

L'ENERGIA

Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica

Parte terza:

Un approccio sistemico e modellistico per introdurre il concetto di energia

Lavoro eseguito con il contributo del MURST, Fondi 40% - Progetto: Insegnamento ed apprendimento della chimica.

Abstract

In this article a new approach is proposed to introduce the concept of energy to pupils 14 - 16 years old. After a short analysis of the different meaning of energy in the context of physical, biological and social sciences, the formation of concepts (school context) and their learning (school context) are discussed and the difference between categorial and formal concepts is stressed. The analysis of the content of a few textbooks stresses the inadequacy of the usual approach to the concept of energy in the domain of physical sciences. A systemic and modelistic approach is then proposed, based on the research by Lemeignan and Weil-Barais, to introduce the concept of energy in a qualitative way and it is stressed that through this approach it is possible to distinguish energy from transfer of energy (heat, work and radiation).

1 - ENERGIA E CAMPI DISCIPLINARI

Nei programmi ministeriali (1979) per la scuola media inferiore le indicazioni di lavoro relative all'insegnamento del concetto di energia sono le seguenti:

Tem: *Progresso scientifico e socie-*

* Dipartimento di Chimica Analitica, Via Pietro Giuria, 5 10125 - Torino

(**) ITIS "Quintino Sella", via Rosselli 2, 13900 Biella

(#) ITIS "A. Sobrero", Casale Monferrato (AL)

Gruppo di Didattica della Chimica Università di Torino

EZIO ROLETTO (*)
ALBERTO REGIS (**)
GIANNI CONDOLO (#)

tà - Contenuti riferiti ai temi: Energia

Indicazioni di lavoro (a titolo esemplificativo): *Il concetto di energia interviene in tutta una serie di fenomeni studiati nell'ambito delle diverse aree; tali fenomeni possono essere esaminati e via via sistemati in un corso triennale, andrebbe ripreso e arricchito con nuovi esempi di trasformazioni energetiche, in modo da far giungere gli alunni ad una sufficiente comprensione del concetto di energia. Dovrà emergere la rilevanza economica e sociale della produzione e del consumo di energia, vista in un contesto storico.*

Sembra di capire che il concetto di energia dovrebbe emergere come aspetto comune di una serie di fenomeni appartenenti a campi disciplinari diversi. In effetti, l'energia è un concetto pluridisciplinare e polisemico: viene infatti usato in vari contesti disciplinari nei quali però assume significati differenti. Tre sono i gruppi di discipline nei quali il concetto di energia gioca un ruolo importante: le scienze della materia, le scienze della vita e le scienze sociali.

1.1 - LE SCIENZE DELLA MATERIA

E' nell'ambito della fisica che il concetto di energia si è strutturato attraverso lo studio e l'interpretazione dei fenomeni meccanici e termici, come si è messo in evidenza nel primo articolo di questa serie [1]. L'idea che hanno oggi i fisici dell'energia può essere sintetizzata in questa frase: "una

quantità che non cambia nelle molteplici trasformazioni che avvengono nell'universo". Si tratta di un principio matematico, di un concetto fondamentale di tutta la fisica dell'interazione, costruito sulla base di due postulati: il primo, relativo alla *conservazione* dell'energia, afferma che la **quantità** di questa nell'universo rimane costante; il secondo, relativo al *trasferimento* ed alla *degradazione* dell'energia, sostiene che quest'ultima, ogni volta che viene scambiata, perde di **qualità**.

Il concetto di energia proprio della scienza della materia è ben lontano dall'idea di energia che si trova nel sapere comune. Si pensi a quanto possa sembrare strana l'idea di conservazione ad un automobilista che sborsa fior di quattrini ogni volta che fa il pieno di carburante. Il problema è complicato dal fatto che, nel linguaggio quotidiano, si parla comunemente di energia meccanica, termica, elettrica, ecc. come se esistessero tutte queste "forme" di energia. Questo modo di esprimersi è funzionale al settore tecnico, in quanto i trasferimenti di energia avvengono nell'ambito di trasformazioni e di fenomeni di tipo meccanico, termico, elettrico, ecc..... Per un fisico e per un chimico, ogni sistema possiede una propria **energia interna** che può mutare anche se il sistema non muta la propria posizione nello spazio. Per interpretare un ampio spettro di trasformazioni di un sistema, si può utilizzare il modello particellare della materia, in base al quale ogni sistema viene immaginato come costituito da un insieme di particelle. Una parte dell'energia interna di un sistema viene riferita alle attrazioni e repulsioni tra le varie particelle che lo compongono: la somma delle energie che le particelle possiedo-

no in virtù della posizione che occupano in questo campo di forze, viene definita **energia potenziale** del sistema. L'altra parte dell'energia interna di un sistema, quella **cinetica**, è attribuita ai vari tipi di moto che le particelle del sistema possono effettuare: si possono spostare nello spazio a loro disposizione, possono ruotare su se stesse in vario modo, possono vibrare, ecc.. Non tutte le particelle hanno la stessa velocità: maggiore è la loro velocità media, maggiore sarà la temperatura del sistema. Quest'ultima è dunque da mettere in relazione con la sola energia cinetica del moto disordinato delle particelle del sistema.

Utilizzando il modello particellare della materia, si ha anche la possibilità di interpretare ogni scambio di energia di un sistema come energia acquistata o ceduta dalle particelle che lo costituiscono. Se il moto delle particelle avviene con un certo ordine, per esempio le particelle si muovono tutte in una direzione privilegiata, il sistema trasferisce energia *anche in modo lavoro*; se invece, il moto delle particelle è completamente caotico, il sistema trasferisce energia *solo in modo calore*. Quindi le particelle di un sistema possiedono solo energia di tipo potenziale e cinetico; quest'ultima, a seconda del modo in cui viene trasferita, può essere intesa come calore o come lavoro.

Ogni sistema, collocato in un determinato contesto, possiede dunque una determinata energia interna. Un atomo e una galassia possiedono un'energia interna. Se il sistema è isolato, la sua energia interna è costante; se il sistema interagisce con un altro sistema, l'energia interna varia in seguito a trasferimenti di energia tra sistemi interagenti. Quando l'energia trasferita viene associata ad un fenomeno meccanico si parla di lavoro meccanico, per esempio quando un sistema si muove nello spazio a causa di una forza ad esso applicata; se invece il fenomeno associato è di tipo elettrico, si parla di lavoro elettrico. Quello che viene comunemente chiamato trasferimento di energia per irraggiamento viene interpretato come interazione tra radiazioni elettromagnetiche e particelle costituenti la materia. Nell'ambito di un discorso tecnico, è lecito parlare di diversi tipi di energia in quanto si fa riferimento alle tecniche di trasformazione, ma tale modo di esprimersi può portare a confondere un concetto scientifico fon-

damentale, l'energia, con le tecniche di trasformazione implicate (meccanica, chimica, ecc..) oppure con i modi in cui questa energia viene trasferita (lavoro, calore).

