

INTRODUZIONE AL CONCETTO DI ENERGIA

PAOLA FALSINI, Liceo Scientifico “A.M. Enriques Agnoletti”, Sesto Fiorentino
in collaborazione con **Silvia Pirollo**

DESCRIZIONE SINTETICA DELL'ATTIVITÀ

L'esperienza è stata svolta in una terza liceo scientifico: la prima volta nell'anno scolastico 2006/07 e da allora in ogni classe terza nello stesso periodo dell'anno; il percorso didattico, che ha occupato gli ultimi tre mesi dell'anno scolastico, è stato concepito in continuità con un percorso sulla Termodinamica, effettivamente realizzato nella stessa classe (quarta) nell'anno scolastico successivo. Entrambi i percorsi sono stati elaborati nell'ambito dell'iniziativa di formazione dell'IRRE Toscana “*Educazione scientifica e innovazione didattica-curricolare nelle scuole secondarie*”, svoltasi per tre anni scolastici a partire dal 2004/05, in collaborazione con l'insegnante Silvia Pirollo, che ha partecipato alla stessa iniziativa e realizzato gli stessi percorsi in un liceo artistico (classi quarta e quinta).

Essi sono stati elaborati e articolati sulla base della convinzione che la storia dei concetti scientifici possa suggerire un'azione didattica più efficace in termini di reale comprensione da parte degli studenti di quanto si va loro proponendo. Un riferimento particolarmente importante per l'elaborazione dei percorsi è stato una lezione del prof. Fabio Bevilacqua, dell'Università di Pavia, rivolta agli insegnanti, tenuta nel marzo del 2006 presso un liceo fiorentino, sul tema della storia del Principio di Conservazione dell'Energia. Quella lezione, in cui il prof. Bevilacqua parlò anche dell'idea di coniugare storia della Fisica e didattica, ha suggerito il filo conduttore del percorso sperimentato; al sito internet dell'Università di Pavia⁴ ci si è ampiamente riferiti per la presenza di testi sull'argomento.

Il percorso si è svolto successivamente al tema dei principi della dinamica e la gravitazione universale, che aveva occupato la prima parte dell'anno scolastico. Il tema dell'energia *non si conclude*: qualunque nuovo ambito sperimentale venga indagato (elettricità, magnetismo, ottica, ...) l'idea che esista una grandezza che si conserva, a cui si dà il nome di *energia*, sarà continuamente utilizzata e l'efficacia dell'analisi condotta con questa idea guida rappresenterà un'ulteriore conferma della validità del principio di conservazione in questione.

CONOSCENZE, ABILITÀ NECESSARIE PER LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ PROPOSTA

Si tratta di una classe che ha studiato fisica dalla prima con tre ore settimanali (corso PNI). I concetti e le leggi che costituiscono un prerequisito per questa esperienza sono: il concetto di forza, sia in condizioni di equilibrio che dinamiche; la descrizione del moto dei corpi, in termini cinematici e dinamici. L'equilibrio dei corpi rigidi, con l'introduzione del concetto di momento meccanico, non era stato trattato e si è svolto contestualmente al percorso.

Si vuole sottolineare poi la continuità metodologica con esperienze precedenti: l'introduzione al concetto di pressione dell'aria, in prima, il tema del movimento, in seconda, e quello della relazione tra forze e movimento, in terza, sono stati svolti con la stessa attenzione alla costruzione dei concetti, alimentata dalla storia della scienza. Si parte da una situazione problematica, concreta; si propone una questione, necessariamente semplificando, nei termini in cui fu affrontata dagli studiosi del passato; si cerca di far esplicitare il punto di vista degli studenti perché possa attuarsi il cambiamento concettuale dalle concezioni già presenti (che quasi sempre resterebbero implicite) alle concezioni scientificamente corrette.

OBIETTIVI DELL'ATTIVITÀ CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AGLI ELEMENTI DI TEORIZZAZIONE, QUANTIFICAZIONE, CONCETTUALIZZAZIONE

L'obiettivo è condurre gli studenti da un'idea di conservazione imprecisata, quasi di impronta metafisica, al **principio di conservazione dell'energia**, limitatamente ai fenomeni meccanici.

Fanno parte del percorso anche la **definizione di lavoro** e il **principio di conservazione della quantità di moto**.

Il percorso ha cercato di costruire un contesto che fosse il più possibile significativo per lo studente; questo tema, infatti, fa parte dei programmi di Fisica, ma la trattazione che viene svolta tradizionalmente si riduce quasi esclusivamente alla manipolazione di relazioni matematiche, senza che lo studente abbia il tempo di riflettere sui significati, sulle idee grezze che sono a monte delle definizioni rigorose.

