

WORKSHOP 6

*Scuola Secondaria II grado (scienze)***PERCORSO SULLE FORZE**

TANIA PASCUCCI

*Liceo Scientifico "F. Enriques", Livorno***1. Introduzione**

Questo lavoro nasce dall'esigenza di rinnovare l'azione didattica nell'insegnamento della Fisica, allo scopo di migliorare significativamente la qualità dell'apprendimento degli studenti. L'insegnamento tradizionale, di tipo prevalentemente trasmissivo, anche se eseguito con coscienza e professionalità, spesso conduce a risultati molto modesti: per esperienza personale, gran parte della classe si forma l'idea che i concetti scientifici abbiano un significato assoluto e inalterabile, comprensibile solo da una comunità d'iniziati e quindi praticamente inaccessibile agli studenti. Ricerche effettuate sulle modalità di apprendimento, condotte nell'arco degli ultimi venti anni, mostrano che fornendo una definizione scientificamente fondata di una grandezza non si elimina il problema: lo studente si troverà di fronte a dei veri e propri scogli concettuali tutte le volte che gli verrà proposta una riflessione che esula dal banale esercizio di *routine*.

Se si vuole intervenire in modo efficace sul sistema di apprendimento, bisogna progettare strategie didattiche mirate al superamento di tali ostacoli. In prima analisi il compito dell'insegnante deve essere quello di divenire sempre più consapevole di quali siano le rappresentazioni mentali e gli schemi concettuali che già sono posseduti dagli studenti e di come questi li utilizzino nell'interpretazione di un fenomeno.

Solo attraverso questa consapevolezza sarà possibile impostare un lavoro di vera e propria costruzione condivisa dei concetti, facendo capire agli studenti che la comprensione di un qualsiasi termine scientifico passa attraverso una successione evolutiva di significati, in cui si parte da un livello iniziale approssimativo ed intuitivo fino ad arrivare a livelli successivi di astrazione e sofisticazione.

Per questo la storia della scienza e del pensiero scientifico ci può venire in aiuto: ripercorrere con i nostri allievi i tentativi, gli sbagli, i cambiamenti di paradigmi che si sono succeduti nell'affermarsi di un concetto scientifico, può efficacemente aiutarli nel processo di *costruzione di conoscenza*; sapere che anche grandi pensatori hanno commesso errori d'interpretazione analoghi a quelli che loro fanno continuamente a scuola, può infonder loro coraggio. La storia della scienza vista non come una disciplina con contenuti da aggiungere a quelli scientifici, ma come guida di riferimento per la costruzione di una teoria scientifica, per ripercorrere l'impresa scientifica, riappropriandosi anche della sua dimensione umana.

Infine, per ciò che riguarda l'attività osservativa, esplorativa e di laboratorio va detto che l'*esperienza* è certamente fondamentale per capire meglio le idee scientifiche, ma da solo non basta: occorre anche favorire lo sviluppo dell'immaginazione. Ad ogni esperienza va attribuito un senso, condiviso con gli studenti, attraverso una discussione su come questi fatti sperimentali si collegano con le nuove idee. Inoltre, si devono scegliere "esperienze esemplari", non solo di supporto alla teoria, ma anche per l'interesse che esse hanno nella vita quotidiana.

2. Perché un percorso didattico sulle forze è metodologicamente innovativo?

Un insegnamento significativo della Fisica non può prescindere dalla costruzione condivisa dei concetti scientifici, che deve avvenire attraverso la riflessione, l'osservazione sperimentale, l'intuizione e la deduzione. Il concetto di *forza* si presta particolarmente bene a questo scopo per i seguenti quattro motivi.

- a) Si tratta di uno dei concetti fondamentali della fisica classica ed una sua comprensione più profonda aiuterà lo studente nel corso di tutto il suo percorso formativo. Di contro, come vedremo meglio in seguito, si tratta di una di quelle grandezze fisiche in cui gli schemi di senso comune posseduti dai ragazzi e in generale da non esperti sono particolarmente radicati e si discostano maggiormente dalla definizione scientificamente accreditata.
- b) È uno dei concetti che si incontrano per primi nella programmazione curricolare; se agli studenti viene proposto un percorso di questo tipo, diventeranno da subito consapevoli che la comprensione di ogni grandezza fisica richiede processi analoghi a quello di cui sono stati protagonisti; pertanto, difficilmente potranno in seguito accontentarsi di una definizione secca e frettolosa, non costruita, come di solito viene proposta nei manuali;
- c) Gli apparati sperimentali richiesti per un percorso di questo tipo, anche relativi ad esperimenti cruciali, sono facilmente reperibili in ogni laboratorio scolastico.
- d) Il percorso si presta molto bene a essere verticalizzato. È evidente che la prima parte del lavoro didattico potrebbe essere proposta, con qualche piccola ricalibrazione, anche a livello di scuola media. Sarebbe auspicabile che anche (e soprattutto) nella scuola media gli studenti divenissero protagonisti attivi di percorsi di apprendimento di questo tipo, volutamente più qualitativi, allo scopo di guidarli ad una interpretazione corretta dei fenomeni legati alla vita quotidiana, che solitamente vengono visti senza essere realmente osservati.

