare una specie indipendentemente dal suo adattamento, dalla nicchie da essa occupata, dalla sua distribuzione geografica e persino dalla sua abbondanza numerica. In questi casi, in cui si realizza la macroevoluzione, operano forze molto potenti su archi di tempo molto lunghi. Si tratta di fenomeni su larga scala che possono interessare l'intero ecosistema e a volte anche a livello planetario, causati per lo più da eventi accidentali in cui l'instabilità della Terra ha un ruolo di primaria importanza.

### **La vita sulla Terra**

L'origine della vita sulla Terra si colloca a circa 3,5 miliardi di anni fa, dopo un tempo relativamente breve, circa 1 miliardo di anni, dalla formazione della crosta terrestre. Dopo circa 1,5-2 miliardi di anni, comparvero le cellule eucariotiche più complesse e dotate di nucleo, che derivarono dalla cooperazione simbiotica di alcuni procarioti.

Dopo la comparsa dei primi organismi pluricellulari, che si fa risalire a circa 1,2 miliardi di anni fa, una delle tappe più notevoli dell'evoluzione della vita ebbe luogo nel Cambriano, circa 550 milioni di anni fa, quando si ebbe un'esplosione di forme di vita pluricellulari.

Relativamente in fretta dai pesci primitivi si sono evoluti i vertebrati tra i quali anche organismi capaci di lasciare l'ambiente acquatico. Circa 420 milioni di anni fa, animali e piante cominciano a popolare le terre emerse.

La conformazione della crosta terrestre e dell'atmosfera è così precaria che la sua storia è scandita dal susseguirsi di cataclismi. Infatti, la Terra è stata teatro di imponenti sconvolgimenti legati a fenomeni di varia natura:

- geologici, come deriva dei continenti e movimenti orogenetici, terremoti ed eruzioni vulcaniche, cambiamenti delle correnti oceaniche,
- climatici, come glaciazioni e surriscaldamenti globali,
- astronomici, come impatti di asteroidi, passaggi di comete, oscillazioni delle orbite, etc.

Circostanze imprevedibili e fortuite, come quelle che si realizzano in congiunzione con eventi di questa portata, possono essere determinanti per il destino della biosfera, e non sempre saranno favoriti i più dotati ma piuttosto i più fortunati.

### **Le cinque grandi estinzioni di massa**

I fossili raccontano una storia della vita sulla Terra fatta del susseguirsi di tentativi più o meno ben riusciti, di contrazioni e espansioni di popolazioni, ma anche di terribili estinzioni di massa. Non è detto che le forme che si sono estinte fossero meno valide di quelle superstiti.

---

del caso, per esempio se il portatore non trova un partner e non si riproduce. Ma questo evento è più improbabile se la popolazione è di grandi dimensioni.

1. Ordoviciano-Siluriano (circa 450 milioni di anni fa). In pochi milioni di anni si estinse l'85% delle specie allora esistenti
2. Tardo Devoniano (circa 377 milioni di anni fa). In circa tre milioni di anni interessò una percentuale stimata di circa l'82% delle specie viventi.
3. Permiano-Triassico (circa 251 milioni di anni fa). La più catastrofica di tutti i tempi, circa il 96% degli organismi marini e il 70% di quelli terrestri si estinse.
4. Triassico-Giurassico (circa 203 milioni di anni fa). Durante un periodo di 150.000 anni di riscaldamento globale si estinse circa il 76% delle specie viventi.
5. Cretaceo-Terziario (circa 66 milioni di anni fa). In questa estinzione scomparvero circa il 76% di tutte le specie viventi. Sulle terre emerse la più famosa scomparsa è quella dei grossi rettili, principalmente i dinosauri.

I sopravvissuti sono apparentemente scelti a caso tra i rami evolutivi preesistenti. Gli organismi che sfuggono alla catastrofe sono meno incalzati dalla competizione e possono sfruttare le nicchie ecologiche rimaste libere per espandersi e anche per differenziarsi. Alle fasi di spopolamento del pianeta spesso hanno fatto seguito espansioni demografiche ed evolutive delle specie sopravvissute (radiazione adattativa). Per esempio, quando i dinosauri, ben adattati al loro ambiente, non sono sopravvissuti al cataclisma che ha causato un raffreddamento globale, altre specie che erano in grado di andare in letargo hanno avuto maggiori probabilità di sopravvivere. Ma questo non vuol dire che il letargo di per sé sia un adattamento alla nuova situazione, ma eventualmente a quella precedente.

Se l'estinzione di una specie è un fenomeno ordinario, la scomparsa simultanea di una gran parte di generi e specie viventi che caratterizza le estinzioni di massa è straordinaria e viene testimoniata da marcate discontinuità nei reperti stratigrafici su un'ampia scala spaziale fino al livello mondiale corrispondenti a periodi geologicamente brevi di durata variabile (qualche centinaia, migliaia o milione di anni).

### **L'antenato dei vertebrati**

Gli studi paleontologici possono stimare la diffusione e la variazione delle specie presenti, sebbene quasi sempre solo di quelle che lasciano testimonianze fossili. Sfortunatamente queste rappresentano ben poca cosa rispetto alla ricchezza di organismi viventi che vivono in certo luogo in un dato tempo. In genere, i resti degli organismi viventi vanno rapidamente incontro ad un totale disfacimento e la fossilizzazione è un evento raro e fortuito. Prevalentemente si ritrovano strutture, come tronchi o gusci, eso- e endoscheletri, ecc. che in particolari condizioni si mineralizzano, cioè la materia organica viene sostituita da materia inorganica, e vanno a far parte di rocce sedimentarie.

Eccezionalmente si trovano un giacimento come quello di Burgess nelle Montagne Rocciose (Canada), scoperto i primi del Novecento, che è il più antico e ricco deposito di fossili di organismi pluricellulari di cui sono state preservate anche le impronte delle parti molli delle specie che vi vivevano. Questi resti rendono conto di una fauna molto

rigogliosa, che 500 milioni di anni fa, popolava dei fondali marini bassi, ricchi di ossigeno e molto luminosi. [4]

Di questa grande varietà di specie allora esistenti, l'85% scomparve con la prima grande estinzione di massa (Ordoviciano-Siluriano) ma uno più antichi dei Cordati che si conoscano, *Pikaia gracilens*, venne risparmiato. La sopravvivenza di *Pikaia* rappresentò per noi una grande occasione, visto che questo piccolo animale viene considerato da molti come l'antenato comune dei Vertebrati e quindi della linea evolutiva a cui apparteniamo anche noi.

### **La scomparsa dei grandi Rettili e la radiazione adattativa dei Mammiferi**

Un'altra grande occasione ci fu circa 65 milioni di anni fa, alla fine del Cretaceo, quando i Rettili dominavano sulla Terra, da quasi 140 milioni di anni. Da loro discendono tutti i Mammiferi, in particolare, i Terapsidi, che anticiparono alcune loro peculiarità, come l'omeotermia, grazie ad un mantello di pelo, la maturazione dell'uovo dentro il corpo o forse addirittura la capacità di partorire i piccoli vivi (senza più bisogno dell'uovo), l'allattamento, ecc.

Gli Uccelli sono invece diretti discendenti della linea dei dinosauri. Si è scoperto che alcuni dinosauri carnivori cacciavano in gruppo, mentre altri erbivori nidificavano e pascolavano in branchi tenendo i piccoli al centro per proteggerli dai predatori, altri ancora adottavano sofisticate cure parentali paragonabili a quelle degli Uccelli. C'erano anche dinosauri capaci di modulare una gamma di suoni per avvertire del pericolo, per tenersi in contatto fra piccoli e genitori oppure per conquistarsi una compagna.

Quando i Rettili erano all'apice della loro fortuna, i Mammiferi erano per lo più limitati a piccole forme di animali notturni del tutto marginali. Alcuni di queste sfuggì alla catastrofe, probabilmente dovuta all'impatto di un asteroide, che causò una grande estinzione di massa. Fu allora che scomparvero i dinosauri e si crearono le condizioni per l'espansione di Uccelli e Mammiferi che prosperarono andando incontro ad un'evoluzione rapida (sempre su una scala di tempi geologici) e poterono poi irradiarsi su tutto il pianeta, occupando tutti gli habitat lasciati liberi dalle specie spazzate via dall'estinzione. Il paesaggio si andò trasformando per l'imponente affermazione delle Angiosperme (piante con fiori apparenti) con alberi di grandi dimensioni, ma anche arbusti e piante erbacee. In particolare vastissimi territori furono coperti da estese praterie che favorirono la diffusione dei Mammiferi erbivori e degli Uccelli granivori. Secondo alcuni autori la capacità di popolare vaste regioni dal clima freddo furono i fattori vincenti per i Mammiferi<sup>6</sup>.