Il percorso offre anche l'occasione per conseguire alcuni obiettivi più generali o per consolidare idee già introdotte nello svolgimento di altri temi:

- far cogliere l'intreccio tra scienza e tecnica;
- far acquisire un'immagine della scienza come attività creativa, in cui i concetti, come dice Arons, siano riconosciuti come "libere creazioni della mente umana", e non come "oggetti scoperti da un esploratore" (*Guida all'insegnamento della Fisica*, Zanichelli, 1992); scienza come attività dinamica in cui le teorie accreditate vengono sottoposte alla riflessione critica e possono essere soppiantate da nuove teorie;
- far acquisire la consapevolezza del ruolo fondamentale del linguaggio matematico nella descrizione della natura;
- far comprendere come attraverso la misura delle grandezze fisiche si possa realizzare quella indagine quantitativa della natura che ci permette di vagliare le previsioni che il ragionamento ci ha indicato.

INDIVIDUAZIONE DELL'EVENTUALE DIMENSIONE STORICA E/O EPISTEMOLOGICA DEI CONTENUTI DELL'ATTIVITÀ PROPOSTA

La dimensione storica e quella epistemologica sono fondamentali per l'articolazione del percorso come già espresso in precedenza e come emergerà dalla descrizione.

EVENTUALE INTEGRAZIONE CON APPLICAZIONI TECNICHE E TECNOLOGICHE

Non immediatamente rilevante, se si considerano i dispositivi tecnologici con cui gli studenti hanno a che fare quotidianamente; tuttavia la riflessione su cosa sia una macchina e sulle cosiddette macchine semplici è parte integrante del percorso.

QUANTO E COME VIENE SVILUPPATO L'ASPETTO LINGUISTICO

L'attenzione all'aspetto linguistico è presente in diversi modi; in primo luogo gli studenti sono invitati a esprimere le loro idee, sia oralmente che per scritto, e vengono richiamati all'importanza dell'uso corretto della lingua, qualunque sia la disciplina di cui ci si sta occupando, in modo da rendersi conto di quanto sia importante, per un efficace comunicazione di idee, la correttezza formale.

Nell'introduzione di nuovi termini, d'altra parte, si è cercato di mettere in pratica il motto di Arons: *prima l'idea, poi il nome*; nella scuola, troppo spesso, si confonde la conoscenza di nomi e definizioni, la correttezza formale, con l'appropriazione di significati e la vera competenza scientifica.

In particolare, all'interno di questo percorso, diventa centrale la riflessione sulla scelta di un termine per definire un nuovo concetto: è il caso del termine *travail*, *lavoro*; la grandezza che nei libri di fisica è indicata con la parola *lavoro* veniva chiamata in molti modi tra '700 e '800; una volta che l'idea si è ben delineata la scelta di un termine preciso, univoco, per denotarla si è imposta come una necessità per fissarne il significato.

Ugualmente importante è il caso, in un certo senso opposto, del termine *forza*: esso veniva usato, almeno fino alla metà dell'ottocento, con un significato molto diverso da quello con cui è introdotto nei libri di fisica (il concetto newtoniano di forza) o, meglio ancora, con una molteplicità di significati. Un insegnante dovrebbe essere consapevole, quando usa il termine *forza*, che anche gli studenti potrebbero associare ad esso diversi significati (forza in senso newtoniano, energia

cinetica, quantità di moto, ...); è necessario farli riflettere, con la dovuta attenzione e in numerose occasioni, sul mutevole significato dei termini utilizzati. Tale riflessione ha un grande valore nella costruzione dei concetti fisici e nella formazione di un'immagine di scienza non statica; dunque si è posta attenzione, lungo tutto lo svilupparsi del percorso, a richiamare il significato newtoniano di forza e a chiarire, ogni volta che il termine veniva incontrato, a quale significato dovesse essere riferito.

DESCRIZIONE ANALITICA DELL'ATTIVITÀ: LE SUE FASI, L'INSERIMENTO IN UN PERCORSO, LE COMPETENZE ACQUISITE, SUE FASI, IL SUO "PRIMA" E IL SUO "DOPO"

Nulla si crea, nulla si distrugge

Il percorso ha avuto inizio con una riflessione suggerita attraverso alcuni testi di pensatori dell'antichità; in essi è espressa l'idea che dietro i cambiamenti e il mutarsi delle cose della natura ci sia un ordine immutabile che non percepiamo immediatamente. Si sono letti brevi brani di Democrito, Epicuro e Lucrezio; in essi si esprimono due convinzioni: la materia si conserva e, ancora più importante per il nostro percorso, il movimento si conserva (*" non v'è luogo né dove possa ritrarsi una parte della materia dal cosmo, né donde sorgere e irrompere possa nel cosmo una forza nuova, e mutarne l'essenza tutta, e sconvolgerne i moti"*).