Inoltre la consapevolezza che, per comprendere il significato di un concetto scientifico, è sempre necessaria una costruzione di questo tipo, fornisce ai ragazzi gli strumenti per:

- capire che i concetti scientifici sono creati dall'intelligenza umana e non sono

qualcosa che è sempre esistito e che qualcuno scopre come si scopre una roccia o un reperto archeologico; pertanto il loro significato non è assoluto e inalterabile, ma si è modificato nel corso della storia della scienza;

- capire che la definizione accurata di un concetto scientifico affonda le radici nell'esperienza condivisa e nelle parole più semplici definite in precedenza, ovvero che prima c'è bisogno di un'idea e poi di un nome;
- metterli in guardia da chi introduce termini tecnici senza aver dato prima una definizione;
- comprendere la distinzione tra osservazione e deduzione – processi sempre presenti nella costruzione di una teoria scientifica;
- comprendere come l'attività scientifica sia un'impresa umana che avviene attraverso la collaborazione e la riflessione tra individui; l'attività svolta in classe diventa quindi una simulazione dell'impresa scientifica,
- capire che ci sono domande a cui la scienza può dare risposta (con quali modalità la gravità si presenta ai nostri occhi? Con quali metodi e strumenti posso cercare di interpretarla?), mentre ce ne sono altre che non hanno senso in ambito scientifico (che cos'è la gravità? Che cos'è la luce?)

3. Fase I: prime idee sulla forza

Per avere un'idea sufficientemente dettagliata degli schemi mentali degli studenti a proposito delle forze, è bene che tali schemi siano analizzati preliminarmente con un test d'ingresso, progettato in modo che gli alunni possano esprimere il proprio pensiero in situazioni che coinvolgono il concetto di forza. Per esperienza personale, ne risulta in genere una situazione piuttosto variegata, che va dal concetto di forza inteso come *sforzo*, che solo oggetti animati possono esercitare, alla forza come *impeto*, che viene posseduto da un corpo e via via si consuma man mano che il moto procede, e alla forza confusa con la *velocità* (concezione aristotelica). La forza come *interazione* sembra invece riscuotere minor successo nelle rappresentazioni mentali degli alunni. Gli abbozzi dei diagrammi di forza spesso mostrano ancora più chiaramente come, in generale, regni nella testa degli studenti una totale confusione. Il test può servire come base di partenza per impostare un lavoro di costruzione e riorganizzazione di questi schemi legati alla fisica ingenua. È utile che durante tutto il percorso gli studenti riflettano sulle risposte che avevano dato al test iniziale. Le discussioni collettive che ne scaturiscono confermano l'efficacia di un approccio metodologico di questo tipo, perché si riscontra, generalmente, che c'è stata una riorganizzazione del loro pensiero verso una direzione sicuramente più coerente e scientifica. Spesso gli studenti si trovano a fare dell'ironia su ciò che erano le loro pre-conoscenze sull'argomento, ma la dimensione storica presente nel percorso ha permesso loro di confrontarsi con i grandi pensatori del passato (Platone, Aristotele, Keplero, Newton) e questo confronto ha valorizzato il loro

modo di elaborare conoscenze, offrendo loro la possibilità di sbagliare e di imparare dai propri errori.

In questa prima fase si parte dalla condivisione dell'idea primitiva di forza come sforzo muscolare (visione animistica della forza, tipica degli albori della civiltà) per estendere, attraverso discussioni ed osservazioni qualitative, l'idea che anche oggetti inanimati come chiodi, muri, tavoli, o come pure la Terra, sono capaci di esercitare forze

Si cominciano ad analizzare gli effetti statici prodotti da forze su corpi deformabili ponendo l'accento sul fatto che ciò che è osservabile non è la forza in se ma l'effetto che essa produce su un corpo. In questo contesto si può introdurre il concetto di vincolo.

Uno degli aspetti innovativi di questo percorso è di far riflettere gli studenti sul concetto di peso (che solitamente fa già parte del bagaglio delle loro rappresentazioni mentali, essendo il peso un argomento che è stato affrontato anche nella scuola secondaria di primo grado) prima ancora che su quello di massa (inerziale), che scaturirà in modo naturale attraverso un'analisi del primo e del secondo principio della dinamica. Per tale motivo questa prima parte si innesta perfettamente in un'ottica di curriculum verticale.

I ragazzi verranno sollecitati a esplicitare le loro concezioni sul peso di un corpo, allo scopo di condividere l'idea di peso come forza perché anch'esso capace di indurre deformazioni su un corpo elastico. Il traguardo di questa prima fase è quello di costruire misuratori di forza, utilizzando pesi campione, ovvero: giungere a una *definizione operativa* della forza.