1.2 - LE SCIENZE DELLA VITA

In fisica e in chimica, l'energia è vista soprattutto come una entità trasferibile tra sistemi in interazione e risulta abbastanza facile delimitare un sistema per studiarne, anche solo da un punto di vista qualitativo, gli apporti e le cessioni di energia. Nel caso dei sistemi viventi, la maggior parte degli eventi biologici sono determinati da scambi di materia ed energia tra esseri viventi ed ambiente. Risulta quindi fondamentale identificare le **sorgenti** di energia, per esempio precisando quali alimenti ne forniscono di più, ed i **serbatoi** nei quali può essere accumulata e conservata, fegato e tessuti adiposi a livello di organismo o le molecole di ATP a livello cellulare. La padronanza dei concetti di materia ed energia è quindi essenziale per poter affrontare conoscenze di una certa complessità come la fotosintesi, le trasformazioni ed i trasferimenti di energia negli organismi viventi, i flussi di energia e i cicli della materia in un ecosistema.

1.3 - LE SCIENZE SOCIALI

L'energia occupa un posto importante nell'ambito delle scienze sociali in quanto entra in gioco in tutti i problemi di natura economica relativi al lavoro e alla produzione. Acquistano quindi un rilievo particolare le problematiche legate a produzione, conservazione, commercio e controllo delle risorse energetiche: l'energia assume un aspetto "materiale", diventa una "cosa" che viene consumata quando si realizza una qualche trasformazione. Nel campo della ricerca, accanto agli studi di tipo economico e storico, che possiamo classificare come "tradizionali", si stanno sviluppando analisi di tipo "ecoenergetico" che si richiamano ad un punto di vista ecologico. In esse, l'energia viene considerata come un fattore che contribuisce a strutturare e ad organizzare i sistemi economici e sociali, permettendo così di analizzarne e descriverne il funzionamento.

Questa breve analisi dei settori disciplinari in cui il concetto di energia gioca un ruolo importante mette in evidenza i significati profondamente diversi che esso assume nei diversi

ambiti. Al limite, potremmo dire che i concetti di energia cui fanno riferimento un fisico, un biologo ed un economista hanno in comune unicamente il termine energia.

Nei programmi ministeriali si parla di *progresso scientifico e società*; di *trasformazioni energetiche*; di *rilevanza economica e sociale*. Vi è quindi un espresso invito ad affrontare il problema dell'energia dal punto di vista concettuale (progresso scientifico), tecnico (trasformazioni energetiche) e sociale e quindi ad adottare un approccio pluridisciplinare nel quale dovrebbero essere coinvolte discipline quali le scienze sperimentali, la storia, la geografia, l'educazione tecnica. Le indicazioni di lavoro invitano ad esaminare una serie di fenomeni appartenenti ad aree diverse, a sistemarli in un corso globale e ad arricchirli con ulteriori esempi di trasformazioni. Si tratta di indicazioni che rimandano all'idea che l'analisi di situazioni diverse possa fare emergere il concetto di energia. E' questa una questione controversa, per rispondere alla quale conviene soffermarsi sull'idea di concetto, ossia sul "concetto di concetto".

2 - I CONCETTI

Interrogarsi sui concetti significa, in primo luogo, chiedersi come questi si formino, ossia analizzare il processo di concettualizzazione. In secondo luogo, ed in base alle risposte date alla domanda precedente, chiedersi a quali strategie pedagogiche convenga ricorrere per favorirne l'apprendimento. Per quanto riguarda la prima domanda, la formazione dei concetti può essere vista da due punti di vista: psicologico ed epistemologico [2].

2.1 - IL PUNTO DI VISTA PSICOLOGICO

Si può assumere come punto di partenza storico la filosofia greca. Uno dei punti più importanti per i filosofi greci era la natura dei concetti, chiamati anche "universali". Secondo Platone, il mondo degli oggetti concreti, delle cose individuali non era degno dell'attenzione del filosofo il quale doveva riservare la propria attenzione ai concetti, agli universali. "Questo sasso è rotondo" - ossia questo particolare sasso ed il suo essere tondo sono cose di nessuna importanza per il filosofo. Soltanto gli universali, ossia i concetti di "sasso" e di "rotondo" sono importanti per lui, in quanto solo di questi, e dei relativi rapporti, è possibile avere una chiara

conoscenza. Il mondo fenomenologico è pieno di incertezze ed approssimazioni, a causa dell'intervento dei sensi; il mondo delle idee, dei concetti è l'unico che possieda elevato grado di certezza. A questa posizione, che certamente non dava alcun impulso all'esplorazione ed alla conoscenza del reale, reagì Aristotele il quale sostenne che solo osservando il mondo quale effettivamente è si ha la possibilità di conseguire la conoscenza dei concetti e delle loro interrelazioni. Per Aristotele dunque la via della conoscenza passa per l'osservazione; egli è, da questo punto di vista, un empirista, mentre Platone può essere considerato un idealista. Per capire il punto di vista di Aristotele a proposito dei concetti, occorre precisare brevemente le sue idee a proposito di "sostanza" e "accidenti". Secondo Aristotele, vi sono due tipi di "sostanze": le sostanze primarie, che corrispondono grosso modo ai singoli oggetti (per esempio, *questo cavolo*, *questo sasso*, *questa cane*, ecc.); le sostanze secondarie, chiamate anche universali, che corrispondono ai *generi* di cui le sostanze primarie sono singoli rappresentanti (per restare nell'esempio, sono sostanze secondarie: *cavolo*, *sasso*, *cane*, ecc.). Secondo Aristotele, la scienza deve interessarsi delle sostanze secondarie e delle loro relazioni; in altre parole, la scienza deve interessarsi dei concetti e dei rapporti che li legano.

Ma come si arriva ai concetti? Molto brevemente, la teoria elaborata da Aristotele a proposito della concettualizzazione si può così riassumere. Le "cose" esistenti, le sostanze primarie, sono molteplici e multiformi e la mente ha la facoltà di isolare i tratti salienti comuni ad un certo numero di queste. Secondo il filosofo ateniese, i concetti vengono elaborati mediante un processo di decontestualizzazione o di astrazione che consiste nell'analizzare la molteplicità degli oggetti; nell'isolare in questi le caratteristiche particolari ossia gli *attributi essenziali* che distinguono un oggetto dagli altri e la relazione che li lega; nel raggruppare nello stesso insieme quegli oggetti che possiedono un certo numero di attributi essenziali o comuni. Secondo questo punto di vista *realista*, i concetti fanno parte della realtà, in quanto è attraverso il confronto tra soggetto pensante e cose a lui esterne

che vengono isolati ed estratti gli elementi comuni permanenti che queste contengono.

La concezione aristotelica si è trasmessa fino ai nostri giorni. Infatti nell'ambito della teoria psicologica della concettualizzazione, è ancora questa la procedura di elaborazione dei concetti, applicata non più agli oggetti empirici, ma alle loro rappresentazioni mentali. Si ha dunque un mutamento di contesto, in quanto si passa dal piano fenomenologico a quello della psiche, ma ciò non influisce sull'andamento globale e sulla struttura del processo di concettualizzazione.