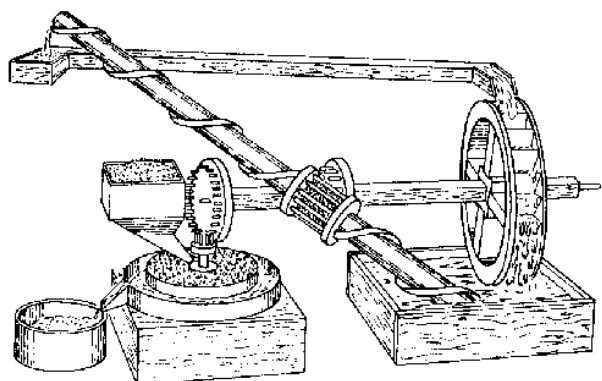
Si è passati poi a richiamare un testo che gli studenti avevano letto nello stesso anno scolastico come introduzione al Principio d'Inerzia, tratto dai *Principia Philosophiae* di Cartesio del 1644. Cartesio attribuisce a Dio la causa del movimento e del suo conservarsi e esprime chiaramente quale sia la misura del *movimento di un corpo*; gli studenti sono stati invitati a tradurre in linguaggio matematico l'affermazione di Cartesio, prima di tutto individuando le due grandezze in gioco, *massa e velocità*, e poi riconoscendo nel loro prodotto la quantità che ci dice *quanto movimento c'è in un corpo*. A tale grandezza, a questo punto, si è dato il nome che essa ha classicamente in fisica, *quantità di moto*; osserviamo che la definizione non è subito completa e rigorosa, così come non è subito espresso nella sua forma più generale il principio di conservazione. Crediamo che il rigore, la correttezza formale, a questo livello scolastico, debbano essere il punto di arrivo di un percorso condiviso dagli studenti, in cui la definizione si arricchisce, si precisa analizzando contesti più complessi.

Un'opinione simile a quella di Cartesio è stata letta in un testo del filosofo e matematico tedesco G. Leibniz, pur avendo i due pensatori, come si vedrà più avanti, idee molto diverse sulla misura della *forza* di un corpo in moto.

Le macchine, la ricerca del motore perpetuo

A questo punto si è cominciato a riflettere sulle macchine; in un brano di Cartesio si trova espressa l'idea che gli esseri materiali siano delle macchine, tutte regolate dalle stesse leggi meccaniche. Altri pensatori concepivano l'universo stesso come una macchina; si è dunque proposta una riflessione su cosa sia una macchina e sulla possibilità, suggerita dall'idea di conservazione, che possa esistere una macchina che una volta messa in moto si mantenga in moto da sé sollevando pesi, spostando oggetti. Si tratta dell'idea del *perpetuum mobile*, il motore perpetuo.

Si sono prese in esame diverse definizioni di macchina, sia proposte dagli studenti sia trovate su dizionari e enciclopedie. Si è cominciato con il piano inclinato, una macchina che offre la possibilità di sollevare un peso a una data altezza applicando una forza considerevolmente minore; un secondo esempio è quello della carrucola usata per sollevare un peso: si osserva che stavolta la forza da applicare deve essere uguale al peso da sollevare ma il cambiamento di direzione è vantaggioso. Esempi più

