

L'ENERGIA

Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica

Parte prima:

Il campo semantico dell'energia

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

Summary - This article is the first of a study which deals with the identification of pupils' (aged 11 - 14) ideas about energy. After a short epistemological analysis of the formation of the concept, results are reported concerning words' association with the term energy. Pupils associate mainly terms related to electricity (bulb, electrical current, battery, television set, etc.) and to natural objects and phenomena (sun, wind, water, earth, etc.). In the second part of this study the results obtained with a questionnaire including two tasks will be reported.

1 - INTRODUZIONE

I programmi del primo ciclo della scuola secondaria del 1979 indicano, per il tema "Progresso scientifico e società", due contenuti, il primo dei quali è "energia" ed il secondo "scienza e società". Le indicazioni di lavoro per il contenuto energia sono le seguenti: *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 globale, che alla fine del corso triennale, andrebbe ripreso ed 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.*

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

(**) Dipartimento di Chimica Analitica, via Pietro Giuria 5, 10125 Torino - Gruppo di Didattica della Chimica Università di Torino

GIANNI CONDOLO (*)

EZIO ROLETTO (**)

Da queste indicazioni di lavoro, emerge chiaramente l'idea che il concetto di energia è uno dei più importanti per l'educazione alle scienze in quanto interviene in tutta una serie di fenomeni studiati nell'ambito delle diverse aree. In effetti si è sostenuto che lo studio della fisica dovrebbe essere considerato lo studio dell'energia e delle sue trasformazioni e si è avanzata l'ipotesi di unificare l'insegnamento delle scienze fisiche e chimiche grazie al concetto di energia[1]. D'altra parte, non si può dimenticare che i flussi di energia sono uno dei temi più importanti nel campo delle scienze biologiche e che, parimenti, l'argomento energia occupa un posto importante nei settori della tecnica e dell'economia. In particolare, il tema energia ha ormai acquisito una notevole importanza dal punto di vista socio-economico, in quanto è impellente l'esigenza di limitare i consumi di risorse energetiche non rinnovabili.

Se tutti i ricercatori in didattica concordano nel ritenere il concetto di energia uno dei concetti basilari dell'educazione alle scienze, i pareri sull'età più conveniente per affrontarlo nelle attività di insegnamento/apprendimento sono discordi. Warren[2] ritiene che lo si debba insegnare solo ad allievi che già hanno acquisito conoscenze fondamentali di fisica, quali i concetti di forza e lavoro. Al contrario, Solomon[3] è del parere che si debba affrontare il concetto di energia già nella scuola elementare. Trumper[4], in uno studio verticale su allievi di età compresa tra i dieci e quattordici anni, avanza l'ipotesi che l'insegnamento dell'energia possa iniziare a dieci anni, in quanto gli allievi di questa età concepiscono l'energia come "causa" (fa muovere qualcosa

o produrre qualcosa) e come "prodotto" (è il risultato di una qualche trasformazione). Secondo l'autore, questi sono i quadri interpretativi fondamentali per analizzare una grande varietà di fenomeni o processi fisici in termini di "energia" e per comprendere i concetti di "trasferimento" e "conservazione" dell'energia.

2 - LA COSTRUZIONE DEL CONCETTO DI ENERGIA

Le ricerche che hanno consentito di sviluppare il concetto di energia e di dargli il contenuto scientifico fecondo che possiede oggi appartengono al dominio della meccanica ed a quello della termologia. Anche nel caso dell'energia, la storia delle scienze insegna che i nuovi concetti si affermano solo dopo un periodo più o meno lungo, durante il quale si trovano in uno stato di confusione e di fluidità. Il salto epistemologico, nel senso in cui ne parla Bachelard, avviene nel momento in cui il nuovo concetto si libera dei legami con le vecchie concezioni e si fissa in una nuova dimensione, creando un nuovo paradigma e aprendo nuove prospettive di ricerca.

Nel paragrafo che segue prenderemo in considerazione, da un punto di vista storico ed epistemologico, l'elaborazione del concetto di energia, fino al momento in cui gli scienziati riuscirono a definirla in modo da farne un concetto fondamentale della fisica, misurabile e quantificabile. A questo scopo seguiremo due piste, quella meccanica e quella termica.