Sembra che un piccolo gruppo di mammiferi, i multitubercolati, si fosse diffuso ampiamente durante gli ultimi 20 milioni di anni dell'era dei grandi rettili. Alla base

---

6 Secondo alcuni studiosi la grande esplosione dei Mammiferi sarebbe avvenuta già prima della fine del Cretaceo e tutte le famiglie ancora oggi esistenti sarebbero comparse circa 85 milioni di anni fa. Una seconda esplosione avrebbe avuto luogo circa 50 milioni di anni fa, circa 10-15 milioni di anni dopo la capitolazione dei dinosauri, quindi i due fenomeni sarebbe indipendenti.

del loro successo sarebbero stati i denti particolari che permisero loro di cibarsi delle piante più comuni. Nonostante fossero il gruppo più diversificato e promettente, quello più longevo, quello che aveva superato la crisi della fine del Cretaceo, i multitubercolati capitarono circa 34 milioni di anni fa, mentre erano comparse forme primordiali di Primati (proscimmie), caratterizzati dal pollice opponibile. Da quei Primati discendiamo noi e tutte le scimmie attualmente viventi compresi nostri parenti più stretti, le scimmie antropomorfe.

### **I più dotati o i più fortunati?**

Possiamo concludere che catastrofi e grandi sconvolgimenti planetari hanno aperto la strada in modo del tutto imprevedibile alla comparsa dell'umanità sulla Terra. Se Pikaia non fosse sopravvissuta alla quasi totale estinzione di ogni forma di vita alla fine del Permiano, se la sua discendenza non avesse dato vita ai dinosauri, e se questi non si fossero estinti alla fine del Cretaceo, lasciando spazio alla diversificazione dei Mammiferi già esistenti, se non fossero comparsi i Primati...se, se, se...noi non saremmo qui! [5]

Riavvolgiamo ancora una volta il film della vita e facciamolo ripartire dal tempo di Burgess...Se la Pikaia non sopravvive noi saremo cancellati dalla storia futura: tutti noi, dallo squalo al pettirosso all'orangutan. E io non penso che un qualsiasi allibratore, data la situazione di Burgess quale ci è nota oggi, avrebbe dato molte probabilità di sopravvivenza alla Pikaia. [4, p.334]

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Eldredge, N., Gould, S. J., Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: *Models in Paleobiology*, San Francisco, Freeman, Cooper & Co., pp. 82-115, 1972 consultabile al sito <http://www.blackwellpublishing.com/ridley/classictexts/eldredge.pdf>
- [2] Gould, S. J., *La struttura della teoria dell'evoluzione*, Codice, Torino, 2003.
- [3] Pievani, T., *La teoria dell'evoluzione. Attualità di una rivoluzione scientifica.*, Il Mulino, Bologna, 2006.
- [4] Gould, S. J., *La vita meravigliosa*, Feltrinelli, Milano, 1990-2004.
- [5] Pievani, T., *La vita inaspettata. Il fascino di un'evoluzione che non ci aveva previsto.* Raffaello Cortina, Milano, 2011



## ARCHEOLOGIA DELLA VITE (E DELL'OLIVO).

### NUOVI PERCORSI DI RICERCA<sup>1</sup>

ANDREA CIACCI

ANDREA ZIFFERERO

*Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali*

#### **Introduzione**

L'incontro "Archeologia del vino e non solo. La storia antica e recente e le opportunità attuali", organizzato il 18 gennaio 2013 nell'Aula Magna della sede universitaria di Grosseto, ha evidenziato l'importanza della interdisciplinarietà e dei saperi scientifici nell'ambito degli studi dell'agroalimentare e del consumo dei prodotti alimentari.

L'incontro ha messo a confronto ricercatori di diverse discipline su un tema di grande attualità quale quello relativo alla coltivazione della vite e alla produzione del vino, un prodotto cui è legata l'identità del territorio.

I relatori sono stati chiamati a dare un'informazione articolata partendo da un quadro storico-archeologico sulle prime attestazioni di coltivazione della vite in area mediterranea, illustrando poi le ricerche pluridisciplinari (archeologiche, botaniche, chimiche e biologiche con particolare riferimento al DNA e quindi alle caratterizzazioni genetiche) soprattutto sugli argomenti che stanno fornendo i più significativi risultati, ad esempio quello concernente la diversità tra germoplasma delle piante campionate lontano dagli insediamenti archeologici rispetto al germoplasma dei vegetali impiantati in prossimità degli insediamenti medesimi, diversità che induce ad approfondire nel futuro la riflessione sulla modificazione genetica derivata dagli antichi sistemi di coltivazione. Fondamentale è stata la messa a fuoco degli obiettivi che i vari progetti attualmente in atto sul tema in discorso -puntualmente illustrati nei loro contenuti- intendono perseguire: essi concernono non solo l'avanzamento del sapere scientifico ma le ricadute e le implicazioni politiche e sociali che, in estrema sintesi, riguardano la conservazione della biodiversità, la tutela del paesaggio rurale, lo svilup-

---

<sup>1</sup> Il testo è il riadattamento del contributo scritto in occasione degli Atti della International Summer School di Cattolica del 2010, con aggiornamenti nel contenuto e nella bibliografia. Il testo originale è inoltre frutto di una collaborazione tra autori diversi: l'introduzione è di Lucia Sarti; i paragrafi 1 e 3 sono di Andrea Zifferero; il paragrafo 2 è opera di Andrea Ciacci, Myriam Giannace e Andrea Zifferero; il paragrafo 4 è di Andrea Ciacci e Andrea Zifferero; il 5 è di Andrea Ciacci mentre il 7 è frutto del lavoro congiunto di Andrea Ciacci e Myriam Giannace; il paragrafo 6 è opera di Jacopo Bigliuzzi, Mauro Cresti, Elisa Paolucci, Monica Scali, Rita Vignani e Valerio Zorzi. La revisione attuale è opera di Andrea Ciacci.

po sostenibile. A completamento, sono seguiti contributi sulla normativa europea e nazionale riguardante il settore dell'autenticità agroalimentare e la tutela giuridica dei consumatori.

All'iniziativa hanno partecipato docenti e studenti delle scuole medie superiori, studenti universitari, esperti e tecnici; va segnalato che un elemento caratterizzante dell'incontro è stata la partecipazione degli studenti e dei docenti dell'Istituto Statale di Istruzione superiore "Leopoldo II di Lorena", i quali hanno riferito le loro esperienze scolastiche confrontandosi con gli esperti intervenuti. Il dibattito ha evidenziato l'interesse dei giovani per il consumo consapevole, il recupero dei saperi tradizionali e delle produzioni locali anche con l'intervento di Slowfood Toscana.

Il team di esperti era composto dal Dott. Andrea Ciacci e dal Prof. Andrea Zifferero del Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni culturali e dalla Dott.ssa Rita Vignani del Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Siena, dagli insegnanti del sopra detto Istituto Statale, dall'Avv. Giuseppe Nicosia, dal Dott. Massimo Bernacchini di Slow Food Toscana.

Questo contributo, presentato in occasione dell'incontro, offre un quadro esauriente dei contenuti e delle finalità dell'iniziativa.

### **1. Archeologia e botanica: perché studiare la vite silvestre?**

Tra gli anni Ottanta e Novanta del Novecento l'archeologia del paesaggio ha migliorato la capacità di leggere la stratificazione e la trasformazione dei paesaggi agricoli o preindustriali. L'indagine dei siti integrata allo studio delle risorse offerte dall'ambiente ha inoltre favorito la collaborazione tra discipline diverse.