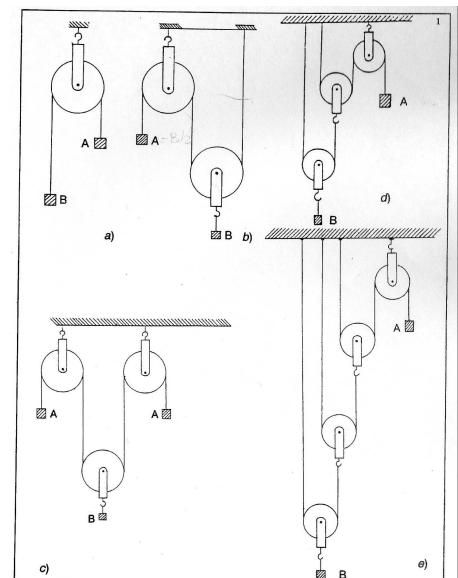


complessi e più interessanti si trovano su alcuni siti internet (*Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia “Leonardo da Vinci di Milano, il Deutsches Museum di Monaco di Baviera, il Science Museum di Londra, il Musée des Arts et Métiers di Parigi*), in cui sono presenti efficaci animazioni. Attraverso queste risorse si è anche affrontata la questione del motore perpetuo; si sono proposti alcuni esempi, si sono lasciati gli studenti liberi di esprimersi. In particolare, si è concentrata l’attenzione su un disegno che mostra un *mulino a circuito chiuso* (vedi fig.); dopo aver esaminato il funzionamento delle varie parti, si è chiesto agli studenti di dire se ritenevano che potesse funzionare, motivando la loro opinione. La maggior parte di loro (anche negli anni successivi) ritiene che il mulino non possa funzionare e attribuisce genericamente tale impossibilità all’attrito; solo pochissimi sono in grado di individuare da subito in modo corretto (e qualcuno anche con i termini scientificamente corretti) i motivi dell’impossibilità. L’obiettivo immediato dell’insegnante non era dare subito una spiegazione completa; si sono lette alcune opinioni importanti: quella di Leonardo da Vinci, quella di Simon Stevin (1548-1620, che dalla fiducia nell’impossibilità del motore perpetuo ricava nuove leggi fisiche) e quella dell’Académie Royale des Sciences di Parigi che nel 1775 stabilisce di non prendere più in esame alcuna proposta di realizzazione del motore perpetuo; in tutti e tre i casi l’impossibilità viene affermata come un principio ricavato dall’esperienza e come tale l’hanno accettata gli studenti. E’ stato importante distinguere tra *moto perpetuo* e *motore perpetuo*: il primo è possibile (il moto degli oggetti celesti ne è, per quello che ne sanno gli studenti, un ottimo esempio) e lo studio della dinamica ci aveva portato a convincersene, ma non è *utile*; un moto dura in eterno se non viene trasferito a qualcos’altro, ma non serve a nulla.

La definizione di lavoro

A questo punto il percorso può svilupparsi in due modi diversi: affrontando subito la questione degli urti e poi lo studio delle macchine e la definizione di lavoro, oppure invertendo questi due temi; qui presentiamo la seconda alternativa, ma non abbiamo elementi per affermare che sia necessariamente la più valida (l’insegnante Pirollo ha introdotto prima il concetto di forza viva).

La definizione di lavoro è stata introdotta esaminando alcune macchine semplici: leva, piano inclinato, carrucole, torchio idraulico. In particolare, si è svolta in laboratorio un’attività con diversi sistemi di carrucole (vedi fig), verificando la validità della regola che *ciò che si guadagna in forza si perde in spostamento*. Come per la leva, per il piano inclinato, per il torchio idraulico, se lo scopo della macchina è sollevare un certo peso di una certa altezza, il prodotto Pxh uguaglia il prodotto tra forza applicata e spostamento compiuto nelle altre situazioni realizzate per ottenere lo stesso scopo; siamo arrivati alla definizione: a questo prodotto si dà il nome di *lavoro*. Non è ancora la definizione generale, che sarà introdotta più avanti (ma di questo non si è fatto cenno agli studenti).



La questione dell’efficienza delle macchine

Non si è potuto, per diversi motivi, approfondire più di tanto gli aspetti storici legati all’utilizzo, alla diffusione al miglioramento delle macchine; tuttavia si è dato qualche cenno alla rivoluzione industriale in Inghilterra, per far capire come siano state esigenze di tipo pratico, economico a porre questioni del tipo: *come misurare il lavoro, l’azione di una macchina? come è possibile confrontare diversi tipi di macchine e capire quale è la più conveniente?* Si è presentata la figura di John Smeaton (1742-1792), che potremmo definire un ingegnere che si occupò di studiare in pratica le condizioni che rendevano più efficiente una macchina, in particolare le ruote idrauliche. Dalla lettura di alcuni brani tratti da suoi scritti si è ricavata la definizione di potenza; si sono volute

prendere in esame unità di misura della potenza e del lavoro anche diverse da quelle del SI: a titolo di esempio il *pie-de-libbra* per il lavoro e la *potenza del cavallo* per la potenza. L'uso di tali unità di misura, più vicine al contesto concreto, aiuta gli studenti nell'acquisizione di significati.

Smeaton, come abbiamo già accennato, si occupò di confrontare tra loro le diverse ruote idrauliche; sono state mostrate immagini di *ruote da sotto* e *ruote da sopra*. Le prime sono più antiche delle seconde; si sapeva empiricamente che le seconde sono più efficienti. Smeaton, su modelli da lui appositamente costruiti, ha studiato sistematicamente i due tipi di ruote, variando un parametro alla volta; il confronto, operato tramite il concetto di potenza, lo portò a concludere che *l'effetto delle ruote azionate da sopra, nelle stesse circostanze di quantità e di caduta, è in media doppio di quello delle ruote azionate da sotto*. Egli cercò anche di interpretare questa migliore efficienza: ciò che fa la differenza tra le ruote da sopra e quelle da sotto è il trasferimento della potenza, della *forza* dell'acqua alle pale della ruota. Smeaton ci ha fatto capire che *è nell'urto dell'acqua sulle pale che si perde qualcosa*; qualcuno tra gli studenti osserva che l'acqua potrebbe anche rimbalzare indietro, e dunque non si ha lo sfruttamento totale della sua potenza. La prossima fase del nostro percorso riguarderà dunque il trasferimento del moto, in particolare negli urti.