Per distinguere una relazione di attributi da un'altra, si ricorre ad un *nome*, che costituisce il simbolo arbitrario o *etichetta* con la quale è possibile riunire nella stessa classe o categoria tutti gli esempi che possiedono la stessa combinazione di attributi essenziali, quali che siano le loro differenze al di fuori di questi. Per esempio, il concetto di triangolo può essere formulato in questo modo: figura geometrica, corrispondente ad una porzione dello spazio piano, delimitata da tre segmenti di retta che formano tre angoli. Come si vede, questa definizione rimanda ad un altro concetto, quello di figura geometrica (descrivibile mediante attributi) e ad un certo numero di attributi visibili: spazio piano, segmenti ed angoli che possono anche essere contati e misurati. I concetti così formati possono essere organizzati in modo gerarchico, per categorie e sottocategorie, in base alla loro specificità, legata al numero di attributi essenziali. Quanto più questo numero è alto, tanto più il concetto è specifico e tanto più ridotto è il suo contenuto: cane, mammifero, animale, essere vivente costituiscono differenti livelli di concettualizzazione.

Alcuni psicologi hanno sostenuto che i concetti sono generalmente rappresentati in memoria da un esempio "medio" della categoria in oggetto. Questo esempio medio funziona da *prototipo*, in quanto in esso sono riuniti gli attributi più importanti del concetto. La natura del prototipo al quale un soggetto fa riferimento varia in funzione delle sue esperienze personali, essendo fortemente influenzato dal contesto socioculturale. Per l'analisi psicologica, dunque, il concetto è una rappresentazione o un elemento rappresentativo, legati l'una e l'altro per associazione ad una immagine verbale o ad un altro segno sensibile.

I concetti ottenuti con il processo di astrazione sono chiamati *empirici* o *categoriali*, in quanto si tratta di concetti propri delle scienze che si dedicano alla descrizione ed alla classificazione del reale.

2.2 - IL PUNTO DI VISTA EPISTEMOLOGICO

Vi sono concetti che non sono concepibili come prodotti di un'attività di astrazione empirica. Per esempio, i concetti di punto e linea non possono essere visti come puri e semplici componenti di corpi esistenti nella realtà, dai quali possono essere ricavati con un processo di astrazione. Non si trovano nella realtà oggetti che coincidono esattamente con le definizioni della geometria: per esempio, non si può avere un punto senza dimensioni, tale cioè da non occupare spazio. Si è dunque di fronte a concetti che si distinguono da quelli categoriali perché non fanno riferimento a caratteristiche percettibili di corpi reali. Si tratta di oggetti mentali, di prodotti della mente che costruisce, elabora un insieme di proposizioni e di relazioni tra queste, ammesse come invarianti: proposizioni e relazioni invarianti costituiscono il concetto. Tali concetti vengono chiamati *formali* e nel loro processo di elaborazione giocano un ruolo fondamentale l'immaginazione e la creatività degli scienziati, sottoposte però a vincoli molto stretti, quali la necessaria coerenza del pensiero e la rispondenza tra l'interpretazione teorica e l'effettivo comportamento della realtà. Anche in questo caso entra in gioco un processo di astrazione la cui natura, però, è del tutto diversa da quello che presiede alla formazione dei concetti categoriali. Se in quest'ultimo caso la mente lavora su oggetti reali o sulle loro rappresentazioni mentali, nel caso dei concetti formali la mente lavora su idee.

Esistono diversi tipi di concetti formali. Alcuni riguardano *entità ipotetiche*, come il concetto di mesone, neutrino, ecc. Si tratta di entità plausibili, appartenenti alla realtà *non figurativa* che gli scienziati costruiscono per interpretare e prevedere ciò che avviene a livello di oggetti reali. Altri sono di natura *relazionale*, in quanto riguardano le relazioni tra sistemi: si trovano tra questi i concetti di forza e di energia. Altri infine sono unicamente prodotto dell'attività mentale, come il concetto di stato di un si-

stema. In effetti, lo stato di un sistema non esiste che nella mente del ricercatore: questi spezza il corso degli eventi in unità temporali, durante le quali lo stato del sistema è ritenuto stabile e quindi definibile mediante i valori assunti da certe variabili: le variabili di stato.

2.3 - CONCETTI E APPRENDIMENTO

Nei paragrafi precedenti si è affrontato il problema della elaborazione dei concetti da parte degli scienziati, ossia di coloro che producono nuove conoscenze. Si tratta ora di prendere in considerazione la situazione che si verifica a scuola, dove gli allievi devono acquisire concetti e conoscenze. In base al punto di vista psicologico, **apprendere** un concetto significa identificare la combinazione di attributi essenziali usata per definirlo, associare una etichetta verbale a questa combinazione ed utilizzarla per designare gli oggetti che appartengono alla categoria in questione. Inoltre, apprendere un concetto significa anche ricercare e validare attributi che possono o distinguere gli esempi dai non esempi oppure differenziare sottocategorie. Per esempio, se un insegnante vuole fare apprendere il concetto di triangolo ai propri allievi, può mostrare loro una serie di oggetti triangolari diversi per forma, colore, dimensione, collocazione nello spazio: si tratta cioè di proporre agli allievi una serie di oggetti, diversi sotto vari aspetti non essenziali, che appartengano tutti alla categoria triangolo. Si tratta poi di guidare, con domande opportune, gli allievi ad identificare, negli oggetti proposti, gli attributi essenziali comuni; in questo modo, coloro che imparano possono arrivare a costruire il concetto di triangolo.

E' possibile ricorrere a questo approccio per insegnare il concetto di energia? Come si è visto, l'energia non è una sostanza, non è una proprietà dei corpi: "L'energia non fa intervenire un elemento nuovo che si collocherebbe accanto a contenuti fisici quali luce e calore, elettricità e magnetismo; il suo significato è quello di una correlazione oggettiva, espressa sotto forma di legge, tra tutti questi contenuti... Concepita come cosa, l'energia sarebbe un elemento che riunirebbe contemporaneamente movimento e calore, magnetismo e elettricità, pur non essendo alcuno di questi fenomeni. Concepita come principio generale, l'energia diven-

ta un prodotto del pensiero che permette di riunire tutti questi fenomeni, malgrado le loro diversità empiriche, in un unico sistema di operazioni intellettuali" [3]. Di conseguenza, non è possibile costruire a scuola il concetto di energia con un processo di astrazione empirica. Lemeignan e Weil-Barais [4] sostengono che la costruzione del concetto di energia è legata al concetto di "catena energetica". Quest'ultimo concetto, come si vedrà tra poco, definisce una struttura di distribuzione che gli allievi possono elaborare ricorrendo a **modelli intermedi** o **precursori**, costruiti dagli allievi a partire da situazioni reali e sistemi concreti, ossia da aspetti fenomenologici che essi sono in grado di padroneggiare dal punto di vista empirico/sperimentale. L'approccio che viene proposto è ben diverso da quello comunemente adottato nella scuola media per introdurre il concetto di energia, come mostra l'analisi di alcuni libri di testo.