Il Progetto VINUM è nato nel 2004 da un interrogativo: è possibile che nell'attuale vegetazione dell'Etruria meridionale, corrispondente all'attuale fascia tirrenica della Toscana e del Lazio settentrionale, siano sopravvissuti lembi del paesaggio vegetale etrusco e, in caso di risposta affermativa, con quali metodi scientifici è possibile documentarne la natura e l'incidenza sulla vegetazione contemporanea? Dal punto di vista paleobotanico, il ritrovamento di vinaccioli di vite silvestre in siti della media età del Bronzo, associati a vinaccioli di vite domestica, fa risalire la vitivinicoltura ad un'età molto antica nell'area tirrenica [2, pp. 125-131]. Risposte e nuovi interrogativi sono emersi grazie all'integrazione tra botanica, biologia molecolare e archeologia applicata al censimento delle popolazioni di vite silvestre, partendo dal presupposto che potessero rappresentare la forma superstite di piante coltivate in età molto antica per la produzione di vino [12]. Il censimento è stato effettuato in prossimità dei siti archeologici di età etrusca e romana, privilegiando quelli che avessero restituito evidenze di vitivinicoltura (trincee di coltivazione della vite, palmenti, abbondanza di contenitori per la conservazione e il trasporto del vino). La netta diversità del germoplasma delle piante campionate lontano dai siti archeologici rispetto a quello delle piante circostanti i siti depone, sia pure con ragionevoli margini di incertezza, in favore di una modificazione genetica indotta dalle pratiche di coltivazione da parte delle comunità antiche

[23 pp. 601-622; 10 pp. 74-79; 21 pp. 80-83]. Partendo dal portamento delle viti silvestri, abbarbicate agli alberi tutori, il percorso iniziale di ricerca si è poi arricchito con l'indagine sulla forma e sull'evoluzione del vigneto etrusco, prendendo a modello le ormai classiche analisi di Emilio Sereni sulla sopravvivenza delle tecniche di viticoltura etrusca nel paesaggio italiano degli anni Sessanta [31, pp. 75-204; 32, pp. 40-43; sulla persistenza di forme colturali etrusche e greche in Campania, cfr. ora 8, pp. 96-105; 16, pp. 821-826].

## 2. Dal Progetto VINUM agli altri progetti sulla vite e sull'olivo

L'approccio interdisciplinare ha aperto nuove prospettive al problema della circolazione varietale delle viti, grazie alla caratterizzazione genetica dei vitigni e al confronto tra essi in area mediterranea [29, pp. 185-268; 30, pp. 185-195]. La sostanziale identità genetica del vitigno Ansonica/Inzolia, diffuso tra la Sicilia, le isole dell'Arcipelago Toscano e le coste tirreniche, con i vitigni greci *Roditis* e *Sideritis* ha permesso di formulare un'ipotesi di circolazione del vitigno risalente alla colonizzazione greca dell'VIII secolo a.C. nel Mediterraneo occidentale [24, pp. 161-166; 13, pp. 397-419].

Diversi sono i progetti nati dall'esperienza di VINUM: il Progetto ArcheoVino, in corso di attuazione nel Comune di Scansano, nella Maremma grossetana, sta disegnando un Parco della Vitivinicoltura Antica in prossimità del centro etrusco di Ghiaccio Forte, con l'intenzione di riprodurre le tecniche antiche di viticoltura e vinificazione, partendo dalla forma del vigneto nei periodi etrusco e romano, fasi di grande produzione vinicola nella valle dell'Albegna, ai margini nordoccidentali dell'agro vulcente [12, pp. 635-704]. La ricerca intorno a Ghiaccio Forte ed in prossimità dei siti rurali etruschi e romani distribuiti tra la valle dell'Albegna ed il fosso Sanguinaio ha permesso di registrare un'abbondante popolazione di vite silvestre e ha fornito un'importante conferma in merito alla pressione antropica sulle viti locali, esercitata in particolare sulle piante femminili perché portatrici di frutto, configurando la zona scansanese come una possibile area di domesticazione secondaria della vite; due esemplari tra quelli campionati hanno mostrato, inoltre, importanti caratteri di similarità genetica e morfologica con due vitigni toscani, il Sangiovese e il Canaiolo nero; infine, una rielaborazione recente dei dati genetici ha permesso di ipotizzare che le popolazioni di vite silvestre di Ghiaccio Forte possano rappresentare l'esito di viti residue che, a partire da antichi vitigni, siano andate incontro a un marcato processo di rinselvaticamento [35, pp. 653-661].

Altri risultati di notevole spessore scientifico sta producendo il Progetto *Senarum Vineae*, mirante a definire i caratteri storici del paesaggio vitato nella città di Siena e nel suburbio, partendo dalla persistenza delle forme tradizionali del vigneto, sopravvissute nelle clausure di conventi e monasteri e negli orti privati. La prospettiva storica del progetto è incentrata sulla città medievale, rinascimentale e moderna e sulla sopravvivenza dei paesaggi agrari relativi, soprattutto nell'area suburbana meridionale, meno toccata dalla viticoltura intensiva del Chianti Classico: indagini di questo tipo possono

riportare alla luce veri e propri relitti paesistici in cui sopravvivono forme di viticoltura tradizionale, ispirata a tecniche di coltivazione molto antiche [11]. Una prospettiva leggermente diversa, ma fondata sugli stessi principi di metodo è espressa nel Progetto *Eleiva*, teso ad approfondire la storia e i caratteri dell'olivicoltura nel paesaggio della val d'Orcia, in Provincia di Siena. Il contatto tra paesaggio olivicolo (spesso formato anche da piante vicine nei tratti morfologici e nel portamento alla forma rinselvaticata dell'olivo, l'olivastro) e siti archeologici, conferisce un sensibile spessore storico ai caratteri del germoplasma e alla circolazione delle cultivar, partendo dai sistemi insediativi, dal periodo medievale e moderno fino a quello etrusco. Particolare rilevanza assumono nel contesto gli olivi secolari, vere testimonianze fossili di forme di coltivazione molto antica, spesso sopravvissute all'evoluzione del paesaggio agrario circostante [7].

### **3. Il contributo del metodo archeologico alla storia della viticoltura**

Mentre è palese il contributo dell'approccio biomolecolare all'archeologia, è forse meno evidente il portato dell'archeologia alle scienze esatte: uno dei punti chiave è l'aver fornito gli strumenti per individuare i luoghi (le aree boschive e umide dislocate intorno ai siti archeologici) e i tempi (indicati dalla cronologia dei siti) dei processi di proto-domesticazione e domesticazione della vite. Con il primo termine i botanici (e in generale gli storici dell'agricoltura) intendono il processo legato allo sviluppo delle piante di vite nate dal seme disperso negli immondezzai circostanti i siti abitati dell'età del Bronzo, caratterizzati da popolazione residente e dedita all'agricoltura. Nel corso di questa età, partendo dalle piante generate dagli immondezzai, sarebbe stata avviata la pressione selettiva dell'uomo nella scelta delle piante da moltiplicare, consentendo di fissare in un primo momento e poi di migliorare i caratteri utili alla produttività (ermafroditismo, dimensioni dei grappoli e degli acini) e alla qualità del prodotto (grado zuccherino degli acini). Con il termine "domesticazione" si intende un processo successivo all'età del Bronzo, che vede ormai compiuta la distinzione tra forma silvestre e forma coltivata, con l'inizio della coltivazione di vitigni ben distinti per fenotipi e caratteri genetici, con processi di vinificazione in grado di produrre vini di pregio, oggetto di scambio e commercio [18, pp. 79-93; 19, pp. 93-118]. Il secondo passaggio resta abbastanza nebuloso, potendo comodamente spaziare nell'area tirrenica dall'età del Ferro (fine del X-VIII secolo a.C.) al periodo Orientalizzante (fine dell'VIII-inizi del VI secolo a.C.); si tratta di uno degli scenari strategici della domesticazione, dove i primi vini di qualità elevata, contenuti nelle anfore fenicie e chiote, vengono importati intorno alla metà dell'VIII secolo a.C., tanto come alimenti che come beni di prestigio appannaggio dei principi etruschi [27; 9, pp.16-19]. In realtà, la periodizzazione della forma del vigneto ha permesso di individuare una fase cruciale in Etruria nel corso dell'VIII secolo a.C., quando il fenomeno della colonizzazione greca del Mediterraneo occidentale introduce la circolazione varietale di vitigni già selezionati in madrepatria, apportando al tempo stesso nuove forme di domesticazione delle viti silvestri in Italia meridionale. L'arrivo dei primi vini dall'area insulare greca sollecita una notevole specializzazione nelle coltu-

re, trasferendo verosimilmente, con le prime forme di innesto, talee di vitigni pregiati sul piede delle viti locali [39, pp. 66-73]. Dobbiamo tuttavia immaginare che l'Etruria abbia continuato a produrre vini dalla vite silvestre ora sottoposta a più intensi processi di domesticazione, forse assimilabili al *temetum* delle fonti latine, un vino autoctono, distinto dal più pregiato vino di importazione [1, pp. 103-108; 34, pp. 33-39]. Certo è che questi processi sono stati intensificati e affinati nel tempo, portando in alcuni settori dell'Etruria meridionale (in particolare nelle campagne di Cerveteri e di Vulci) ad una viticoltura intensiva e specializzata, dedita alla produzione di un vino etrusco, forse di qualità non eccelsa ma certo in quantità massicce, veicolato per via marittima dagli inizi del VI al IV secolo a.C. in varie regioni del Mediterraneo occidentale e soprattutto in Gallia [17]. Le ricerche condotte in seno al Progetto ArcheoVino identificano nella zona scansanese una zona nevralgica per la produzione di vino, soprattutto tra la fine del VII e gli inizi del III secolo a.C.; l'archeologia permette di identificare il fenomeno attraverso l'individuazione nella valle dell'Albegna, di siti vocati alla produzione agricola e la produzione e circolazione delle anfore da trasporto etrusche (confezionate in fornaci collocate nella bassa valle dell'Albegna) sulle rotte del commercio marittimo [26, pp. 413-426; 36, pp. 427-436].