Gli urti: introduzione dei concetti di quantità di moto e forza viva

Per lo svolgimento di questa sezione ci si è affidati al libro di testo e si sono svolte attività e misure in laboratorio che potremmo definire *standard* (in verità sappiamo che molti in istituti i laboratori non esistono o non sono frequentati...). Il manuale adottato è il *Project Physics Course*, un testo, edito in Italia da Zanichelli, che presenta un approccio storico allo studio della disciplina e dunque molto diverso dagli altri manuali. Lo studio degli urti, ad esempio, è presentato, in modo necessariamente semplificato, attraverso i contributi di Cartesio e Huygens. Si verifica in laboratorio (ma sarebbe più giusto dire *si illustra*, date le rilevanti incertezze) la validità del principio di conservazione della quantità di moto; se ne spiega il legame con le leggi di Newton, si sottolinea la natura vettoriale della grandezza. Il libro di testo presenta poi la questione affrontata da Huygens dell'inadeguatezza del principio di conservazione della quantità di moto per la descrizione degli urti; in effetti una studentessa aveva osservato: *Ma non s'era detto che nell'urto dell'acqua sulle pale si perde qualcosa? Qui s'è trovato una grandezza che si conserva ...*

Si propone dunque all'esame degli studenti l'urto tra due sfere di acciaio di ugual raggio, opportunamente appese a due fili di uguale lunghezza. Lasciandone cadere una da una certa altezza, essa va a urtare l'altra inizialmente ferma. Si vede che la prima si ferma e la seconda comincia a muoversi raggiungendo quasi la stessa altezza da cui è caduta la prima. Il moto continua avanti e indietro per molte oscillazioni. Per quanto ciò che si ottiene sia conforme al principio studiato, esso da solo non basta a giustificare quello che si osserva. Gli studenti, sollecitati dall'insegnante, propongono altri esiti che rispettino il principio e ci si chiede perché non si osservino mai; per esempio, perché non avviene che la prima sfera rimbalzi indietro con una velocità doppia di quella di arrivo nel punto più basso mentre la seconda parte verso l'alto con velocità tripla? (Nessuno credeva davvero alla possibilità di un tale esito, *nulla si crea...*). Huygens, nel 1666, spiegò il comportamento dei pendoli come dovuto non solo alla legge di conservazione della quantità di moto ma anche a *un'altra legge di conservazione*: si conserva anche la somma dei prodotti delle masse per i quadrati delle velocità. A tale quantità $\sum mv^2$ fu dato il nome di *forza viva*. Il tema è stato approfondito, introducendo la distinzione tra urti elastici e anelastici, definendo l'urto perfettamente anelastico come quello in cui si ha la massima perdita di forza viva. Esso si ottiene in pratica quando i corpi restano attaccati e lo si è realizzato effettivamente introducendo della plastilina tra i carrelli sulla rotaia e tra le sfere di acciaio. La domanda che alcuni studenti hanno posto a questo punto è stata *Ma negli urti in cui si perde forza viva dove va a finire?* evidentemente guidati dall'idea del *nulla si distrugge*. Si è letto un brano di Leibniz, presente nel libro di testo, in cui si ipotizza che *Le forze non sono distrutte, ma disperse tra le parti piccole*; da qui ad affermare che si è trasformata in calore (più o meno quello che affermano i manuali) c'è ancora molta strada da fare. L'idea di Leibniz è stata comunque una risposta efficace alle domande degli studenti, una

soluzione, certamente provvisoria, per continuare a credere nel *nulla si distrugge*.

La forza si conserva ma qual è la sua misura?

Come si misura la forza di un corpo in moto? Quale grandezza la esprime correttamente? Queste domande si ponevano gli studiosi del XVII secolo; anche gli studenti si sono resi conto che non disponevamo di una risposta a una simile domanda. Qualcuno ha proposto di misurare gli effetti di tale “forza”, per esempio la deformazione prodotta, qualcuno ha fatto notare *che non sappiamo le unità di misura...* La questione è stata presentata e risolta attraverso il ragionamento con cui Leibniz corregge il *memorabile errore di Cartesio*, dimostrando che la quantità di moto non è la giusta misura della forza di un corpo in moto.