3 - IL CONCETTO DI ENERGIA NEI LIBRI DI TESTO

Sono stati presi in considerazione tre libri di testo tra quelli in circolazione nelle scuole medie italiane. In tutti il concetto di energia viene trattato dopo che sono stati introdotti quelli di *forza* e di *lavoro*. Nel primo testo è specificato l'obiettivo perseguito: "conoscere e comprendere la terminologia, le leggi e i fenomeni connessi al concetto di energia e alle varie forme sotto cui si presenta". Dopo alcuni esempi che hanno lo scopo di chiarire il significato fisico di lavoro, prodotto scalare di una forza per uno spostamento: $L = F \cdot S$, vengono definite l'energia cinetica (E_C) e potenziale (E_P) con la seguente premessa: "Energia (dal greco *energheia* = attività) è la proprietà che ha qualsiasi corpo di compiere lavoro". Si portano poi vari esempi a conferma del principio che tutto ciò che può compiere lavoro possiede energia. Infine, tramite la proprietà "additiva" dell'energia, viene enunciato il principio di conservazione:

$$E = E_P + E_C$$

Questa conclusione, comune a parecchi testi, viene però riferita, esplicitamente o implicitamente, a E_P ed E_C del sistema preso come esempio; poiché quest'ultimo non è un sistema isolato, l'affermazione è falsa.

Nel secondo testo esaminato, dopo aver affermato che "per compiere un lavoro occorrono forza e spostamento", si definisce l'energia come "capacità di compiere un lavoro". La definizione viene chiarita con il seguente esempio: "Un pallone calciato con forza colpisce un calciatore e lo sposta di un metro. Mentre il pallone vola, al calciatore non è applicata nessuna forza e quindi non c'è lavoro; ma quando il pallone lo colpisce, nasce la forza che sposta il giocatore e quindi c'è lavoro. Perciò, il pallone che vola ha una capacità di compiere lavoro, cioè ha energia". E' interessante notare che il termine forza assume in queste frasi due significati: quello del registro del sapere comune (*calciato con forza*) e quello del registro del sapere scientifico (*..non è applicata nessuna forza*) per cui non vi è una distinzione chiara tra descrizione empirica del fenomeno e descrizione concettuale mediante grandezze fisiche che descrivono i sistemi.

Nel terzo testo preso in esame, i concetti di energia e di lavoro vengono introdotti a partire dal racconto di un episodio nel quale si mette in evidenza che il risultato di ogni azione che richiede uno sforzo è "ciò che si usa chiamare lavoro". In base al racconto, il lavoro viene definito come:

$$\text{Lavoro} = \text{Peso} \times \text{Altezza}$$

e poi, generalizzando, $L = F \times S$. Si continua poi affermando che "per compiere un lavoro bisogna prima di tutto essere in grado di farlo" e si conclude che "quando un corpo ha la possibilità di compiere un lavoro, si dice che possiede energia" e che "se il corpo che possiede energia, comincia ad adoperarla, diciamo che compie un lavoro". In base alla definizione adottata, l'autore scrive: "se un corpo che possedeva energia ha svolto tutto il lavoro possibile, l'energia che gli rimane è zero: il corpo non può più compiere lavoro". Poco oltre: "Cadendo a valle, l'acqua può fare girare la ruota di un mulino e produce lavoro. Ma l'acqua che, compiuto il lavoro ha raggiunto il livello del mare, è ormai priva di energia". Il tentativo di semplificare certi concetti non giustifica queste aberrazioni scientifiche, perché neanche allo zero assoluto l'energia di un corpo si annulla.

Il fatto di definire l'energia come "la capacità di compiere un lavoro" ha il merito di non escludere l'eventualità

che possa esistere un'energia "non attiva", per esempio l'energia accumulata in sistemi quali un bacino idroelettrico, un accumulatore, ecc. Però questa definizione non è corretta dal punto di vista scientifico. Per esempio, un sistema costituito da una grande massa di ferro a temperatura ambiente possiede una grande energia interna, in quanto non si trova allo zero assoluto. Tuttavia, se il sistema è immobile e si trova alla stessa temperatura di ciò che lo circonda, non è possibile ricavare lavoro alcuno. Nei manuali scolastici esaminati, il dualismo energia-lavoro, ossia il doppio aspetto energia-trasferimento di energia, non viene presentato come un punto di vista generale che può essere tradotto nello schema di figura 1.



Fig.1 - Schema generale del dualismo energia-lavoro

Non si sostiene in modo esplicito che l'energia si riferisce allo stato di un sistema e che il lavoro si riferisce ad un'interazione tra sistemi ossia un trasferimento di energia tra sistemi. Di conseguenza, in nessun libro di testo ci si preoccupa di aiutare gli allievi a sviluppare un approccio "sistemico" alla realtà, anche se tale approccio è indispensabile per dare un senso ai due concetti di **energia** e di **trasferimento di energia**.

Tra tutte le situazioni sperimentali che possono essere analizzate in termini di energia, l'accento viene messo quasi esclusivamente su quelle che permettono di introdurre la definizione di lavoro come prodotto di una forza per uno spostamento. In questo caso, l'energia diventa un concetto derivato, in quanto definita in termini di lavoro: alle difficoltà di apprendimento del concetto di energia si aggiungono quelle legate all'apprendimento del concetto di lavoro. Come ricorda Solomon [5], alcune ricerche hanno messo in evidenza che un'alta percentuale di allievi, pur conoscendo a memoria la definizione "scientifica" di lavoro, non sono in grado di interpretare correttamente situazioni in cui si ha produzione di lavoro, in quanto basano i propri ragionamenti su schemi mentali tipici del sapere comune. Inoltre Lemeignan e Weil-Barais sottolineano che il con-

cepto di lavoro, mediante il quale viene definita l'energia, viene introdotto utilizzando i simboli **L**, **F** ed **S** legati tra di loro da un'operazione, il prodotto scalare "x", e da una relazione di equivalenza "=". Gli autori citati fanno notare che questa non è la definizione di una grandezza fisica che descrive un sistema o una interazione tra sistemi, ma una relazione tra una nuova grandezza, il lavoro, e due grandezze già introdotte in precedenza, la forza e lo spostamento. Inoltre, gli autori dei manuali esaminati pensano che gli allievi siano in grado, disponendo di questa relazione ed in base all'ordine in cui vengono trattate le altre grandezze, l'energia potenziale e cinetica, di dare a queste ultime un significato in termini di energia. Nonostante si trovino nei testi molti esempi semplici e familiari, è pressoché impossibile che gli allievi riescano a comprendere che l'energia è una grandezza che interpreta una proprietà di un sistema, mentre il lavoro rappresenta un modo di trasferire energia tra sistemi. In conclusione, l'energia ed il lavoro non sono utilizzati per **descrivere un sistema** e una **interazione tra sistemi**, ma per introdurre nuove relazioni di tipo algebrico tra grandezze fisiche e per classificare i vari tipi di lavoro.

4 - UN APPROCCIO FUNZIONALE AL CONCETTO DI ENERGIA

Come si è visto all'inizio di questo articolo, il concetto di energia è polisemico ossia può avere significati differenti. Per un fisico e un chimico, l'energia si rivela nelle interazioni tra sistemi, per ognuno dei quali viene espressa mediante parametri che ne caratterizzano lo stato: parametri di posizione, di movimento, termici, chimici, ecc. Ma l'energia, nel linguaggio tecnico, è qualcosa che il genere umano ha sempre usato nelle multiformi attività che lo caratterizzano, ricorrendo a sorgenti diverse nel corso della sua storia: da quella personale a quella fornita dai materiali fissili. Nel sapere comune, l'energia è dunque una **materia prima** che viene consumata ogni qual volta si produce una trasformazione. Nell'insegnamento dell'energia occorre tenere presente questi due aspetti, senza privilegiare l'uno a scapito dell'altro, in quanto corrispondono a problemi veri della scienza e della tecnica.