#### **4. Futuri obiettivi per l'archeologia del paesaggio: conservare**

##### **la biodiversità, tutelare il paesaggio rurale, favorire lo sviluppo sostenibile**

Esiste poi un secondo livello di osservazioni, in merito al ruolo che la prospettiva promossa dalla ricerca archeologica può suscitare nella conservazione dell'ambiente. L'analisi delle popolazioni di vite silvestre è stata condotta in qualche caso sotto forma di censimento, documentando lo stato vegetativo delle piante in rapporto con le condizioni ambientali. Si è così messo a punto nell'arco di qualche anno un apprezzabile screening della specie, nei settori delle Province di Siena, Grosseto e Roma interessate dalla ricerca. L'analisi del germoplasma ha accertato una discreta variabilità genetica, testimonianza di un'elevata biodiversità nella popolazione silvestre. Al problema di conservare la biodiversità nella specie si accosta il valore aggiunto di piante, di solito collocate a diretto contatto con i siti archeologici, che esprimono una sorta di anomalia costante, manifestata dai tratti genetici con tutta probabilità modificati dalle comunità antiche: si tratta di veri e propri relitti di paesaggi archeologici, sincronizzabili con la cronologia di frequentazione dei siti contigui.

Tale metodo, applicato anche ai vitigni antichi minori coltivati in ambito urbano (Progetto *Senarum Vineae*) e agli olivi secolari campionati in val d'Orcia (Progetto *Eleiva*), ha sempre messo in evidenza tratti peculiari del profilo genetico delle piante.

In linea teorica, gli esemplari di tali piante nonché le stesse forme tradizionali di coltivazione dovrebbero essere tutelati, quali componenti effettivi di un paesaggio archeologico, ai sensi del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (art. 142, comma 1m), in vigore dal 2004, anche e soprattutto alla luce delle novità sull'interpretazione in chiave storica del paesaggio, introdotta dalla Convenzione Europea del Paesaggio,

promulgata nel 2000. Il problema, tuttavia, è più ampio: le piante di vite silvestre, infatti, sono ancora portatrici di frutto e potrebbero essere riportate a coltura (nei parchi didattici, come prevede il Progetto ArcheoVino, ma anche in forma di vigneti, al di fuori di “aree protette”), per la produzione di un vino effettivamente antico, la cui identità è certificata dalla ricerca biomolecolare. Per i vitigni antichi minori recuperati a Siena si è già provveduto alla loro propagazione e al reimpianto in due diverse sedi: all’Orto de’ Pecci, una delle principali valli intramurane di Siena, con una sistemazione che segue filologicamente la tecnica a palo morto visibile nell’affresco del Buongoverno di Ambrogio Lorenzetti e presso l’Istituto Tecnico Agrario “Bettino Ricasoli” di Siena. In quest’ultima sede, l’impianto sperimentale è destinato a portare a frutto vitigni dai quali, attraverso le moderne tecniche di microvinificazione, generare un vino “di Siena” fortemente distinto, quindi, in senso locale e di “pronta beva”, senza i particolari affinamenti che già contraddistinguono il Chianti, il Nobile o il Brunello.

L’idea è quindi di tentare di promuovere prodotti di nicchia dall’elevato valore aggiunto in termini di rapporto tra territorio e storia, avvicinandosi effettivamente al gusto del vino etrusco o romano o medievale e migliorandolo con il progresso della ricerca sui tratti genetici della vite silvestre e dei vitigni antichi minori. Per la valle dell’Albegna il profilo del vino etrusco e romano è ormai noto grazie alla ricerca archeologica: un procedimento simile non costituirebbe una forma di “disneyficazione” (cioè un uso massificato del dato archeologico, attraverso l’esaltazione delle suggestioni spettacolari e di consumo) ma, al contrario, fornirebbe un importante incremento di valore all’identità della produzione vitivinicola locale, oggi dominata dal Morellino di Scansano [38, pp. 49-76]. Altra importante conseguenza della ipotetica tutela della vite silvestre sarebbe il recupero di un uso sostenibile del paesaggio, in linea con i valori rilevati dalla Convenzione: si tratterebbe in questo caso di una forma di sostenibilità avviata e promossa dalla ricerca archeologica, con il risultato di estendere in modo considerevole i margini operativi e le finalità della disciplina, oltre i consueti e praticati canali della ricerca storica.

Nell’attuale pacchetto legislativo all’esame del Parlamento europeo, inoltre, tra le azioni fondamentali dei regolamenti per il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) si prevedono investimenti “nella diversificazione delle economie locali proteggendo e sviluppando le eredità culturali e i paesaggi (sia in contesto rurale che urbano)”, avvalorando l’idea di un paesaggio frutto di stratificazioni storiche e culturali non da omologare in funzione di un mercato globale, ma piuttosto da recuperare e valorizzare per rafforzare e distinguere le economie locali.

Altro importante risultato di questi Progetti è stato lo sviluppo di un modello di analisi del dissesto idrogeologico, fenomeno tipico dei terreni a substrato argilloso della Toscana centro-meridionale, e più in generale dell’area medio-tirrenica. Nelle aree oggi interessate da frane o dissesto si è osservato che una lettura attenta del paesaggio archeologico, effettuata attraverso una documentazione del sito archeologico, perlopiù riconoscibile in superficie nei casi migliori da resti murari affioranti, oppure da lacerti

di murature e coperture dei tetti in tegole sparsi sul terreno, portava anche all'identificazione nelle immediate vicinanze di resti di strutture murarie di contenimento del pendio, visibili in superficie con maggiore difficoltà ma di solito ben percepibili nelle fotografie aeree zenitali o nelle immagini da satellite. In diversi casi documentati sui Monti della Tolfa (Roma) si è addirittura riusciti ad avvicinare le antiche strutture murarie di protezione dei pendii, di solito riferibili al periodo etrusco e romano, ad esemplari di olivastro ancora presenti in prossimità dei terrazzi, forse discendenti da antiche forme di coltivazione praticate nell'area con il sistema dei muri a secco. Questi dati hanno consentito un'ulteriore messa a fuoco dei problemi inerenti la definizione del paesaggio agrario in senso archeologico, oltre che botanico ed agronomico, favorendo inoltre la comprensione di tendenze franose (e quindi, in senso lato, dei fenomeni di instabilità dei pendii dovuti alla deforestazione) già in età antica: la criticità della situazione è oggi desumibile dall'intensità con cui le comunità antiche sono intervenute per contenere e rafforzare il profilo dei pendii, con muri a secco e forme di coltivazione intensiva. In altre parole, l'archeologia dei paesaggi può diventare un importante strumento di diagnosi storica del dissesto: questa disciplina, anzi, se messa in condizione di interagire con altre discipline, in primis la pianificazione paesistica, può contribuire a fornire risposte misurate e adeguate alla necessità di tutela preventiva del paesaggio rurale dell'Italia centrale [37, pp. 74-82; 40, pp. 683-704].

La tutela della biodiversità e della variabilità genetica e la riproposizione di vitigni e tecniche di coltivazione tradizionali sono in atto anche in alcune aziende distribuite tra il Chianti fiorentino e il Chianti senese, nel tentativo di contrastare l'erosione genetica determinata dalla omologazione delle produzioni. Tra gli altri, si segnala il progetto di recupero, conservazione e valorizzazione del germoplasma locale messo in atto nel Chianti Rufina, impostato sulla protezione di vitigni noti ma di diffusione molto limitata [6, pp. 799-812].

Sotto il profilo della tutela del paesaggio mezzadrile chiantigiano, di riferimento è il progetto coordinato da Paolo Baldeschi e sviluppato nella val di Greve e nella val di Pesa per il ripristino degli apparati idraulico-agrari tradizionali, dei muretti a secco e degli acquadocci, caratteristici degli areali di paesaggio storico [5].