4. Fase II: forza come interazione

La seconda fase del percorso è particolarmente delicata perché si pone l'obiettivo di costruire e condividere con gli studenti il concetto moderno di forza inteso come interazione, che solitamente riscuote meno "successo" nelle rappresentazioni mentali degli allievi: basta pensare a come viene enunciato il terzo principio della dinamica dalla maggior parte degli studenti: spesso si tratta di una tiritera, imparata in modo dogmatico e mai pienamente compresa, visto che molti di loro spesso si confondono ritenendo che l'azione e la reazione siano applicate sullo stesso corpo.

È didatticamente conveniente, e soprattutto stimolante per la classe, ricordare come il concetto di forza si sia evoluto nel corso dei millenni, dagli albori della civiltà per arrivare alla moderna concezione di forza intesa come interazione, ripercorrendo insieme a loro le tappe principali. L'idea è di preparare gli studenti a non pensare in termini di qualcuno o qualcosa che compie un'azione su qualcos'altro, bensì a un'azione reciproca tra i corpi. Quindi vanno proposte osservazioni, tratte dalla vita quotidiana, invitando i ragazzi a inquadrarle in termini di interazioni. Contestualmente si cominceranno a tracciare i primi diagrammi di forza per le situazioni più semplici, avendo cura di separare gli oggetti per una maggiore chiarezza (ciò che sistematicamente non fanno invece quasi tutti i libri testo). L'importante è che gli studenti riflettano sul fatto che, per esempio, durante un urto, gli oggetti coinvolti si scambiano delle forze e che noi ne

riconosciamo l'esistenza attraverso l'osservazione delle deformazioni prodotte. A questo scopo ci sono delle foto molto utili che quasi tutti i testi riportano quando parlano della quantità di moto e degli urti. Per esperienza personale è significativo osservarle e discuterle in questo contesto; se il concetto di forza come interazione viene condiviso e consolidato, gli studenti arriveranno ad affrontare il principio della conservazione della quantità di moto con maggior consapevolezza.

Nello sviluppo di questa fase risulta particolarmente efficace suddividere i tipi di interazioni sperimentate in categorie (forze di contatto, interazioni a distanza, attive, passive). È stata prestata particolare cura a tale suddivisione, che ha impegnato le discussioni in classe per un tempo molto maggiore rispetto a quello che normalmente vi dedica anche un buon libro di testo. La suddivisione in categorie ha avuto il duplice vantaggio di aiutare gli studenti nelle loro successive stesure dei diagrammi di forza (che sono migliorati nel tempo, a livello generale, in maniera quasi sorprendente) e di scardinare il preconetto diffuso ricordato all'inizio secondo cui un oggetto inanimato non può esercitare una forza. Anche in questo caso è fondamentale ripercorrere le tappe storiche che hanno condotto all'idea di forza come interazione, anche a distanza. Questo è il momento di riflettere sul peso come forza d'interazione che i corpi scambiano con la Terra. La discussione può partire chiedendo ai ragazzi perché i corpi cadono? Poiché senz'altro qualcuno di loro risponderà: "Perché c'è la gravità", ciò fornisce lo spunto per una lettura in classe di un brano particolarmente significativo di Galileo, tratto dal *Dialogo sopra i due massimi sistemi*:

SIMPLICIO: La causa di quest'effetto (cosa è che muove verso il basso gli oggetti terrestri) è notissima, e ciaschedun sa che è la gravità.

SALVIATI: Voi errate, signor Simplicio: voi dovevi dire che ciaschedun sa ch'ella si chiama gravità. Ma io non vi domando del nome, ma dell'essenza della cosa: della quale essenza voi non sapete punto più di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro, eccettuatene il nome, che a questa è stato posto e fatto familiare e domestico per la frequente esperienza che mille volte il giorno ne veggiamo; ma non è veramente che noi intendiamo [...] Che principio o che virtù sia quella che muove la pietra in giù ...

I ragazzi dovrebbero comprendere che non è la parola "gravità" a spiegare tutto (anzi, il termine tecnico, in sé, non spiega un bel nulla) e anche dire che la Terra attira i corpi verso di sé significa solo che c'è un'interazione (di cui forse molti di loro hanno individuato solo una parte).

È il momento di proporre ai ragazzi l'idea che non è solo la Terra ad attirare i corpi, ma anche i corpi ad attirare la Terra: si solleciteranno quindi gli allievi ad inserire la Terra nei loro diagrammi di forza e a confrontarsi costantemente tra di loro.

Sarà utile insistere anche sulla differenza tra forze a distanza (gravitazionali, magnetiche) e di contatto, che non agiscono più quando cessa il contatto tra i corpi. Ciò ci sarà di notevole aiuto quando verrà introdotto il concetto di spinta iniziale.

La distinzione tra forze attive (trazioni o spinte esercitate da corpi animati e non, forze gravitazionali, elettriche e magnetiche) e passive (che nascono e si modificano in risposta a quelle attive, come quella dovuta alla deformazione di una molla, di un tavolo ecc.) servirà per riconoscere che la forza d'attrito fa parte della seconda categoria. Bisognerà far osservare che una forza passiva, come l'attrito, non può aumentare illimitatamente, perché l'aumento continua fin tanto che qualcosa non si rompe. Solo dopo un'ampia discussione, scaturita da osservazioni qualitative, si può introdurre la legge empirica dell'attrito ed inserire la forza d'attrito nei diagrammi di forza di situazioni statiche, con oggetti in procinto di muoversi.