Dal punto di vista scientifico, l'energia non è un concetto categoriale o

prototipico: essa infatti non si incarna in oggetti materiali dai quali è possibile isolare attributi sensibili comuni né è possibile disporre di un prototipo. Non è quindi accettabile l'approccio adottato dai libri di testo che trattano il concetto di energia come un concetto categoriale. Il concetto di energia è un concetto formale e come tale deve essere appreso. Purtroppo, come già si è sottolineato in precedenza, l'acquisizione dei concetti formali presenta difficoltà che gli allievi non incontrano quando affrontano i concetti categoriali. Se per questi ultimi essi possono fare riferimento ad oggetti e sistemi reali nei quali il concetto si concretizza, nel caso dei primi devono riferirsi a idee, ad assiomi, a principi matematici. In base alla concezione scientifica attuale, il concetto di energia dovrebbe essere introdotto a partire dal principio di conservazione, ma questa è chiaramente una strada non percorribile nella scuola secondaria. Per superare queste difficoltà, Lemeignan e Weil-Barais propongono di introdurre il concetto di energia con un approccio di tipo sistemico e modellistico nel quale gli allievi prima fanno funzionare sistemi reali nei quali entra in gioco l'energia; poi li analizzano ed infine traducono le loro analisi in schemi funzionali e distributivi, ossia li modellizzano.

Si tratta di attività nelle quali gli allievi mettono in gioco: - concezioni personali; - abilità pratiche; - attività di schematizzazione; - processi di modellizzazione. In tale approccio viene meno la tradizionale distinzione tra saperi teorici o concettuali e saperi pratici o sperimentali, in quanto si assume che la pratica sperimentale non sia possibile senza concettualizzazione e che la concettualizzazione non sia realizzabile senza pratica sperimentale. Di conseguenza, gli autori propongono un approccio nel quale compiti di natura pratica (far funzionare dispositivi, modificarli per fare variare l'effetto prodotto, ecc.) sono strettamente integrati a compiti di natura concettuale, relativi alla elaborazione di modelli (modellizzare la successione di sistemi che costituiscono un certo dispositivo nel quale entra in gioco l'energia).

La strategia d'insegnamento viene così schematizzata:

1) Mettere gli allievi in condizione di far funzionare semplici dispositivi

sperimentali diversi che permettono di produrre lo stesso risultato pratico: per esempio, accendere una lampadina mediante una pila, una dinamo, la luce solare, il vento, ecc..

2) Chiedere agli allievi di descrivere e schematizzare i dispositivi mediante il linguaggio verbale e il linguaggio simbolico-grafico.

3) Favorire il lavoro in piccoli gruppi e gli scambi di opinioni ed esperienze tra allievi, in modo di sollecitare l'attività pratica e mentale dei singoli e dare un carattere sociale alla scelta dei significanti linguistici, grafici e letterali usati per rappresentare i dispositivi sperimentali.

4) Proporre agli allievi *modi di lettura* dei dispositivi che permettano di rappresentare dispositivi diversi con un unico modello.

In questa strategia riveste un ruolo fondamentale la **catena energetica** e la sua lettura e rappresentazione da parte degli allievi. Tale lettura deve essere basata su *modi di lettura* di cui gli allievi dispongono sin dall'inizio delle attività di apprendimento/insegnamento. Due sono i modi di lettura proposti: il primo si basa sulla *funzione* dei vari oggetti o sistemi che costituiscono la **catena energetica** (per esempio, un motore svolge la funzione di mettere in movimento una puleggia che, a sua volta, trascina una cinghia che aziona un altro sistema,



Fig.2 - Rappresentazione simbolica di un dispositivo modellizzato come una catena funzionale

ecc.); il secondo si basa su **ciò** che i singoli sistemi possiedono, su **ciò** che ricevono e su **ciò** che forniscono. Il **ciò** sta al posto dei termini proposti dagli allievi: calore, luce, elettricità, movimento, ecc.

La lettura in base alla funzione dovrebbe permettere agli allievi di modellizzare il dispositivo come una **catena funzionale**, costituita da sistemi individuabili in base alla loro funzione. E' evidente che oggetti diversi (un accumulatore, un alternatore, una pila, una cellula fotoelettrica) possono svolgere funzioni analoghe (per esempio, far funzionare un motorino) in dispositivi reali diversi. La raffigurazione simbolica è riportata in figura 2.

Il secondo modo di lettura del dispo-

sitivo, dovrebbe permettere agli allievi di rappresentarlo come una **catena**



Fig.3 - Rappresentazione simbolica di un dispositivo modellizzato come una catena distributiva

di **distribuzione**, lungo la quale viene distribuito qualcosa di non materiale (Fig. 3). A partire da questa rappresentazione, gli allievi dovrebbero essere in grado di classificare i componenti del dispositivo in **serbatoi**, **trasformatori** e **ricettori (utilizzatori)**. I serbatoi sono i componenti che forniscono senza ricevere; i trasformatori sono quelli che ricevono e forniscono ed i ricettori (utilizzatori) sono quelli che ricevono senza fornire. Dal punto di vista della loro funzione, alcuni trasformatori, per esempio un accumulatore elettrico, una molla, un volano, si possono considerare come serbatoi intermedi.

Da questa seconda rappresentazione si dovrebbe passare ad una terza quando si propone agli allievi l'esistenza di una entità ipotetica chiamata **energia**, caratteristica di un sistema e trasferibile da un sistema ad un altro. In questa terza modellizzazione, i sistemi vengono concettualizzati come **serbatoio**, **trasferitore** e **discarica**⁽¹⁾ di energia. In questo modo, l'energia è il contenuto caratteristico

se non ancora studiati.

5 - LE ATTIVITA'

Il modello di apprendimento per indagine del reale e ristrutturazione dei reticoli concettuali suggerisce di proporre agli allievi situazioni di apprendimento che diano loro l'occasione di esplicitare ed usare le idee, i concetti, i modi di ragionare, in altre parole le strutture mentali o concezioni alle quali fanno riferimento per interpretare una situazione empirica. Il confronto tra i punti di vista emersi, tra le soluzioni proposte e la loro realizzazione sperimentale, tra i risultati attesi e quelli ottenuti permette di instaurare una serie di conflitti sociocognitivi. La risoluzione di questi in genere permette agli allievi, opportunamente guidati dall'insegnante, di elaborare un concetto di energia scientificamente accettabile e utilizzabile per interpretare una grande varietà di fenomeni e per avanzare previsioni sulla evoluzione di determinate situazioni sperimentali.

Le attività proposte agli allievi possono essere articolate in tre fasi.

FASE 1 - DALL'ANALISI ALLO SCHEMA DEI DISPOSITIVI

In questa prima fase, gli allievi affrontano a livello empirico una situazione nella quale entra in gioco l'energia. Poiché indagini preliminari [6] hanno messo in evidenza che gli allievi associano l'idea di energia soprattutto a situazioni in cui entra in gioco l'elettricità, conviene proporre loro dispositivi sperimentali diversi che realizzano tutti lo stesso effetto finale: accendere una lampadina.