### **5. Il Progetto *Senarum Vineae*: un percorso di ricerca multidisciplinare tra i vigneti storici della città murata e del suburbio**

La linea di ricerca iniziata con il Progetto VINUM, affinato nel Progetto ArcheoVino, prosegue nel Progetto *Senarum Vineae*, ancora in corso [11]. Cambiano però lo sfondo e l'oggetto delle indagini: lì sono gli ampi spazi rurali, poco antropizzati e caratterizzati dalla persistenza della vite silvestre in prossimità di siti archeologici etruschi e romani; qui gli spazi presi in considerazione sono, invece, le aree verdi con sopravvivenza di vigneti "residuali" ancora coltivati e localizzabili dentro e fuori le mura di Siena. Le scoperte archeologiche, soprattutto ceramiche da vino, compiute nel corso degli scavi urbani che hanno caratterizzato l'ultimo ventennio, hanno confermato l'uso della be-

vanda fin dai decenni finali del VII secolo a.C. La scarsità di rinvenimenti di anfore da trasporto sembra rivelare una produzione di vino locale e la prossimità di coltivazioni di vite al sito abitato fin dalla cosiddetta “fase numana”, periodo che in Etruria coincide con la selezione e il miglioramento genetico delle varietà di vite più produttive e con il progressivo abbandono della tecnica delle “lambruscaie” autoctone e spontanee [14, pp. 47-50]. Recenti indagini di archeologia urbana hanno messo in luce la persistenza di spazi verdi giunti praticamente intatti dall’antichità fino ai nostri giorni, nei quali sarebbe possibile recuperare semi e pollini utili per delineare il quadro vegetativo della Siena antica [25, pp. 91-99]. I documenti archeologici, iconografici e d’archivio, costituiscono la base informativa e documentaria sulla quale è stata messa a punto la metodologia d’indagine del Progetto *Senarum Vineae*. Alla preliminare selezione e mappatura delle aree urbane e suburbane da indagare hanno fatto seguito le ricognizioni sul campo durante le stagioni vegetative 2009-2010. Nei due anni di ricerca è stato possibile identificare e classificare un nutrito numero di vitigni su una superficie totale di circa un ettaro e mezzo. Le indagini sul campo hanno consentito di rilevare quanto il profilo di Siena appaia ancora fortemente caratterizzato dalla presenza di orti urbani e poderi suburbani in cui spesso insistono coltivazioni residuali di vigneti “obsoleti”, talvolta rimessi a coltura in forma di pergolati, di spalliere o di viti maritate a tutori vivi, per la produzione di limitate quantità di vino destinate all’autoconsumo [22, pp. 36-39]. Se negli orti urbani viene adoperata con maggiore frequenza la coltivazione bassa, ad alberello con il supporto di canne o a pergola, nei poderi extra moenia sembrano prevalere i filari polivarietali allevati su tutore vivo (alberi da frutto, olivi, aceri campestri, conosciuti nel vernacolo con il nome di “testucchi”). Tale sistema di coltivazione appare peculiare di quei territori coincidenti con le aree di espansione etrusca (Etruria propria, Etruria padana, entroterra campano); caratteristica del “paesaggio organizzato” etrusco fin dal VI secolo a.C., la “policoltura verticale”, che associava colture ortive a quelle arboree, è arrivata praticamente intatta fino agli anni Cinquanta del secolo scorso, subendo poi una repentina regressione con l’avanzata della monocoltura arborea specializzata (vigneti, oliveti) e seminativa (foraggi e seminativi industriali), orientata dall’agricoltura meccanizzata e dalla richiesta di un mercato globale [3; 20, pp. 19-23; 30]. Interessante è poi l’aspetto delle chiusure intramurane dei conventi e degli istituti religiosi, il cui carattere di *hortus conclusus* ha favorito la sopravvivenza di vitigni antichi e di forme storiche di allevamento caratteristiche del luogo d’origine. Sembra prevalere in questi siti, più che altrove, una cura “vivaistica” del vigneto, segno del lavoro di selezione operato nel corso dei secoli dai monaci, che si traduce in una prevalenza di vitigni innestati, tendenzialmente vocati alla produzione di vini dolci e liquorosi.

## **6. Il Progetto *Senarum Vineae*: la metodologia d’indagine**

La descrizione delle caratteristiche morfologiche delle viti, annotate su apposite schede, è stata fondamentale per la scelta dei campioni da sottoporre alle successive analisi biologico-molecolari per la mappatura del patrimonio genetico. Sono stati analizzati com-

pletivamente 41 individui, oltre ad un panel di 23 vitigni il cui profilo ampelografico e genotipico è stato utilizzato come standard di riferimento per l'identificazione delle piante reperite. Sulla base del confronto con alcune varietà minori e locali recuperate presso il *Vitiarium* dell'Azienda Agricola San Felice di Castelnuovo Berardenga (SI), è stato realizzato un dendrogramma di similarità genetica. I dati ottenuti attraverso l'incrocio tra la piattaforma ampelografica e quella genetica, di grande valore in considerazione della limitatezza dell'area indagata, hanno consentito l'individuazione di 20 vitigni. Le 10 varietà minori identificate con un grado di affidabilità elevato sono iscritte come rare e ad alto rischio di estinzione nella banca dati del Germoplasma Autoctono Toscano: il Mammolo, il Rossone, la Salamanna, il Gorgottesco, il Tenerone, l'Occhio di Pernice, il San Colombano, il Prugnolo Gentile, il Procanico e il Moscatello nero. Una decina di campioni non hanno, invece, restituito allo stato attuale significative omologie con i vitigni inseriti per il confronto genetico. Il dato, di rilevante interesse in sé, si amplifica in considerazione dello straordinario grado di conservazione della biodiversità in un'areale prevalentemente urbano.

Ulteriori analisi sul materiale legnoso hanno infine registrato un'incidenza di viti negative alle virosi pericolose e non omologabili superiore al 60%. Il dato appare di rilevante interesse in considerazione del fatto che le viti infette registrate in città sono meno di un terzo rispetto al numero registrato nel territorio del Chianti Classico, evidenziando una minor intrusione di materiale esterno, in particolare vivaistico, spesso fonte in passato di virosi e un marcato legame con il territorio urbano.

Nell'insieme i risultati stanno pienamente dimostrando la validità applicativa di un approccio di studio multidisciplinare al tema del monitoraggio del germoplasma viticolo autoctono negli spazi urbani e suburbani. L'analisi preliminare di carattere storico del territorio ha permesso di focalizzare l'attenzione su "microzone" topografiche che hanno mantenuto nel tempo un significativo valore in termini di variabilità genetica. Questo si traduce anche in un notevole risparmio di risorse e nell'ottimizzazione dei tempi della ricerca, scanditi dalla stagionalità della fioritura delle piante. Siamo così riusciti, in tempi relativamente brevi, ad ottenere un quadro efficace, sebbene ancora parziale, della variabilità genetica presente nelle popolazioni viticole autoctone residuali ancora esistenti a Siena, consentendo al tempo stesso di calibrare il metodo di analisi della variabilità genotipica e di affinare la metodologia utile allo studio della biodiversità delle popolazioni naturali.

## **7. Il Progetto *Senarum Vineae* per la tutela del paesaggio urbano**

I dati di natura ampelografica e genetica concordano in maniera sorprendente con quanto è contenuto nei *Bollettini Agrari* di metà Ottocento, e andando ancora più indietro nel tempo, negli elenchi delle uve di Siena stilati da Giorgio Gallesio nel 1833, all'interno dei quali compaiono vitigni quali il *Proano* o *Proanio*, il *Sangiovetto*, il *Gorgottesco*, il Tenerone, il Mammolo. Tali varietà, corredate da brevi note ampelografiche, figurano ancora nelle liste delle piante da frutto coltivate nelle Masse di Siena