Un'esperienza di particolare rilievo in questa costruzione del concetto di forza come interazione è quella relativa all'analisi quantitativa dell'interazione magnetica di due calamite. Si possono montare due calamite su due carrelli posti su una guida a basso attrito (non necessariamente deve essere quella a cuscino d'aria) e si misura con dei dinamometri la forza che ognuno di essi subisce per effetto dell'altro (vedi foto seguente).



L'esperienza permette di analizzare la forza magnetica e di inserirla a pieno titolo, insieme a quella di gravità, nel contesto delle interazioni a distanza. L'esperimento mostra che, anche quando i due carrelli hanno peso diverso e su di essi sono montati magneti diversi, le forze che questi si scambiano sono approssimativamente uguali. Nonostante che i risultati sperimentali ottenuti confermino le ipotesi formulate sulle interazioni tra corpi, non pochi studenti si stupiscono di fronte a queste misure: molti di loro continuano infatti a pensare che le forze tra i carrelli, se questi hanno peso diverso o se è montata su essi una diversa calamita, non coincidono.

A questo punto del percorso, dopo tutte le osservazioni, esperienze e riflessioni collettive viene naturale enunciare il terzo principio della dinamica nel seguente modo: *le forze sono interazioni che possono avvenire per contatto o a distanza, si manifestano sempre a coppie, agiscono su corpi diversi, con uguale intensità ma in versi opposti.*

5. Fase III: quando la spina iniziale cessa ...

La terza fase – come poi la quarta – deve condurre lo studente a riorganizzare nel proprio pensiero una visione corretta del concetto di forza. In quest'ottica, il tempo impiegato per le osservazioni e le riflessioni precedenti, che hanno portato all'idea di forza come interazione, permette una maggiore comprensione di concetti e fenomeni dinamici che solitamente si analizzano a livello di scuola secondaria superiore. Si può ora introdurre il concetto di “corpo isolato” come: a) un corpo che non interagisce, ovvero non è a contatto, con nessun altro corpo, ed è sufficientemente lontano da altri corpi con cui può interagire a distanza, b) un corpo per il quale (anche se interagisce con altri corpi) la risultante delle forze a esso applicate risulta uguale a zero. Si proporranno, in questo contesto, riflessioni collettive sul moto di un corpo sulla rotaia a cuscino d'aria. In alternativa si possono proporre filmati che illustrano esperimenti analoghi.

È necessario soffermarsi sul concetto di “spinta iniziale”, chiedendo alla classe che cosa si intenda con questo termine. In base a quanto precedentemente osservato sulle forze di contatto, non dovrebbe essere difficile far capire agli studenti che la spinta iniziale è una forza che agisce in un breve periodo di tempo (ad esempio, il tempo che un corpo sta a contatto con il corpo che lo sta spingendo). Se la forza agisce per un breve tempo, anche il suo effetto dovrà essere analizzato in questo breve intervallo di tempo. Gli alunni dovrebbero essere in grado di stabilire che l'effetto principale di tale forza è quello di portare la velocità del corpo da un valore zero ad un valore diverso da zero; ma quando c'è una variazione di velocità in un intervallo di tempo significa che c'è un'accelerazione (una minima padronanza dei concetti cinematici relativi al moto rettilineo è uno dei prerequisiti per lo svolgimento del percorso).

L'effetto di una forza è quindi un'accelerazione. Il risultato ottenuto con questo ragionamento è in sostanza il punto di vista sostenuto da Newton, in contrasto con la concezione aristotelica del moto che considerava la velocità come effetto di una forza applicata ad un corpo. Se chiediamo alla classe “che cosa succede quando la forza non agisce più?” gli studenti dovrebbero concordare sul fatto che, se la causa cessa, il corpo continuerà a muoversi alla velocità che aveva raggiunto nell'istante in cui la forza cessa di agire. Questo ragionamento è coerente con quello che si osserva con la rotaia o meglio l'osservazione della rotaia può essere re-interpretata in termini di queste nostre nuove concezioni.

Eseguendo le osservazioni, dovremo condurre gli allievi a pensare che non è importante chiedersi cosa mantiene un corpo in movimento, quanto piuttosto ricercare la causa che lo fa fermare. Sempre in maniera qualitativa si può cercare di capire la differenza tra l'effetto di una spinta iniziale (forza impulsiva) e una forza continua. A questo proposito, sarà utile mettere a confronto la concezione aristotelica del moto con quella galileiana e newtoniana, discutere della concezione “empirista” di Aristotele e arrivare alla conclusione che la differenza fondamentale tra Aristotele e Galileo sta tutta nel *modo* in cui si ponevano di fronte all'esperienza, cioè nel loro diverso apparato

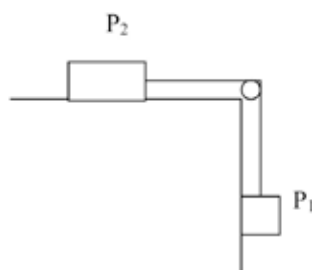
concettuale. Con la formulazione del principio d'inerzia, Galileo e Newton realizzano una vera e propria sfida all'idea aristotelica del moto naturale, affermando che lo stato di quiete e quello di moto rettilineo uniforme sono perfettamente naturali.