Leibniz chiama *potenza motrice* la *forza di un corpo in moto*; egli assume che essa sia misurata dall'altezza a cui può sollevare un corpo dato, dunque il lavoro che è in grado di compiere. Richiama poi un principio che avevamo già incontrato (Galileo): un corpo che cade da una certa altezza acquista una forza motrice tale da permettergli di risalire alla stessa altezza. A questo punto si chiede quale grandezza è la stessa per un corpo di massa m che da un'altezza $4h$ e per uno di massa $4m$ che cade da un'altezza h : si dimostra non è la quantità di moto di Cartesio ma la forza viva di Huygens. In sintesi, due corpi che hanno la stessa forza viva sono in grado di compiere lo stesso lavoro.

A questo punto la definizione di lavoro è stata ampliata proprio grazie alla relazione con la forza viva; guidati dall'insegnante gli studenti hanno concluso che ogni volta che una forza (in senso newtoniano) fa acquistare *forza viva* a un oggetto si può affermare che ha compiuto un lavoro su di esso. Si sono considerati diversi esempi, si è introdotta la nozione di lavoro negativo, si è giunti alla definizione generale di lavoro e alla relazione corretta tra lavoro e forza viva. Si è infine introdotto il termine *energia* (dunque *energia cinetica* al posto di *forza viva*) facendo presente che fu usato per la prima volta, al posto del termine *forza*, dal medico inglese Thomas Young nel 1807.

Facciamo notare ancora la metodologia utilizzata: la definizione come punto di arrivo e non di partenza, le *formule* come sintesi efficaci e non come unico contenuto dello studiare Fisica; lo studio di questa disciplina a livello di scuola secondaria di secondo grado deve essere diverso dalla trattazione universitaria, non solo per la semplificazione e la riduzione dei contenuti, ma anche per l'impianto generale.

La forza latente, ovvero l'energia potenziale

La nostra riflessione a questo punto si rivolge nuovamente all'idea di conservazione: l'analisi di alcuni casi concreti ci mostra che l'energia cinetica, almeno per un po' di tempo, sembra scomparire, *non si conserva*. Non si tratta solo degli urti anelastici; quando ad esempio lanciamo un oggetto verso l'alto, quando un corpo in moto deforma una molla. In questi casi l'energia cinetica (in verità si è continuato ancora un po' a chiamarla *forza viva*) arriva ad annullarsi. L'idea di conservazione, il *nulla si crea nulla si distrugge*, ci suggeriscono che la *forza viva* non sia l'unica forma di *forza*, che la diminuzione di *forza viva* sia compensata dall'aumento di un altro tipo di *forza*. Leibniz introdusse il concetto di *forza latente* da associare ai corpi che in base alla loro condizione possono acquistare *forza viva* e dunque sono in grado di compiere lavoro. Sulla base di questa idea siamo passati a costruire la definizione di questa *forza latente*, che poi abbiamo chiamato *energia potenziale*, nei due casi possibili della gravità e della forza elastica. Si è infine mostrato che, proprio per il modo in cui abbiamo introdotto la nuova grandezza, la somma dell'energia cinetica e di quella potenziale rimane costante (in quei casi in cui siano solo la gravità o la forza elastica a compiere lavoro).

Si sono svolte molte attività di esercitazione e consolidamento, proponendo quesiti e problemi (pure di tipo qualitativo) in riferimento a situazioni anche più complesse, come il caso del moto dei pianeti intorno al Sole.

La questione che rimane aperta e che sarà affrontata nell'anno scolastico successivo è quella della *perdita di energia* in presenza di forze quali l'attrito o quando avvengono urti anelastici; essa ci condurrà a formulare il *principio di conservazione dell'energia* nella forma più generale.

In conclusione: sappiamo qualcosa di più sull'impossibilità del motore perpetuo?

Alla conclusione del percorso si è ritenuto importante riprendere la questione delle macchine e della loro efficienza; lo si è fatto proponendo agli studenti la lettura di alcuni brani dal *Saggio sulle macchine in generale* di Lazare Carnot, del 1803 (interessante anche in previsione del percorso dell'anno successivo in cui ci si occuperà dell'opera di Sadi Carnot, figlio di Lazare). Nei brani proposti gli studenti hanno ritrovato, espresse con chiarezza, le grandezze e le relazioni introdotte dall'inizio del percorso, pur denominate in modo diverso; in particolare:

- il concetto di forza viva, presentato anche attraverso la contrapposizione con quello di *forza morta* (una forza, ad esempio, che sostiene un peso);
- la relazione tra forza viva e lavoro;
- il concetto di forza latente;
- l'idea che le macchine *non creano* lavoro o energia;
- la perdita di *forza* che si verifica quando essa viene trasferita e le condizioni per rendere minima questa perdita; condizioni che si realizzano meglio, spiega Carnot, nelle ruote da sopra rispetto a quelle da sotto.