compilate da Apelle Dei nel 1868 [3]. In particolare il Gorgottesco, attestato dalle fonti ampelografiche dell'Ottocento, è un vitigno conosciuto fin dalla fine del Settecento. Produce un vino di bassa gradazione e, essendo pianta resistente alle crittogame, può essere allevata anche in pianura ed essendo pure molto vigorosa è adatta a potature lunghe e ad esser maritata a sostegno vivo. La cultivar era diffusa nelle campagne di Gaiole, Asciano, Buonconvento e anche nel Grossetano. L'etimo, stando al vocabolario senese di Ubaldo Cagliaritano, è attestato nella forma gorgotto nelle campagne di Chiusdino e significa *gorgoglio*. Lo abbiamo trovato all'interno di filari polivarietali associato ad altri vitigni (Sangiovese e Colorino), così da ottenere al momento della vendemmia un blend pronto per produrre un vino da tavola gradevole e fresco. In sostanza, sembra che parte dello storico e variegato patrimonio viticolo della città sia riuscito miracolosamente a sopravvivere all'epidemia di fillossera di fine Ottocento-inizi Novecento, ai conflitti mondiali, alla rivoluzione introdotta dall'agricoltura meccanizzata, al ciclo di impianti che si impone in maniera massiccia negli anni Settanta e Ottanta del Novecento, giungendo praticamente intatto fino ai nostri giorni. Il Progetto, dunque, fortemente connotato sotto un profilo multidisciplinare, nasce proprio con l'intento di recuperare il patrimonio residuale di biodiversità che ha caratterizzato nel tempo il paesaggio della città e dei suoi dintorni, contrastando al tempo stesso il degrado sempre più incalzante della sua trama storica. Se da una parte il recupero e il rilancio delle cultivar autoctone/tradizionali contribuiscono alla tutela e alla conservazione dell'originalità delle colture viticole, dall'altra la tessitura del paesaggio storico viene preservata attraverso il mantenimento delle tecniche storiche della viticoltura toscana e senese (viti maritate a sostegno vivo, viti a pergola, viti coltivate "al modo provenzale", viti a spalliera, viti a palo morto). Nell'affresco del Buongoverno troviamo una precisa raffigurazione di una vigna adiacente alle mura dove le giovani viti sono appoggiate a sostegni "morti", costituiti da canne comuni. Il paesaggio rurale raffigurato da Ambrogio Lorenzetti esibisce particolari di estremo realismo, nonostante l'affresco sia spesso stato considerato una rappresentazione "ideale". In realtà si tratta di un preciso segno della volontà del governo dei Nove, per il quale il controllo del territorio rurale dipendente da Siena assume precisi connotati di politica gestionale: in pratica le coltivazioni di viti a giropoggio e cavalcapoggio sembrano anticipare forme di gestione degli assetti idrogeologici del territorio proprie di tempi più recenti. In età contemporanea sono individuabili singolari forme di coltivazione tramite pergolati posti sulla sommità delle fonti della città: se da una parte realizzano un particolare esempio di *hortus conclusus* e di arredo urbano in tempi economicamente assai difficili, dall'altra tali forme di coltivazione sembrano sottolineare la stretta relazione che intercorre fra la vite e l'acqua. Come si può notare da questi pochi esempi, è possibile tracciare un interessante percorso che lega fra loro le matrici storiche della coltivazione della vite nel territorio senese, la cui utilità non è certamente secondaria per il miglioramento delle nostre conoscenze sugli assetti socio-economici che nel tempo hanno portato a privilegiare alcune tecniche rispetto ad altre [11]. Per salvaguardare il patrimonio di biodiversità recuperato all'Orto de' Pecci, nella

valle intramuraria denominata di “Porta Giustizia”, è stato predisposto un campo di conservazione dell’antico patrimonio viticolo della città di Siena che ha accolto il materiale vegetale recuperato nel corso dei sopralluoghi; la scelta di quest’area, già sede di un orto medievale, non è stata casuale dal momento che i documenti d’archivio vi attestano la presenza di orti tenuti a vigneto a partire dalla fine del XII secolo, con una continuità testimoniata dalle fonti iconografiche fino all’attuale persistenza di filari all’interno di proprietà private. È prevista, come ulteriore iniziativa, la messa a dimora di due “filari didattici” attraverso l’impiego di alcune delle varietà selezionate, che verranno allevate secondo la tecnica del tutore vivo e dell’alberello; questo vigneto, inteso come “luogo pedagogico vivente”, sarà presto messo al servizio di scuole, famiglie e gruppi di interesse che vogliano conoscere l’evoluzione storica delle tecniche di allevamento del paesaggio vitato senese; inoltre, verranno promosse attività di educazione ambientale diversificate per fascia d’età (scuola dell’infanzia, primaria e secondaria/adulti) e per programmazione, oltre a percorsi terapeutico-riabilitativi (ortoterapia) e di inclusione socio-lavorativa per persone con disabilità, anziani e soggetti in condizioni di marginalità sociale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] AGOSTINIANI L., Il vino degli Etruschi, in Tomasi, Cremonesi 2000, pp. 103-108.
- [2] ARANGUREN B., BELLINI C., MARIOTTI LIPPI M., MORI SECCI M., PERAZZI P., Testimonianze dell'uso della vite nel Bronzo Medio: nuovi dati da San Lorenzo a Greve (Firenze), in [12] pp. 125-131.
- [3] ASCANI E., Piante autoctone. Storia e coltivazione delle piante da frutto nel territorio senese, Siena 2007.
- [4] ASCANI E., Vitigni coltivati nelle Masse di Siena, in [11] pp. 163-178.
- [5] BALDESCHI P. (a cura di), Il Chianti fiorentino. Un progetto per la tutela del paesaggio, Roma-Bari 2000.
- [6] BANDINELLI R., CESERI L., PIERAGNOLI L., GRATI G., Storia e ampelografia del territorio del Chianti Rufina, in [12] pp. 799-812.
- [7] BARBIERI G., CIACCI A., ZIFFERERO A. (a cura di), Eleiva, Oleum, Olio. Le origini dell'olivicoltura in Toscana: nuovi percorsi di ricerca tra archeologia, botanica e biologia molecolare, Atti della Giornata di Studi, San Quirico d'Orcia, Siena, 8 dicembre 2007, San Quirico d'Orcia 2010.
- [8] BASILE B., DI PASQUALE G., MONACO A., VELLA M., Sopravvivenze dell'antico paesaggio della vite in Campania, in [15], pp. 96-105.
- [9] BOTTO M., Anfore fenicie dai contesti indigeni del Latium Vetus nel periodo orientalizzante, in Rivista di Studi Fenici 21, 1993, pp. 16-19.
- [10] CIACCI A., La ricostruzione del paesaggio vitivinicolo antico: l'indagine sui vitigni e la circolazione varietale, in [15], pp. 74-79.
- [11] CIACCI A., GIANNACE M., Senarum Vinea. Il paesaggio urbano di Siena. Forme di recupero e valorizzazione dei vitigni storici, Siena 2012.
- [12] CIACCI A., RENDINI P., ZIFFERERO A. (a cura di), Archeologia della vite e del vino in Toscana e nel Lazio. Dalle tecniche dell'indagine archeologica alle prospettive della biologia molecolare, Firenze 2012.
- [13] CIACCI A., ZIFFERERO A., «Progetto VINUM»: prospettive di ricerca in area popoloniese, in Botarelli L., Coccoluto M., Mileti M.C. (a cura di), Materiali per Populonia 6, Pisa 2006, pp. 397-419.
- [14] CIACCI A., ZIFFERERO A., Archeologia della produzione e dei sapori. Nuovi percorsi di ricerca in Etruria, Siena 2009, pp. 47-50.
- [15] DI PASQUALE, G. (a cura di), Vinum Nostrum. Arte, scienza e miti del vino nelle civiltà del Mediterraneo antico, Firenze 2010.
- [16] DI PASQUALE G., ALLEVATO E., MIGLIOZZI A., La sopravvivenza della piantata aversana: un paesaggio straordinario a rischio di estinzione, in [12] pp. 821-826.
- [17] Etruschi 2006, Gli Etruschi da Genova ad Ampurias, Atti del XXIV Convegno di Studi Etruschi e Italici, Pisa-Roma 2006.