Questo può essere anche un primo momento per ridiscutere con gli allievi le loro risposte al test d'ingresso: molte loro preconcezioni possono essere infatti inquadrare in una visione aristotelica del moto. Gli studenti saranno quindi sollecitati a riorganizzare il proprio pensiero e vedranno valorizzate le loro rappresentazioni mentali. Dobbiamo far capire ai nostri studenti che, prima del percorso, il loro modo di interpretare la realtà era diverso, forse più ingenuo, ma non per questo meno dignitoso, visto che molti dei loro schemi mentali assomigliano a quelli di grandi pensatori del passato.

6. Fase IV: verso il secondo principio della dinamica

In questa fase si ricostruisce il concetto d'inerzia, attraverso un ragionamento molto simili a quello di Newton. È importante che di questo concetto non sia stato fatto uso nelle fasi precedenti: avrebbe dato spazio a numerosi fraintendimenti, dovuti alla confusione che di solito si fa tra concetti nel linguaggio comune. L'introduzione dell'inerzia in questa fase (e non prima) può essere efficace per rimuovere confusioni concettuali preesistenti, aiutando gli studenti a riorganizzare il proprio pensiero.

In primo luogo si propone una riflessione collettiva sull'apparecchio di Flechter, che è la rappresentazione schematica della rotaia a cuscinetto d'aria su cui gli studenti andranno a sperimentare e verificare determinate ipotesi, che condurranno al secondo principio della dinamica.



Gli studenti sono sollecitati a disegnare le forze agenti sui due corpi. Si chiede poi se esiste un valore minimo di P_1 per cui il sistema si mette in moto. Sicuramente qualcuno risponderà in modo affermativo: questo è il momento di ripensare alle precedenti esperienze di cinematica con la rotaia (o in alternativa ai filmati sul moto già visti). Con queste riflessioni non dovrebbe essere difficile arrivare alla conclusione che in assenza di attrito, il sistema si mette in moto qualunque sia il valore di P_1 (anche con la forza di una pulce o il peso di un granello di sabbia). Vanno poi analizzati i diagrammi di forza per i corpi separati evidenziando come, tra la corda tesa e i corpi si stabilisca, in base al terzo principio, una coppia di forze. Può darsi che alcuni studenti pensino che la tensione T_1 sul corpo 1 sia uguale e contraria a P_1 , come si trattasse di una situazione di equilibrio. Ma il moto di questo sistema è uniformemente accelerato, mentre se T_1 fosse uguale a P_1 il moto potrebbe essere solo uniforme, come era stato ampiamente

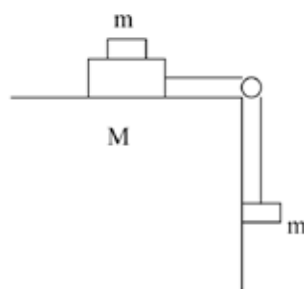
discusso nelle lezioni precedenti. Il ragionamento nel suo complesso conduce quindi alle seguenti conclusioni: a) il sistema in esame si mette in moto per qualunque valore di P_1 ; b) $P_1 > T_1$; c) $T_1 > T_2$.

Nelle lezioni successive dobbiamo considerare il principio d'inerzia come la tendenza dei corpi a mantenere il proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme in assenza di forze. Si può ragionevolmente definire l'inerzia come una proprietà comune a tutti i corpi: una volta messi in moto, essi continuano a muoversi a velocità costante a meno che una forza esterna non imponga un cambiamento. L'obiettivo è adesso quello di mettere a confronto le inerzie di vari corpi. Se l'inerzia è una sorta di resistenza che un corpo oppone quando dall'esterno si tenta di modificarne la velocità è vero che tale resistenza non è la stessa per tutti i corpi. Se si vuole conferire la stessa accelerazione a una monetina o ad una nave, occorrono forze notevolmente diverse. Molti studenti sono convinti che l'inerzia di un corpo sia legata al suo peso (mentre tenteremo di far capire, alla fine del percorso, che è piuttosto il peso, in quanto forza, che è legato dinamicamente all'inerzia).