Il testo è stato assegnato come lettura a casa.

Infine, l'insegnante ha ritenuto particolarmente significativo proporre nuovamente alla riflessione degli studenti quello che abbiamo chiamato *mulino a circuito chiuso: Perché non può funzionare?* Si sono invitati gli studenti a rispondere per scritto a casa. Le risposte sono state molto influenzate dall'enfasi posta dal testo di Carnot sulla questione degli urti, e dunque quasi tutti hanno affermato che *si perde energia per via degli urti, si perde energia nel trasferimento del moto, e dunque l'acqua non potrà risalire all'altezza da cui è discesa*. Quel che più colpisce nelle risposte, comunque piuttosto variegata, è che non tutti gli studenti hanno messo in evidenza che la presenza della macina, anche se tutto il resto si svolgesse in condizioni ideali, sottrae energia e impedisce all'acqua di risalire da dove è discesa (violazione del *nulla si crea*); pochissime sono le risposte in cui si attribuisce alla *sola* presenza della macina l'impossibilità del funzionamento. Questo risultato mostra come sia difficile per gli studenti affrontare situazioni nuove, più complesse, che non siano già state strutturate per condurre alla risposta corretta; e soprattutto indica che sarà necessario lavorare ancora molto sull'idea di energia, trasversalmente a tutti i nuovi ambiti che verranno trattati negli anni successivi (fenomeni termici, elettrici e magnetici, ondulatori, ...).

LABORATORI E RISORSE STRUMENTALI

Ove possibile si è utilizzato il laboratorio di Fisica, come già descritto. L'utilizzo di risorse in internet è stata pure presente, spesso indicata come compito a casa.

L'insegnante ha distribuito i testi che erano stati scelti, organizzati all'interno di brevi dispense, utilizzando la posta elettronica per la diffusione di questi come di altri materiali.

FREQUENZA E DURATA NEL TEMPO DELL'ATTIVITÀ

L'esperienza si è svolta nel corso degli ultimi tre mesi dell'anno scolastico, nelle tre ore settimanali di Fisica. Questo tempo complessivo include tutte le attività (verifiche, esercitazioni, trattazione di temi non strettamente indispensabili al percorso).

SE L'ATTIVITÀ È STATA CONDOTTA DA INSEGNANTI DI PIÙ DISCIPLINE

No

SE L'ATTIVITÀ È STATA CHIARITA NEI SUOI SCOPI AGLI STUDENTI (CONTRATTO FORMATIVO)

Come già precisato, la metodologia adottata era già nota agli studenti, così come l'attenzione posta alla costruzione dei concetti (discussione collettiva, affinamento di un'idea e, solo come risultato finale, definizione rigorosa e scrittura matematica). Essi erano anche a conoscenza del fatto che l'insegnante stava svolgendo per la prima volta questo particolare percorso didattico.

STRUMENTI E PROCEDURE PER LA VERIFICA E LA VALUTAZIONE

Sono state predisposte prove scritte che comprendevano sia la soluzione di problemi sia la risposta a quesiti aperti. In particolare (e a questo gli studenti sono poco abituati) si è cercato di formulare quesiti che ponessero l'attenzione *sul percorso e non solo sul risultato*; a titolo d'esempio, non si è chiesta solo la definizione di lavoro ma anche di mostrare come l'analisi delle macchine semplici abbia condotto a tale definizione.

Hanno concorso alla valutazione anche gli interventi brevi *dal posto*, i materiali presentati come lavoro a casa, le informazioni raccolte fuori dalla scuola.

STRUMENTI E ATTIVITÀ UTILIZZATI PER IL CONSOLIDAMENTO

La metodologia adottata, che offre continuamente agli studenti la possibilità di esprimersi e cerca di trarre spunto dagli *errori* per un'acquisizione corretta dei significati, rende meno necessario realizzare appositamente attività di consolidamento.

FATTORI STRUTTURALI ORGANIZZATIVI E MATERIALI NECESSARI (MODIFICAZIONE DEL CALENDARI, FLESSIBILITÀ ORARIA, CLASSI APERTE, COMPRESENZA, ...)

Niente da segnalare

COME L'ESPERIENZA È LEGATA AD ATTIVITÀ ESTERNE ED ESPERIENZE DI VITA QUOTIDIANA

Il legame è insito nel fatto stesso di studiare fisica; purtroppo il modo in cui la fisica viene abitualmente insegnata fa perdere di vista questo legame e ciò che gli studenti percepiscono è una successione di definizioni e formule che sembrano non avere niente a che fare con il reale. Nella scansione dei temi, nella scelta degli esempi e delle attività si è cercato di far comprendere come studiare fisica comporti sempre il riferimento alla concretezza.