- [18] FAILLA O., Dalla vite selvatica alla vite domestica: un problema ancora aperto, in Biagini B. (a cura di), *Origini della Viticoltura*, Podere Forte - Castiglione d'Orcia 2011, pp. 79-93.
- [19] FORNI G., La matrice euromediterranea della nostra viticoltura. La prospettiva pluridisciplinare, in [12], pp. 93-118.
- [20] GIANNACE M., Le vigne di Siena: diario dei sopralluoghi. E fu così che apparve il Gorgotesco, in *Terre del Vino* 9, settembre 2009, pp. 19-23.
- [21] GIANNACE M., Il progetto VINUM: siti archeologici e persistenza della vite silvestre in Etruria, in [15], pp. 80-83.
- [22] GIANNACE M., Alla ricerca del vino di Siena. Storia di un progetto e delle sue opportunità di applicazione, in *Terre del Vino* 9, gennaio/febbraio 2010, pp. 36-39.
- [23] IMAZIO S., SOMASCHINI A., BIAGINI B., GRASSI F., LABRA M., DEMATTIA F., SCIENZA A., FAILLA O., «Progetto VINUM»: metodi di analisi del genoma e primi risultati, in [12] pp. 601- 622.
- [24] LABRA M., FAILLA O., FOSSATI T., CASTIGLIONE S., SCIENZA A., SALA F., Phylogenetic Analysis of Grapevine cv. Ansonica Growing on the Island of Giglio, Italy, by AFLP and SSR Markers, in *Vitis* 38, 1999, pp. 161-166.
- [25] PALLECCHI S., Dietro la forma della città. Il contributo dell'archeologia urbana all'identificazione degli antichi spazi verdi nell'area di Siena, in [11], pp. 91-99.
- [26] PERKINS P., Production and Commercialization of Etruscan Wine in the Albegna Valley, in [12], pp. 413-426.
- [27] RIZZO M.A., Le anfore da trasporto e il commercio etrusco arcaico I. Complessi tombali dell'Etruria meridionale, Roma 1990.
- [28] ROMBAI L., SIGNORINI M. s.d., Il paesaggio agricolo, patrimonio storico-culturale della Toscana, s.d. [www.pratoagenda.it/documenti/41.ItaliaNostra.pdf](http://www.pratoagenda.it/documenti/41.ItaliaNostra.pdf).
- [29] SCIENZA, A., FAILLA O., La circolazione dei vitigni in ambito padano-veneto ed atesino: le fonti storico-letterarie e l'approccio biologico-molecolare, in Forni G., Scienza A. (a cura di), *2500 anni di cultura della vite nell'ambito alpino e cisalpino*, Trento 1996, pp. 185-268.
- [30] SCIENZA, A., FAILLA O., GEUNA F., LABRA M., Circolazione varietale antica in ambito culturale adriatico, in [35], pp. 185-195.
- [31] SERENI E., Per la storia delle più antiche tecniche e della nomenclatura della vite e del vino in Italia, in *Atti e Memorie dell'Accademia Toscana di Scienze e Lettere «La Colombaria»* 29, 1964, pp. 75-204.
- [32] SERENI E., *Storia del paesaggio agrario italiano*, Roma-Bari 1986.
- [33] TOMASI, D., CREMONESI C. (a cura di), *L'avventura del vino nel bacino del Mediterraneo. Itinerari storici ed archeologici prima e dopo Roma*, Conegliano Veneto 2000.
- [34] TORELLI M., *Vino greco e vino etrusco, vini speziati e vini indigeni*, in Marchetti Lungarotti M. G., Torelli M. (a cura di), *Vino. Tra mito e cultura*, Milano 2006, pp. 33-39.

- [35] VIGNANI R., PAOLUCCI E., SCALI M., BIGLIAZZI J., CRESTI M., ZORZI V., Il «Progetto ArcheoVino»: caratteri e genoma della vite silvestre in Maremma, in [ ], pp. 653-661.
- [36] VITALI, D. (a cura di), La produzione e il commercio del vino nell'Etruria romana: le fornaci di Albinia (Orbetello, Grosseto), in [ ] pp. 427- 436.
- [37] ZIFFERERO A., Il contributo dell'archeologia alla pianificazione territoriale: il Parco dei Monti della Tolfa, in Amendolea B. (a cura di), Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico, Roma 1999, pp. 74-82.
- [38] ZIFFERERO A., Archeologia sperimentale e parchi archeologici, in Bellintani P., Moser L. (a cura di), Archeologie sperimentali: metodologie ed esperienze fra verifica, riproduzione, comunicazione e simulazione, Trento 2003, pp. 49-76.
- [39] ZIFFERERO A., Il paesaggio agrario in area tirrenica: la produzione e il commercio del vino etrusco, in Di Pasquale 2010, pp. 66-73.
- [40] ZIFFERERO A., Parchi per l'archeologia e il paesaggio: uno sviluppo possibile per ArcheoVino, in [12], pp. 683-704.

## MUSICA E RIVOLUZIONE SCIENTIFICA

SERGIO GIUDICI

*Dipartimento di Fisica "Enrico Fermi", Università di Pisa*

### Introduzione

Gli storici della scienza hanno coniato l'espressione "rivoluzione scientifica" per indicare quella frattura tra gli antichi e i moderni risalente al '600 con il consenso accordato al metodo sperimentale codificato da Galileo Galilei. La metodologia galileiana può essere sintetizzata come "l'arte di porre le domande alla natura e di ascoltarne le risposte", un interrogatorio, condotto nel linguaggio della matematica, nel corso del quale la natura, sottoposta ad una serie di esperimenti opportunamente congegnati, è costretta a svelarsi.

Lungi dall'essere una categoria storica ben definita, la nozione di "rivoluzione scientifica" è stata variamente interpretata: c'è chi ne ha sottolineato l'aspetto innovativo radicale e rivoluzionario, chi invece ne ha smussato i contorni suggerendo una visione più continuista secondo cui la "rivoluzione scientifica" sarebbe il punto culminante di un lento processo di riappropriazione della scienza antica (ellenistica) combinata con il sapere tecnico medievale. In questo contesto, la "rivoluzione scientifica" può essere letta come un prodotto tardivo dell'umanesimo e del rinascimento, maturato attraverso la (ri)lettura dei testi antichi, la critica ad Aristotele e la (ri)elaborazione del platonismo matematico emendato dalla sua componente pitagorica.

La presa di distanza dalla numerologia pitagorica avviene tra '500 e '600 in molti ambiti uno dei quali, poco discusso e sicuramente assai poco divulgato, è quello della teoria musicale con la confutazione della teoria pitagorica della consonanza ad opera di Vincenzo Galilei, padre di Galileo. Vincenzo conduce una critica serrata alla tradizione sulla base di esperimenti di acustica opportunamente concepiti che anticipano in modo significativo le attività di laboratorio di Galileo. Gli esperimenti condotti da Vincenzo Galilei sono stati una tappa fondamentale nella educazione di Galileo e hanno *"il merito di aver fornito al figlio un imprinting epistemologico, dimostrando che arte e scienza – due dimensioni della cultura umana ritenute troppo spesso agli antipodi e sostanzialmente incomunicanti – possono non solo essere collegate tra loro da fili piuttosto robusti, ma anche che questo processo a volte carsico di trasmissione culturale è per sua natura bidirezionale: il passaggio può avvenire dall'una all'altra, dalla scienza all'arte, ma anche dall'arte alla scienza, secondo percorsi imprevedibili."*<sup>1</sup> Uno di questi percorsi è quello che dai primi

1 Pietro Greco, "Vincenzio e l'imprinting epistemologico di Galileo Galilei", JCOM ,4,1, (2005).

risultati di acustica di Vincenzo Galilei giunge alla “*Armonia ridotta ai suoi principi naturali*” di Jean Philippe Rameau. A questo percorso abbiamo dedicato un evento realizzato nell’ambito delle iniziative di Pianeta Galileo del 2012-2013.

### **Da Galilei a Rameau**

Vincenzo Galilei nasce a Santa Maria del Monte, in area Pisana, nel 1520. Grazie alla sua fama come compositore e liutista è accolto nella camerata dei Bardi, un gruppo di eruditi fiorentini, studiosi dei testi classici, che si proponeva – tra l’altro – di riportare in vita il teatro greco ripristinando sulla scena l’antica unione tra parole e musica. Intorno al 1561, grazie al mecenatismo dei suoi protettori, Vincenzo è a Venezia dove studia teoria musicale sotto la guida di Gioseffo Zarlino, uno dei maggiori compositori e teorici musicali dell’epoca. Rientrato in toscana, nel 1562 si sposa con Giulia Venturi degli Ammannati e nel 1563 la famiglia si stabilisce a Pisa dove nell’anno successivo nasce il primogenito Galileo. Nel decennio compreso tra 1570 e 1580 Vincenzo si occupa di teoria musicale e nel 1581 dà alle stampe il *Dialogo della musica antica et della moderna* che innesca la polemica con il suo maestro veneziano Zarlino. La disputa verteva sulle molte questioni teoriche sollevate dalla “rivoluzione stilistica” in campo musicale che nel tardo ‘500 aveva da un lato prodotto l’elaborata polifonia manierista, dall’altro spingeva verso la sperimentazione della monodia accompagnata da cui sarebbe nato un genere totalmente nuovo: l’opera lirica. Il canto accompagnato non era certo una novità: la musica medievale e rinascimentale aveva previsto in molte situazioni la presenza di voci e strumenti, tuttavia sono molto pochi gli esempi di notazione musicale precisa a riguardo e l’accompagnamento era di solito affidato alla improvvisazione. Solo nel tardo ‘500, la monodia accompagnata diventa composizione rigorosa con una notazione esplicita del canto e del basso. Il maggior rigore richiesto agli esecutori pone, ad esempio, il problema della scelta della accordatura degli strumenti ad intonazione fissa destinati ad accompagnare la voce, la quale, al contrario, non è vincolata a nessun temperamento particolare. La rinuncia alla scala pitagorica era per molti versi desiderabile e veniva incontro alla maggior libertà con cui i compositori trattavano le dissonanze. Si doveva dunque mantenere la scala musicale pitagorica, tanto cara ai teorici conservatori e a Zarlino, oppure impiegare altre scale con diversa intonazione? Vincenzo disse la sua sulla questione e lo fece realizzando degli esperimenti fattuali in cui si misurava il suono<sup>2</sup> con il monocordo, uno strumento musicale ma anche strumento scientifico con il quale è possibile associare all’altezza di ogni nota la lunghezza della corrispondente corda vibrante. Vincenzo non si pone in astratto il problema dell’intonazione di un certo intervallo musicale semmai fa l’operazione inversa: chiede ad un cantante di intonarlo e cerca di misurare il rapporto tra i suoni che il cantante intona. Giudicando l’effetto musicale e avvalendosi delle misurazioni, Vincenzo cerca di definire un temperamento a cui gli strumenti devono attenersi, con buona pace della tradizione pitagorica che, al contrario, pretendeva di fissare a priori l’intonazione secondo rigide ricette nume-