Per evidenziare come l'inerzia sia qualcosa di profondamente diverso dal peso si possono fare esempi di moti su un piano orizzontale senza attrito, in cui il peso non ha alcuna influenza sul moto, visto che è equilibrato dalla reazione del piano. Con altri esempi (corpi isolati che non hanno un peso ma hanno sicuramente un'inerzia) si può rinforzare l'idea che peso e inerzia siano concetti profondamente diversi. Ci si può soffermare sulla distinzione che Newton fa nei *Principia* tra forza 'innata', come potenza a resistere (proporzionale alla quantità di materia) e forza impressa, azione esercitata su un corpo al fine di modificare il suo stato di riposo o di moto uniforme in linea retta. Questa forza 'innata', quale proprietà intrinseca della materia, è ciò che chiamiamo "massa". *Ammettiamo poi che corpi dello stesso materiale di ugual volume abbiano la stessa massa.*

È molto probabile che qualche studente puntualizzerà che tali corpi, sulla Terra, avranno anche lo stesso peso. L'osservazione è corretta e può essere facilmente verificata attraverso la bilancia a bracci uguali. Si puntualizzerà come da un confronto di forze peso, sulla Terra, possano essere confrontate anche le masse. Gli studenti cominceranno a essere più consapevoli dei motivi per cui questi concetti tendono a essere confusi. La proporzionalità diretta tra massa e peso ci permette, se vogliamo, anche di usare le stesse unità di misura per le due grandezze (ma è bene non dare troppa enfasi a questo fatto e mantenere unità distinte).

Ritornando all'apparecchio di Flechter, ci si chiede qual è l'inerzia che contrasta la forza P_1 . Per quanto detto, tutti e due i corpi offriranno resistenza, pertanto l'inerzia totale sarà la somma delle due loro inerzie. L'apparato sperimentale è quello classico della rotaia a cuscinio d'aria, schematizzato in figura; anche l'esecuzione delle misure si discosta solo in parte da quella canonica. È però significativamente diverso l'apparato concettuale con cui gli studenti si pongono di fronte alle misure (sicuramente hanno meno equazioni in testa).



Avevamo a disposizione 5 diverse masse campione m identiche tra loro, collocabili sul carrello di massa M , ma anche attaccabili al filo verticale. Spostando i campioni di massa in una o nell'altra posizione si può far variare la forza, tenendo costante la massa del sistema. L'analisi quantitativa, che può essere eseguita con una certa precisione, mostra come la forza applicata sia direttamente proporzionale all'accelerazione subita. Poiché in questa esperienza ciò che non è variato è la massa del sistema, possiamo anche identificare la costante di proporzionalità tra forza F ed accelerazione a con la massa, facendo rilevare che ciò che abbiamo osservato è coerente con una legge del tipo $F = M'a$ (ipotesi), con M' inerzia totale del sistema. Per avere una ragionevole verifica di una legge di questo tipo si può tener costante la forza e vedere che massa e accelerazione sono inversamente proporzionali. Bisogna però che in questo caso sia nota la massa del carrello, per lo meno in termini di unità campione. Misurando la massa del carrello si ripete l'esperienza facendo variare la massa del sistema. La relazione $F = ma$ risultata eccellentemente soddisfatta entro gli errori sperimentali. È quindi arrivato il momento di applicarla a numerosi esempi pratici.

7. Una lezione sulle forze come interazioni

Questa lezione segue quella in cui la forza è stata definita operativamente attraverso le deformazioni che essa produce nei corpi elastici (molle). L'idea non è certo nuova: già Platone concepiva la gravità come *la tendenza del simile ad attrarre il simile*; e Posidonio, appartenente alla scuola degli stoici, intendeva la forza come qualcosa che mette in relazione due oggetti, una "simpatia". (È probabile che l'idea della simpatia provochi ilarità nella classe). A questo punto è utile far sperimentare i ragazzi con alcune calamite per vedere quanto "si stanno simpatiche" e sollecitarli a dare un'interpretazione grafica di questa "simpatia".

Quelle antiche idee vengono riprese da Keplero: sua è l'idea che quando una pietra viene attratta dalla Terra, è anche la Terra che viene attratta dalla pietra. Ricordiamo che la stessa forza, applicata su corpi diversi, può produrre effetti diversi. In fondo siamo alla ricerca, come lo erano gli antichi scienziati, di un modello con il quale riuscire ad interpretare i fenomeni che ci circondano. In analogia con la schematizzazione che abbiamo fatto per le due calamite, come potremo rappresentare la situazione pietra-Terra?