Si dividono gli allievi in gruppi e ogni gruppo fa funzionare e analizza uno dei dispositivi proposti. La consegna è la seguente: - disegnare il dispositivo analizzato; - precisare a cosa serve, quale funzione svolge, rispetto agli altri, ogni oggetto che fa parte del dispositivo.

Ogni gruppo illustra la propria analisi alla classe. I compagni possono in-

⁽¹⁾ Il termine discarica sembra allontanare l'idea di conservazione dell'energia, ma presenta il vantaggio di prefigurare il concetto di degradazione che è proprio dei livelli di concettualizzazione che saranno introdotti nella scuola secondaria superiore.

tervenire con domande, critiche e suggerimenti.

In questa fase, le attività degli allievi restano a livello empirico e permettono loro di constatare che è possibile realizzare lo stesso effetto facendo interagire, in modo opportuno, oggetti diversi, ognuno dei quali svolge una funzione ben precisa nei confronti degli altri.

FASE 2 - DAI DISPOSITIVI SPERIMENTALI ALLO SCHEMA FUNZIONALE

Nella prima fase gli allievi dovrebbero costruire il concetto di “catena di oggetti” in grado di produrre un certo effetto. Si tratta di un’idea che ha un riferimento empirico in tutti i dispositivi fatti funzionare. Si tratta ora di avviare i ragazzi a decontestualizzare ed a concettualizzare le varie situazioni, in vista della loro modellizzazione. Come primo passo si può loro proporre di schematizzare i dispositivi, caratterizzando ogni oggetto in base alla funzione che svolge nei confronti degli altri oggetti: si elaborano così degli **schemi funzionali**.

Il confronto tra gli schemi proposti dai diversi gruppi dovrebbe poi essere utilizzato per fare rimarcare alcune loro caratteristiche fondamentali:

1) Si tratta di rappresentazioni “convenzionali” in quanto possono essere usati simboli diversi per indicare gli stessi oggetti reali.

2) Gli schemi sono “più semplici” della realtà, in quanto in essi si tiene conto solo di ciò che è pertinente al problema affrontato ed all’obiettivo che si persegue. Si ha qui un’occasione molto favorevole per discutere dei concetti di sistema e di modello.

3) Per l’elaborazione degli schemi è possibile accordarsi su un insieme di “regole convenzionali” che, se adottate da tutti, ne rendono più agevole sia la lettura sia l’interpretazione e quindi facilitano la comunicazione. A questo punto è possibile proporre agli allievi di adottare le seguenti convenzioni:

1) Ogni oggetto funzionale del dispositivo realizzato o che si intende realizzare viene rappresentato con un simbolo unico (per esempio un’ellissi o un rettangolo).

2) La funzione di ogni oggetto, vale a dire l’effetto che questo esercita su

un altro componente, viene simbolizzata con una freccia (---->) accompagnata dal verbo che indica la funzione.

ricettori (lampadina, ambiente, ecc.). Il nome del sistema viene indicato all’interno del simbolo grafico (ellisse o rettangolo) e il modo di trasferire (fornire o ricevere) “qualcosa” da un si-



Fig. 4 - Esempi di rappresentazioni simboliche funzionali

Il punto d’arrivo di questa fase dovrebbe essere una rappresentazione simbolica “normalizzata” in quanto tutti i gruppi ricorrono agli stessi simboli stabiliti dalla convenzione elaborata dagli allievi stessi (Fig. 4). In questo modo si realizza l’obiettivo di tradurre la situazione empirica (il dispositivo) in una rappresentazione simbolica funzionale che traduce l’idea di **catena orientata** ossia di un insieme di oggetti che, disposti in una certa sequenza da sinistra a destra, permettono di produrre l’effetto desiderato.

FASE 3 - DALLO SCHEMA FUNZIONALE ALLO SCHEMA DISTRIBUTIVO

Lo schema funzionale è il punto di partenza per accedere ad una nuova concettualizzazione basata non più sulla “funzione” degli oggetti o sistemi ma su ciò che scambiano, ciò che forniscono e ciò che ricevono. Analizzando da questo punto di vista le situazioni sperimentali, gli allievi elaborano nuovi schemi nei quali i singoli sistemi dei dispositivi, considerati come componenti di una **catena di distribuzione**, sono distinti in tre categorie: - sistemi che possiedono e forniscono qualcosa (luce, elettricità, ecc) e quindi funzionano da **serbatoi** di qualcosa (pila, sole, ecc.); - sistemi che ricevono e forniscono qualcosa e quindi funzionano da **trasformatori** di qualcosa (motore, accumulatore, ecc.); - sistemi che ricevono e possiedono qualcosa e quindi funzionano da

stema all’altro viene indicato sulla freccia. Gli allievi passano così da uno schema funzionale ad uno schema distributivo che viene rappresentato, come il primo, come una catena orientata di sistemi, usando gli stessi simboli. In questo modo, si mette in evidenza, anche visivamente, ciò che hanno in comune sia le diverse situazioni sperimentali, sia i due diversi modi di concettualizzarle (Fig. 5).

Indubbiamente sorgeranno dei problemi relativi ai termini usati dagli alunni per indicare il “qualcosa” che figura nelle espressioni precedenti. Mol-

to probabilmente, in base alle conoscenze di senso comune, gli allievi utilizzeranno il termine energia prima di averne costruito il significato. Inoltre, è molto probabile che specificeranno la natura dell’energia con gli attributi di senso comune. Ciò avviene, ad esempio, quando si afferma che la pila possiede energia elettrica in base non già alla natura della pila (in essa avvengono delle reazioni chimiche), ma agli effetti che questa produce; oppure quando si afferma che un pannello solare possiede energia solare.

Il ricorso allo schema funzionale ed a quello distributivo è giustificabile in base a diverse considerazioni. In primo luogo, si tratta di due modi di rappresentare la realtà che aprono la strada alla rappresentazione energetica dell’interazione tra sistemi e che fanno parte del cosiddetto “sanere co-



Fig. 5 - Esempi di rappresentazioni simboliche distributive

mune". Si può quindi pensare che gli allievi possano accettarli ed usarli senza dover superare particolari ostacoli. In secondo luogo, la rappresentazione funzionale e quella distributiva sono strumenti mentali mediante i quali gli allievi possono distinguere l'energia dai trasferimenti di energia. In terzo luogo, queste rappresentazioni aiutano gli allievi a costruire concetti categoriali mediante i quali è possibile classificare i sistemi che costituiscono i dispositivi energetici: serbatoio, trasformatore, ricettore. In quarto luogo, queste rappresentazioni permettono di sviluppare ragionamenti qualitativi che rendono accettabili due ipotesi fondamentali: l'esistenza dell'energia e la conservazione dell'energia.