2.1 - L'ENERGIA NEI FENOMENI MECCANICI

Aristotele è il filosofo che elaborò le idee della fisica che resistettero fino alla prima rivoluzione scientifica*. Egli parlò di **energheia** contrapponendola a **dynamis**: la prima sta ad indicare l'atto, la seconda la potenza. Per questo filosofo, la materia è pura

“potenzialità” che viene realizzata con conseguente passaggio all’atto, grazie all’energia della forma: *Materia e forma sono inscindibili, dal momento che ciò che è in atto non è altro che ciò che era in potenza, dopo aver conseguito il suo compimento*[5]. Un esempio che ben chiarisce questo concetto è quello del blocco informe di marmo e della statua: lo scultore estrae dal blocco informe (la materia), per eliminazione della parte superflua, una statua (la forma). Quest’ultima era già presente “in potenza” nel blocco di marmo e l’opera dello scultore consente di passare da ciò che è in potenza a ciò che è in atto. Questa è l’idea di potenza che con successivi aggiustamenti e variazioni, sopravvisse fino all’avvento degli “scienziati” (Galileo, Bacon, Newton, ecc.) che si schierarono apertamente contro il principio d’autorità (l’ha detto Aristotele e quindi non c’è discussione che tenga) e contro il dogma (sta scritto nelle Sacre Scritture e quindi non può essere oggetto di discussione) e sostennero la necessità di studiare il mondo per quello che è. Il rifiuto della fisica aristotelica da parte degli scienziati che furono gli artefici della rivoluzione scientifica, portò a sostituire la coppia “energia-potenza” con la coppia “energia-forza”. Nel secolo XVII Descartes sostenne che, a partire da un insieme di proposizioni indiscutibili o assiomi concernenti Dio e la mente umana, era possibile ricavare la conoscenza geometrica quantitativa del mondo. Egli ammise *a priori* che, pur modificandosi i movimenti dei corpi, una qualche grandezza fisica dovesse conservarsi. In questo modo giunse a dedurre il principio di conservazione del movimento, ossia del prodotto della massa del corpo per la sua velocità che egli riteneva una misura dell’effetto di una forza.

L’idea di Descartes venne contestata da Leibniz e Huygens: entrambi sostennero che la vera misura dell’effetto di una forza era il prodotto mv^2 al quale Leibniz diede il nome di vis viva (**forza viva**). L’idea di Leibniz è un abbozzo del teorema dell’energia cinetica, ma solo un secolo più tardi, e precisamente nel 1829, Coriolis propose per la forza viva l’espressione

$mv^2/2$ ossia quella che oggi è chiamata energia cinetica. Come sostiene Elkana⁵, nel XVII e XVIII secolo il concetto di forza era ancora allo stato fluido, anche per i grandi matematici (Eulero, D’Alambert, Lagrange, Bernoulli, Leibniz) che svilupparono la meccanica razionale, mentre quello di energia non era ancora nato.

Il termine energia si trovò infine ad essere associato al concetto di vis viva, di forza viva, cioè alla forza intrinseca al corpo in movimento, designata come mv^2 . Infatti, il primo scienziato che abbia usato il termine “energia” in senso moderno fu l’inglese Thomas Young che scrisse nel 1807, nelle sue *Lectures on Natural Philosophy: Il vocabolo energia può essere applicato in modo molto appropriato al prodotto della massa o peso del corpo per il quadrato del numero che ne esprime la velocità... Questo prodotto è stato denominato forza viva o ascendente. Alcuni lo hanno considerato la vera misura della quantità di moto; ma anche se questa tesi è stata rifiutata universalmente, la forza stimata in questo modo merita però una denominazione distinta*. [6] Come si comprende facilmente, Young identificava l’energia con quella che oggi viene chiamata energia cinetica.

2.2 - L’ENERGIA NEI FENOMENI TERMICI

La storia della formazione del concetto di calore è lunga e tortuosa come quella del concetto di energia. I due concetti si sono sviluppati parallelamente e indipendentemente l’uno dall’altro fino al diciannovesimo secolo, cioè fino alla enunciazione del primo principio della termodinamica. Infine, con l’affermarsi dell’equivalenza tra calore e lavoro, è stato possibile definire il calore come un particolare modo di trasferimento dell’energia. Fin dalla sua origine, il concetto di calore è stato associato, confuso o sostituito con quello di temperatura. Questa idea è tanto radicata che, ancora oggi, per indicare un oggetto caldo, si ricorre alla sua temperatura e non alla quantità di calore che esso contiene. Una giornata torrida, o un bimbo con la febbre, evocano un’idea di temperatura e, viceversa, sono proprio le temperature che ci fanno dire quanto

sia torrida la giornata, o quanto sia ammalato il bimbo. Non che queste idee siano sbagliate, è che si riferiscono ad una qualità del calore e non al calore stesso.