PERCORSO FORMATIVO PREGRESSO DELL'INSEGNANTE (SE INFLUENTE RISPETTO ALL'ATTIVITÀ IN QUESTIONE)

L'insegnante si è laureata in Fisica nel 1984 e ha insegnato questa disciplina (e non la matematica) dal 1987.

Spinta dall'insoddisfazione per i risultati della propria azione didattica, ha cercato, attraverso i corsi d'aggiornamento e i gruppi di insegnanti presenti sul territorio, di svolgere una riflessione e un'attività di studio e ricerca sulle difficoltà nell'apprendimento della Fisica. In particolare, negli anni scolastici tra il 2002/03 e 2006/07, ha partecipato alle attività di formazione promosse dall'IRRE Toscana per i docenti della scuola secondaria di secondo grado.

I MOTIVI DELLA SCELTA DELL'ATTIVITÀ

La constatazione dell'insignificanza dell'insegnamento della Fisica nella tradizione didattica, e non solo italiana, ha spinto l'insegnante a cercare di costruire percorsi e mettere in atto una metodologia che si traducesse in esperienze significative per gli studenti, nella convinzione che lo studio della Fisica possa rappresentare un'occasione formativa ricca di senso, piuttosto che, nel migliore dei casi, un esercizio di mero addestramento.

Per quanto riguarda poi il tema dell'energia, esso è fondamentale nell'insegnamento della Fisica; l'insegnante ha ritenuto di doversi misurare con la costruzione di un percorso su questo tema dopo aver affrontato in esperienze precedenti altri temi fondamentali (citati sopra).

INDIVIDUAZIONE DI EVENTUALI PUNTI DI “CRISI” IN ITINERE, SULLA BASE DELL’AUTOVALUTAZIONE DATA DALL’INSEGNANTE E MODIFICHE APPORTATE

La difficoltà principale scaturisce dalla scelta metodologica: dare la parola agli studenti, far emergere le idee, discuterle, cercare di produrre una sintesi chiara ed efficace può essere faticoso e talvolta l’insegnante ha avuto l’impressione di non essere incisiva. Il fatto, poi, di non affidarsi in modo troppo lineare al libro di testo, di assegnare compiti non standard a casa, può tradursi in una difficoltà in più per gli studenti più fragili o per i meno diligenti; qualcuno, confrontando le lezioni di fisica con l’ordinaria prassi scolastica, può avere l’impressione che *non si stia facendo nulla*. Strutturare bene il percorso, dunque, non significa solo pensare alle attività da svolgere in classe ma anche alla predisposizione dei materiali necessari allo studio personale, al consolidamento, all’esercitazione. E’ stato necessario raccomandare continuamente di tenere un quaderno aggiornato, rielaborando a casa gli appunti presi in classe, fornire i materiali necessari e indicare ogni volta che tipo di lavoro era richiesto (ad es., “rileggi il testo letto in classe, metti per iscritto i tuoi commenti, prova a rispondere a questa domanda,...”; richieste un po’ diverse da “studia da pagina ... a pagina...”).

Per quanto faticoso per l’insegnante, tenere un *diario di bordo*, registrando non solo le attività svolte ma anche le osservazioni degli studenti, gli interventi, le difficoltà, è decisamente molto utile per la riproposizione del percorso negli anni successivi, apportando le necessarie modifiche.

Un’altra difficoltà si è presentata per le attività nel laboratorio di Fisica: nell’Istituto è presente solo un assistente tecnico (e non, come in passato, un insegnante tecnico-pratico); questo comporta l’impossibilità di predisporre alcune attività sperimentali e il fatto che quelle preparate possono dar luogo a degli inconvenienti (banalmente, la rotaia a cuscino d’aria può non essere “abbastanza” orizzontale, giusto per fare un esempio).

EVENTUALI RAPPORTI CON GLI ENTI LOCALI, CON STRUTTURE DI RICERCA E LORO EVENTUALE SUPPORTO ALL’ATTIVITÀ DESCRITTA

Già citato il rapporto con l’IRRE Toscana.

Nel secondo anno di svolgimento del percorso ci si è avvalsi della collaborazione con la *Fondazione Scienza e Tecnica* di Firenze, visitando la collezione di strumenti dell’Istituto Tecnico Toscano con particolare attenzione a quelli legati a questo percorso (modelli di ruote da sotto e da sopra, sistemi di carrucole, ...)

DESCRIZIONE REDATTA DA PAOLA FALSINI, 22 settembre 2009

⁴ <http://ppp.unipv.it/Silsis/Pagine/Corso1/Cors1Frm.htm>