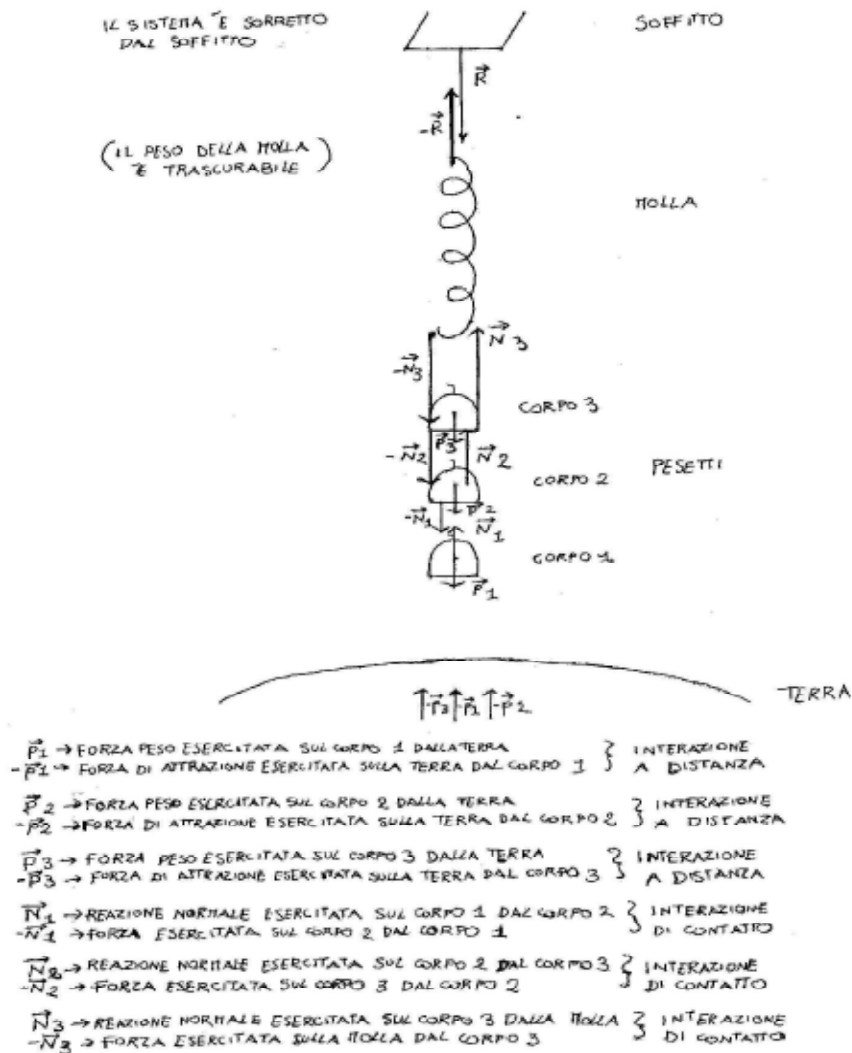
Vediamo adesso altri esempi. *Due sfere che si urtano tra di loro*: che cosa succede durante l'urto? La risposta che dovrebbe venir fuori è che durante l'urto le sfere si

scambiano delle forze. Come è possibile verificarlo sperimentalmente? (Proporre qualche foto in cui sono ben visibili le deformazioni prodotte da corpi urtanti.) *Pallina che rimbalza sul suolo*: è molto probabile che alcuni studenti abbiano difficoltà a pensare che il suolo si deformi. Possiamo aiutarli pensando a rimbalzi su membrane via via sempre più rigide. *Un corpo appeso ad una molla*: le interazioni analizzate sono uguali in intensità? L'esempio della molla mostra che ciò è ragionevole. A questo punto è opportuno riproporre una domanda del test d'ingresso, con riferimento a un urto fra un camion e una piccola automobile.

Un grosso camion urta frontalmente contro una piccola automobile. Durante l'urto

- a) il camion esercita sull'automobile una forza maggiore di quella che l'automobile esercita sul camion;
- b) l'automobile esercita sul camion una forza maggiore di quella che il camion esercita sull'automobile;
- c) nessuno dei due veicoli esercita una forza sull'altro; l'automobile resta schiacciata semplicemente perché si trova il camion davanti;
- d) il camion esercita una forza sull'automobile, la quale non esercita nessuna forza sul camion;
- e) il camion esercita sull'automobile la stessa forza che l'automobile esercita sul camion.

Si concorda con gli studenti che nel modello sia attribuita alle forze d'interazione la stessa intensità. Si assegna per casa la stesura di semplici diagrammi di forza, invitando i ragazzi a separare gli oggetti e a dare una descrizione verbale di ciascuna forza che agisce. Alla fine del percorso, gli studenti dovrebbero essere in grado di fornire diagrammi di forza come quello illustrato di seguito:



Traendo spunto da un articolo apparso sulla rivista dell'AIF (Associazione Insegnanti di Fisica) ho indicato la coppia azione-reazione come *forze gemelle*. Così, quando i ragazzi disegnano una forza, sono sollecitati a scoprire dove si trova la sua gemella (che deve essere sempre da qualche parte). Le osservazioni fatte portano a concludere che si possono avere due tipi di interazioni: quelle che avvengono per contatto tra i due corpi, come negli urti, negli appoggi, negli agganci, ma anche a distanza come la forza elettromagnetica e quella gravitazionale. *Perché i corpi cadono, ovvero, cos'è la gravità?* I critici di Newton lo accusarono di aver conferito alle forze qualità occulte, mentre coloro che abbracciarono la sua visione alla fine ignorarono il problema, diventando più newtoniani dello stesso Newton, tant'è che all'inizio del Novecento Ernst Mach ebbe a dire: "l'inconsueta incomprensibilità divenne una comune incomprensibilità".