FASE 4 - L'ENERGIA COME IPOTESI ESPLICATIVA

Nella prima fase, lo studio dei dispositivi ha permesso agli allievi di concludere che è possibile produrre lo stesso effetto finale (ad esempio, l'accensione di una lampadina) con dispositivi aventi differenti serbatoi iniziali, oppure che è possibile produrre effetti finali diversi (ad esempio: accendere una lampadina, far girare un motore o riscaldare una resistenza) con dispositivi aventi lo stesso serbatoio iniziale. Tali conclusioni possono essere tradotte in questo modo: - i contenuti di serbatoi diversi possono produrre lo stesso effetto finale; - il contenuto di uno stesso serbatoio può produrre effetti finali diversi. Nelle due fasi successive, si è passati dai dispositivi sperimentali alle loro rappresentazioni mediante schemi funzionali e distributivi che permettono di sviluppare ragionamenti qualitativi sulle interazioni tra i sistemi che costituiscono i dispositivi. A questo punto gli allievi dovrebbero disporre di una base concettuale tale da rendere accettabile una congettura che avanza l'insegnante:

Nonostante la varietà dei dispositivi studiati, nonostante le differenze esistenti tra ciò che i sistemi costitutivi dei vari dispositivi possiedono, forniscono o ricevono, esiste una unica entità, chiamata energia, che si manifesta in modi diversi.

serbatoi sia di interpretare in modo univoco i fenomeni che si verificano nei vari dispositivi studiati dagli allievi e tutta una serie di altri fenomeni, anche se l'energia rimane un'entità vaga che deve essere meglio definita. A questo punto è possibile proporre agli allievi una nuova modellizzazione delle situazioni sperimentali nelle quali gli oggetti sono concettualizzati come *serbatoio*, *trasferitore* e *scarica di energia*.

6- ENERGIA E TRASFERIMENTI DI ENERGIA

Introdotta l'idea di energia come entità, come *oggetto mentale* che permette di interpretare in modo coerente una serie molto ampia di fenomeni nei quali avvengono trasferimenti di energia, conviene indirizzare gli allievi a riflettere su alcune espressioni tipiche del linguaggio quotidiano. Si parla infatti comunemente di energia termica o calore, di energia elettrica, di energia nucleare, di energia meccanica, ecc. ma ora gli allievi sanno che elettricità, movimento, calore, luce si manifestano nei fenomeni (termici, elettrici, nucleari, ecc..) che sono le forme di trasferimento di energia da un serbatoio iniziale ad una scarica finale. Quindi nel linguaggio comune si distinguono diverse forme di energia ma, in realtà, questa distinzione riguarda non l'energia ma il tipo di fenomeni implicati nel suo trasferimento.

La modellizzazione dei sistemi empirici mediante gli schemi distributivi permette anche di affrontare il problema relativo al "come mai" avvengono trasferimenti di energia e quindi di interpretare una serie estesa di fenomeni le cui manifestazioni empiriche sono molto diverse.

Abbiamo scritto "come mai" e non "perché". Questa scelta è dovuta anche al fatto che non sono pochi gli insegnanti i quali ritengono che l'energia sia la causa dei fenomeni naturali. Come ha scritto un insegnante che partecipava ad un corso di aggiornamento: "Ogni fenomeno è caratterizzato da un certo numero di trasformazioni, ogni trasformazione costituisce un movimento e movimento significa energia. Dunque l'energia è la causa di ogni fenomeno. L'energia come causa dei fenomeni è l'aspetto che meglio si addice ad un discorso di scienze per la scuola media, mentre l'energia come invariante (principio di conservazione)

ne) richiede un approccio quantitativo che è più agevole affrontare in un corso di fisica per studenti della scuola secondaria superiore". Non si può che essere d'accordo sull'ultima frase, ma l'idea che l'energia sia la causa dei fenomeni non può assolutamente essere accettata. In effetti, l'energia non è la causa delle trasformazioni, ma è in base a considerazioni di tipo energetico che si può prevedere se un fenomeno è spontaneo oppure no e fissare i limiti entro i quali le trasformazioni sono possibili. E' ben noto che le trasformazioni fisiche e chimiche vengono interpretate e previste in base alle leggi della termodinamica; in particolare il secondo principio prevede che una trasformazione sia spontanea se associata ad un aumento di entropia nell'universo. Con gli allievi della scuola media non è possibile tirare in ballo l'entropia, ma è certamente possibile fare riferimento alle "differenze" che si possono rilevare tra un sistema e l'altro. In questo modo gli allievi hanno a disposizione un'idea di partenza semplice ed intuitiva per discutere delle ragioni per cui avvengono certi fenomeni, vale a dire per rispondere al quesito: "Come mai, ...?" Accoppiando questa idea intuitiva delle "cause" dei fenomeni con gli schemi distributivi è possibile far sì che le discussioni sui fenomeni nei quali entrano in gioco i combustibili, i cibi e la vita abbiano un senso per gli allievi. Nel paragrafo successivo viene presa in considerazione una "differenza di temperatura" come origine del trasferimento di energia sotto forma di calore da un sistema ad un altro.

6.1 - IL CALORE COME TRASFERIMENTO DI ENERGIA.

Come abbiamo detto precedentemente, un sistema può trasferire energia in modo calore o in modo lavoro. E' in base al moto delle particelle, di cui ammettiamo che il sistema sia costituito, che il trasferimento di energia viene interpretato in un modo o nell'altro. Per gli allievi della scuola media, il trasferimento di energia in modo calore si rivela particolarmente interessante per due motivi:

- permette di affrontare il problema dei trasferimenti di energia prendendo in considerazione una serie di situazioni comuni ben note agli allievi, quale il riscaldamento di una stanza mediante un termosifone o il progressivo raffreddarsi di un piatto di spaghetti;

- permette di chiarire il concetto di “calore” in modo coerente con il discorso generale sviluppato sul tema energia. A questo proposito, si è notato che gli allievi della Scuola Media Inferiore e del biennio delle Superiori hanno difficoltà a concettualizzare l’espressione “trasmissione di energia in modo calore”: per questo motivo è preferibile usare l’espressione “trasmissione di energia sotto forma di calore”.

Come si è detto, un sistema può essere un serbatoio, un trasferitore o

cetti nelle loro comunicazioni. Quando avviene un trasferimento di energia sotto forma di calore? Quando vengono messi a contatto due sistemi fra i quali esiste una differenza di temperatura (Fig. 7).

Gli allievi possono elaborare questa idea studiando situazioni comuni; per esempio quando si servono gli spaghetti, occorre attendere un po’ di tempo perché questi possano essere mangiati senza scottarsi la bocca. I sistemi da prendere in considerazione sono: il piatto, gli spaghetti, l’am-

Un’altra situazione comune che può essere presa in esame è quella relativa al riscaldamento di un ambiente chiuso. Anche in questo caso si ha trasferimento di energia sotto forma di calore e i sistemi da prendere in considerazione sono il radiatore (termosifone), l’aria del locale e le pareti che lo delimitano (muri, porte, finestre). Lo studio di questa situazione permette di mettere in evidenza che vi è trasferimento di energia sotto forma di calore dal radiatore all’aria, da questa alle pareti e dalle pareti all’esterno. Naturalmente la catena energetica può risalire sino al combustibile (gas, gasolio, legna, carbone, ecc) che reagisce con il comburente e produce l’energia necessaria per scaldare l’acqua che circola nei radiatori.

Con lo stesso approccio è possibile prendere in considerazione altre forme di trasferimento di energia per produrre lo stesso effetto, ossia innalzare la temperatura di un sistema: l’irraggiamento (ad esempio da parte



Fig. 6 - Rappresentazione simbolica di trasferimento di energia sotto forma di calore secondo il modello distributivo

una discarica di energia. Un sistema può fornire e/o ricevere energia sotto forma di calore, ma un sistema non possiede calore. In genere, se un sistema fornisce energia sotto forma di calore, la sua temperatura diminuisce: se un sistema riceve energia sotto forma di calore, la sua temperatura aumenta. Quindi la temperatura dà informazioni sullo stato di un sistema, mentre il calore è una forma di trasferimento di energia e non ha niente a che vedere con le proprietà del sistema. Ricorrendo al modello distributivo, le rappresentazioni possibili sono raffigurate nelle figure 6 e 7.