2 Paolo Gozza (a cura di), “La musica nella rivoluzione Scientifica. Il Mulino, Bologna, 1989.

rologiche. I risultati di questi esperimenti sono presentati da Vincenzo nel *Discorso particolare intorno alle forme del Diapason* e nel *Discorso particolare intorno all'Unisono* ed eserciteranno una profonda influenza su Galileo, il quale ancora nel 1638 ritornerà sugli studi di acustica del padre:

Tre sono le maniere con le quali noi possiamo inacutire il tuono di una corda: l'uno è lo scorciarla; l'altra, il tenderla più, o vogliam dir tirarla; il terzo è assottigliarla. Ritenendo la medesima tiratezza e grossezza della corda, se vorremo sentir l'ottava, bisogna scorciarla la metà [...] ma se ritenendo la medesima lunghezza e grossezza vorremo farla montare all'ottava non basta tirarla il doppio ma ci bisogna il quadruplo.<sup>3</sup>

In notazione matematica moderna, il risultato galileiano si riassume in una legge empirica, nota come legge di Pitagora-Galilei, che mette in relazione la frequenza  $v$  di un suono con la lunghezza  $L$ , la tensione  $T$  e la massa per unità di lunghezza  $\rho$  di una corda vibrante secondo l'espressione:

$$v = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

Questa legge non solo è un risultato scientificamente interessante di per sé ma mette in luce una contraddizione nella teoria Zarlिनiana della consonanza. Infatti, secondo lo schema pitagorico, la natura consonante del bicordo do-sol (quinta giusta) era riconducibile alla semplicità del rapporto  $3/2$  che sussiste tra le lunghezze delle corde corrispondenti ai due suoni. I rapporti semplici e dunque consonanti, erano quelli in cui compaiono i numeri 1,2,3,4 che formano la *tetraktys pitagorica*. Al contrario, l'effetto dissonante del bicordo do-re, individuato dal rapporto  $9/8$ , era spiegato in termini di estraneità alla *tetraktys*. Tuttavia, se si considera non il rapporto tra le lunghezze ma quello tra le tensioni, il caso della quinta giusta risulta associato al rapporto  $(3/2)^2 = 9/4$  che cade fuori dalla *tetraktys*. Questa contraddizione mostrava quanto fossero fallaci i pregiudizi teorici zarliniani che pretendevano di confinare l'estetica musicale entro il rigido ed arbitrario misticismo numerico del pitagorismo.

La lezione di acustica sperimentale di Vincenzo si trasmette al figlio Galileo e attraverso Mersenne, Cartesio ed Eulero giunge a Joseph Sauveur (1653-1716) che nel 1700 scopre il fenomeno delle onde stazionarie e dei suoni armonici. Il fatto che il suono emesso da una corda vibrante non sia mai un suono singolo ma piuttosto una molteplicità di suoni armonici simultanei, tra i quali è contenuto l'accordo perfetto maggiore, costituisce il fatto empirico da cui prende le mosse la riflessione del musicista e teorico Jean Philippe Rameau, il quale cerca nella successione dei suoni armonici il fondamento naturale delle regole d'armonia<sup>4</sup>. Inizialmente concepita come strumento

3 Galileo Galilei, "Discorsi intorno a due nuove scienze", pag. 673, Galileo Galilei, opere, Utet, 2005.

4 Thomas Christensen, "Rameau and Musical Thought in the Enlightenment", Cambridge University Press, 1993.

didattico per insegnare ai giovani musicisti la realizzazione dell'accompagnamento, la teoria del basso fondamentale di Rameau diventa – almeno nel sogno del suo autore - il quadro teorico in grado di promuovere la composizione musicale da pratica artigianale a pratica scientifica. La proposta teorica di Rameau fu in un primo tempo favorevolmente accolta dagli Enciclopedisti che ne diedero ampia diffusione. La musica del XVIII secolo non è stata dunque pensata soltanto come una dilettevole successione di suoni ma nella grammatica musicale l'orecchio colto del XVIII secolo sente, o crede di sentire, la presenza di un ordine naturale scientificamente spiegato.

### **L'evento “Musica e Rivoluzione Scientifica”**

L'itinerario culturale che da Vincenzo Galilei porta con Rameau all'illuminismo, è stato oggetto di un incontro destinato alle scuole superiori, ma non solo, organizzato nell'ambito delle iniziative di Pianeta Galileo a Pisa, il 5 Novembre del 2012 presso l'associazione La Limonaia Scienza Viva. L'incontro era articolato in due momenti distinti: il primo di carattere seminariale, si è aperto con una relazione del prof. Marco Sozzi, docente di Fisica Musicale, intitolata “*Dalla pratica musicale al metodo sperimentale*”, seguito da una seconda relazione “*Il sogno di Rameau, esistono i principi naturali dell'armonia ?*” tenuta da me stesso; nella seconda parte l'ensemble il Rossignolo, specializzato nel repertorio Barocco, ha eseguito musiche di Bach, Telemann e Rameau.

L'obiettivo dei seminari non era tanto quello di esporre scolasticamente la materia quanto quello di mostrare, con taglio divulgativo, l'intreccio tra storia della Musica e storia della Scienza sperando di suscitare l'interesse del pubblico attraverso molteplici stimoli e suggestioni. Allo scopo abbiamo anche esibito al pubblico un particolare monocordo, realizzato dalla Ludoteca Scientifica Pisana (LUS) con il quale è possibile mostrare il fenomeno della risonanza e delle onde stazionarie.

Gli argomenti trattati sono per loro natura squisitamente interdisciplinari, coinvolgendo fisica, matematica, musica e filosofia e, nonostante il loro potenziale di efficacia didattica, sono raramente affrontati sia nelle scuole superiori dalle quali l'insegnamento musicale è escluso, sia negli istituti musicali che, forse a ragione, si concentrano soprattutto sugli aspetti tecnici esecutivi della musica a scapito di quelli storico-culturali.

La presenza dei musicisti dal vivo ha permesso di esemplificare - e questo è un punto importante - come il discorso teorico prenda effettivamente corpo nella esecuzione musicale dove il fenomeno acustico diventa risorsa espressiva e la scelta del temperamento e dell'accordatura influisce - e non poco - sulla resa estetica.

La risposta del pubblico e la sua partecipazione sono state al di là delle aspettative: la sala della Limonaia in grado di ospitare oltre un centinaio di persone, era piena. A questo successo, bisogna aggiungere, che hanno contribuito i quotidiani Il Tirreno, la Nazione e il quotidiano online PisaInforma.it che insieme a Rete Toscana Classica hanno dato notizia dell'evento.

Uno dei successi dell'iniziativa è stato anche quello di favorire l'incontro tra docenti universitari e insegnanti delle scuole superiori da cui è emersa una convergenza

di interessi riguardo al rapporto tra musica e scienza. Dopo questo incontro sono scaturite altre iniziative simili: nel 2013 l'associazione La Limonaia in collaborazione con il dipartimento di Fisica dell'università di Pisa ha offerto un ciclo di quattro seminari dedicati a Musica e Scienza, mentre il Liceo Vallisneri di Lucca ha richiesto ad alcuni docenti del dipartimento di Fisica un ciclo di lezioni dedicate ad argomenti simili come corso di aggiornamento per i propri insegnanti.

L'esperienza ha rafforzato in me la convinzione che se c'è stata una via musicale alla "rivoluzione scientifica"<sup>5</sup> allora può esserci anche una via musicale all'educazione scientifica. La musica nella scuola meriterebbe molto di più del semplice ruolo di comparsa: la musica piace agli studenti e piace che si parli di musica. Parlare di musica nella scuola, oltre che allenare all'ascolto consapevole, può essere una efficace scorciatoia didattica per parlare anche di altro: soprattutto di Scienza.

---

5 Paolo Gozza (a cura di), "Number to sound, the musical way to the scientific revolution", The western Ontario Series in Philosophy of Science, Vol. 64, 2000.