WORKSHOP 6 – SINTESI DEI LAVORI

ELEONORA AQUILINI

Progetto Educazione Scientifica, Regione Toscana

Al lavoro di gruppo hanno partecipato dieci insegnanti, quasi tutti provenienti da Istituti Tecnici e Professionali. In qualità di coordinatrice ho introdotto i lavori mettendo in luce le finalità del Progetto TRIO della Regione Toscana, rivolto all'educazione scientifica, e sottolineando la necessità di innovare l'insegnamento scientifico, solitamente basato sulla scansione che propongono i libri di testo, dunque sotto forma di resoconto della scienza "finita". È importante che invece si colgano i processi vivi del *fare scienza* adottando metodologie più coinvolgenti, che inducano gli studenti ad amare la scienza.

Si ritiene, in base anche a considerazioni provenienti dalla psicologia e dalla pedagogia del Novecento, che metodologie induttive, le quali indaghino fenomeni non troppo carichi di teoria, siano le più efficaci nel primo ciclo, mentre, per quanto riguarda la scuola secondaria di secondo grado, il maggiore grado di complessità dei problemi trattati richiede una contestualizzazione storica ed epistemologica, che dia senso a quanto viene presentato a studiato. Anche in questo caso si tratta di lavorare seguendo una didattica laboratoriale che evidenzi i passaggi cruciali della scienza che si sta cercando di comprendere. Il progetto TRIO per l'educazione scientifica adotta quindi criteri diversi per il primo ciclo e il secondo ciclo, benché in ciascun caso questi criteri restino basati sulla significatività e sulla comprensibilità dei temi trattati.

L'esposizione di Tania Pascucci del percorso, rivolto al biennio, su "forza come interazione" ha evidenziato i seguenti aspetti innovativi sul piano metodologico: importanza di tener conto delle rappresentazioni mentali degli studenti, costruzione condivisa dei concetti scientifici, uso della storia come strumento didattico. Il percorso sulle forze prevede quindi un'analisi delle rappresentazioni mentali del concetto di forza, il concetto di forza come interazione, il primo principio della dinamica, il secondo principio della dinamica; si chiarisce, inoltre, che si vuol costruire, partendo dal concetto di peso, il concetto di massa; le forze sono viste come cause di deformazione; si stabilisce che anche il peso è una forza e la forza viene definita operativamente con la taratura di un dinamometro. Dopo l'esposizione generale di Pascucci sono state fatte alcune domande per capire meglio se il concetto di forza come vettore era già stato introdotto preventivamente, quali unità di misura si usano e come si opera in classe. La sensazione che si ha è quella che i partecipanti al workshop facciano fatica a distaccarsi da schemi consolidati di insegnamento della fisica.

La seconda parte del workshop ha riguardato la lezione sulle forze come interazione. La storia della scienza funziona come stimolo iniziale per guidare gli studenti allo schema scientifico corretto: si inizia con il concetto di attrazione come tendenza del

simile che attrae il simile e come “simpatia” (Posidonio), per arrivare a Keplero, con la reciprocità dell’attrazione fra la Terra e una pietra; si passa poi a esperimenti come quelli fra sferette che si urtano e quelli su oggetti appesi alle molle (legge di Hooke). La conclusione è che si hanno due tipi d’interazione: quelle per contatto e quelle a distanza. È di particolare significatività anche la parte sulla gravità, la cui natura rimaneva un mistero anche per Newton.

Le domande a seguito della lezione hanno riguardato la modalità di costruzione del percorso. Pascucci ha risposto che è stato necessario un anno di ricerca-azione in un gruppo di lavoro costituito da fisici. Un problema posto ha riguardato i tagli del programma che vengono fatti per svolgere in maniera approfondita argomenti come questo. Ci sono state poi domande che, pur apprezzando il percorso, esprimevano la richiesta di accelerare alcune procedure didattiche per arrivare prima alle conclusioni. Secondo uno degli insegnanti, legato ai modi tradizionali d’insegnamento della fisica, un po’ di nozionismo talvolta non guasta. Un’altra questione sorta è che un’impostazione di questo tipo può creare problemi alla classe se l’anno successivo l’insegnante cambia e si aspetta “altro” in termini di programma. È stato risposto che gli argomenti fatti in modo significativo hanno valore perché rimangono come patrimonio culturale. Pascucci ha anche sottolineato che c’è stata collaborazione con gli insegnanti di scienze e di filosofia. Da parte dei partecipanti al workshop c’è stato comunque apprezzamento per il percorso didattico proposto ed alcuni insegnanti hanno riferito di insegnare in modo analogo per quanto riguarda l’uso della storia della scienza. Allo stesso tempo, si è sottolineata da parte del gruppo l’importanza dell’uso del laboratorio.

È emersa la necessità di verificare se gli studenti che hanno seguito percorsi didattici con una simile impostazione siano avvantaggiati nel seguito degli studi e nella vita da cittadini. Una verifica “statistica” è difficile da pensare e da realizzare anche perché sono pochi gli insegnanti che lavorano in questo modo. Si è ritenuto fondamentale che esperienze di questo tipo vengano fatte conoscere agli insegnanti. A tale proposito si è fatto riferimento al sito del Progetto TRIO come utile strumento di divulgazione di queste esperienze.