Nella rappresentazione distributiva (Fig. 6) compare l’espressione “fornisce calore” (“riceve calore”) invece dell’espressione “fornisce energia sotto forma di calore” (“riceve ener-

biente. Quest’ultimo viene, in genere, introdotto dagli allievi durante il

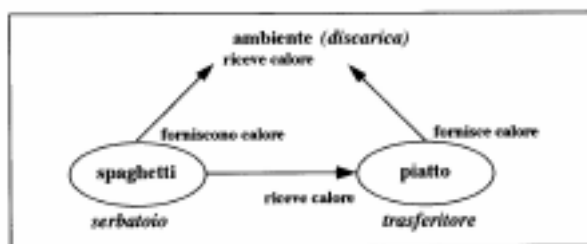


Fig. 8 - Il sistema "ambiente" in uno schema distributivo

lavoro di modellizzazione con lo schema distributivo. Si tratta di dare risposta alla domanda: *Dove è collocato il dispositivo studiato?*

E’ possibile, sia con lo schema funzionale sia con quello distributivo,

del sole) ed il lavoro meccanico (ad esempio sfregando un pezzo di metallo con carta vetro). Infine è possibile analizzare tutti questi fenomeni a livello microscopico, se gli allievi padroneggiano già il modello particellare della materia. In effetti, la temperatura è una grandezza macroscopica che corrisponde, a livello microscopico, all’agitazione disordinata delle particelle che costituiscono il sistema. Quando un sistema riceve calore, la sua temperatura aumenta: a livello microscopico questo fenomeno viene attribuito ad un aumento della velocità delle particelle.

CONCLUSIONE

La proposta d’insegnamento del concetto di energia schematizzata in questo articolo ha come fondamento una certa concezione dell’apprendimento inteso come ristrutturazione dei reticoli concettuali. Tale concezione è fondata su presupposti epistemologici e



Fig. 7 - La differenza di temperatura tra sistemi ed il trasferimento di energia sotto forma di calore secondo il modello distributivo

gia sotto forma di calore”). Il primo modo di esprimersi è accettabile come sintesi di una frase più lunga ma più corretta. E’ compito dell’insegnante accertare se l’allievo che dice “fornire calore” stia pensando “fornire energia sotto forma di calore”. D’altronde questo tipo di situazione è frequente tra gli esperti delle discipline che spesso usano sintetizzare alcuni con-

utilizzare una rappresentazione del tipo raffigurato nella figura 8. In questo caso viene messo in evidenza come l’ambiente riceva energia sotto forma di calore sia dagli spaghetti che dal piatto. Gli allievi vengono sollecitati ad analizzare questo sistema dal punto di vista degli scambi di energia tra spaghetti e piatto, spaghetti e ambiente, piatto e ambiente.

psicologici in base ai quali viene riconosciuto un certo statuto ai concetti ed ai modelli, assegnata una certa funzione alle attività sperimentali, ecc.; inoltre da tali presupposti dipendono le scelte didattiche, ossia il modo di insegnare e quelle pedagogiche, ossia il modo di gestire la classe. Da un punto di vista generale, si può affermare che spetta all'insegnante aiutare l'allievo a cambiare il proprio modo di pensare, a passare da schemi mentali basati sul senso comune a modi di ragionare sempre più vicini a quelli degli scienziati. Tale passaggio non è semplice né indolore, in quanto non vi è continuità ma rottura tra i vari livelli di sapere ed il passare dall'uno all'altro esige vere e proprie ristrutturazioni concettuali. Spetta all'insegnante aiutare l'allievo a superare questi dislivelli. In altre parole, l'insegnante deve fare in modo che l'allievo non si trovi, di colpo, di fronte a concetti formali ed a modi di ragionare complessi quali sono quelli che abitualmente usano gli scienziati. Se così fosse, l'apprendimento non potrebbe essere che di tipo verbale e mnemonico.

Secondo Lemeignan e Weil-Barais che hanno proposto l'approccio presentato in questo articolo, nel caso dell'apprendimento del concetto di energia, tale passaggio è agevolato dal ricorso a modelli intermedi che essi chiamano "precursori" che già

contengono alcuni tratti caratteristici dei modelli scientifici: si tratta infatti di modelli che mettono in gioco oggetti mentali, operazioni logiche associate all'uso di tali oggetti, rappresentazioni simboliche, ecc. In questo modo, i soggetti che apprendono sono messi in condizione di superare il dislivello che esiste tra il loro modo di pensare e quello degli scienziati, rielaborando e adattando i propri schemi mentali attraverso una serie di passaggi che risultano accettabili dal punto di vista logico e adeguati dal punto di vista epistemologico. Infatti i modelli elaborati in questi stati intermedi sono funzionali, in quanto permettono di interpretare una serie di situazioni sperimentali, ed evolutivi, in quanto permettono di passare da un tipo di interpretazione ad un altro. Carattere funzionale e natura evolutiva sono due caratteristiche fondamentali dei modelli scientifici.

Si tratta quindi di un approccio che favorisce l'attività degli allievi, tenendo conto delle loro capacità cognitive e sfruttando a fondo le loro potenzialità mentali per farli accedere a quella che Vygotski chiama la **zona di sviluppo potenziale o prossimale**. Si tratta di una zona mentale che, rispetto al livello di sviluppo cognitivo del soggetto che apprende, è avanzata ma non inaccessibile se vi è un aiuto adeguato da parte dei compo-

nenti più esperti del gruppo sociale. Ricorrendo ad un'analogia, si può dire che l'insegnante è come la guida che aiuta l'alpinista inesperto a conquistare una vetta che quest'ultimo non sarebbe in grado di scalare da solo.

Le sperimentazioni che sono in corso permetteranno di verificare sia le potenzialità che i limiti di questo approccio nel contesto della scuola italiana, sapendo che la ricerca condotta in Francia [4] ha coinvolto un numero ristretto di allievi ed è stata fortemente condizionata sia da vincoli di tempo sia dalla forte rigidità dei programmi di insegnamento che lasciano ben poco spazio alla sperimentazione di approcci innovativi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Condolo, E. Roletto, L'energia: dalla storia del concetto alla trasposizione didattica. Parte prima: Il campo semantico dell'energia, *CnS*, 1999, **21**, 53.
- [2] E. Cassirer, *Substance et fonction - Eléments pour une théorie du concept*, Minuit, Paris, 1977.
- [3] Ibidem.
- [4] G. Lemeignan, A. Weil-Barais, *Bilan du travail réalisé à propos d'Energie. Rapport de recherche*, LIREST, Université Paris VII, 1988.
- [5] J. Solomon, *Getting to know about energy in school and society*, Falmer Press, London, 1992.
- [6] G. Condolo, E. Roletto, L'energia: dalla storia del concetto alla trasposizione didattica. Parte seconda: Gli schemi mentali degli allievi, *CnS*, **XXI**, 3, 79