Inizialmente, gli studiosi della natura, come ad esempio Aristotele, avanzarono l’idea che il calore fosse una “sostanza” (ipotesi **materialista**) e tale idea rimase praticamente invariata fino al diciannovesimo secolo. Una di queste sostanze è il **flogisto**, proposto all’inizio del secolo da Becher e Stahl. Il flogisto venne ritenuto inizialmente una proprietà intrinseca che determinati corpi si scambiano nel corso di trasformazioni oggi chiamate reazioni chimiche. In seguito, tale scambio venne esteso alle trasformazioni in cui si verifica un aumento di temperatura, come i cambiamenti di stato di aggregazione. Però il flogisto era ritenuto una sostanza immateriale e quindi priva di peso: ciò rese difficile interpretare certi fenomeni. Si aprì così la strada al dubbio che divenne critica aperta verso la fine del secolo, quando Lavoisier portò a predominare l’idea dell’esistenza dell’ossigeno. Allora gli scienziati sostituirono l’idea del flogisto con quella di **calorico** che, indicato inizialmente con il termine fluido igneo, veniva descritto come un fluido elastico, costituito da particelle autorepulsive e attrattive da altre particelle materiali, indistruttibile e non generabile.

Accanto all’ipotesi materialista si era sviluppata anche l’ipotesi **dinamica** sulla natura del calore. Questa, chiamata anche ipotesi meccanica o cinetica, era la più antica e interpretava il caldo ed il freddo come diversi stati termici della materia, intesi come stati di movimento meccanico o di vibrazione a livello microscopico.

Il dibattito sulla natura del calore ebbe influenza anche nel tentativo di spiegare le trasformazioni calore-potenza motrice e viceversa. Nella *Memoire sur la chaleur*[7] pubblicata nel 1783, Lavoisier e Laplace fissarono con chiarezza i termini del problema: *Les physiciens sont partagés sur la nature de la chaleur. Plusieurs d’entre eux la regardent comme un fluide répandu dans toute la nature et dont les corps sont plus ou moins pénétrés, à raison de leur température et de leur disposition particulière à le retenir...d’autres physiciens pensent que la chaleur n’est que le résultat des mouvements invisibles des molécules de la*

⁵ Viene chiamato *rivoluzione scientifica* un fenomeno storico complesso la cui durata copre convenzionalmente il periodo compreso tra il 1543, anno della pubblicazione dell’opera *De Revolutionibus Orbium Coelestium* di Copernico, e l’anno 1687 in cui fu pubblicata l’opera *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Newton. Si sostiene abitualmente che durante questo periodo si sono poste le basi della scienza moderna.

matière. On sait que les corps, même les plus denses, sont remplis d'un grand nombre de pores ou de petites vides... Ces espaces vides laissent à leurs parties insensibles la liberté d'osciller dans tous les sens... C'est ce mouvement intestin qui, suivant les physiciens dont nous parlons, constitue la chaleur...

[I fisici hanno idee diverse sulla natura del calore. Alcuni lo considerano un fluido diffuso in tutta la natura che penetra tutti i corpi in modo diverso a seconda della temperatura e della loro particolare disposizione a trattenerlo (si tratta della congettura materialista sulla natura del calore)... Altri pensano che il calore non sia altro che il risultato dei movimenti impercettibili delle molecole della materia. Si sa che i corpi, anche quelli più densi, hanno un gran numero di pori o di piccoli vuoti... Questi spazi vuoti lasciano alle loro parti invisibili la libertà di oscillare in tutti i sensi... E' questo movimento interno che, secondo questi fisici, costituisce il calore (si tratta della congettura dinamica sulla natura del calore)].

I due autori non prendevano posizione a favore dell'una o dell'altra ipotesi (*Nous ne déciderons point entre les deux hypothèses précédentes*) e facevano notare che ognuna permetteva d'interpretare in modo soddisfacente un certo tipo di fenomeni. Per esempio, con l'ipotesi dinamica, si dava un'interpretazione semplice e soddisfacente del fenomeno dell'irraggiamento e del calore sviluppato in seguito ad attrito. D'altra parte, con l'ipotesi materialista, si interpretava facilmente la dilatazione dei corpi per riscaldamento, la loro contrazione per raffreddamento e lo scambio di calore per contatto tra due corpi. Le prime critiche decisive all'ipotesi materialista del calorico furono portate da Rumford nel 1798 (in seguito agli studi sul calore sviluppato nell'operazione di alesatura dei cannoni) e da Davy nel 1799, ma il problema fu definitivamente risolto verso la metà del diciannovesimo secolo da Joule e da Mayer che, quasi contemporaneamente, determinarono sperimentalmente il valore dell'equivalente meccanico della caloria, aprendo la strada al primo principio della termodinamica o principio di conservazione dell'energia.

La prima relazione tra produzione di lavoro meccanico e trasporto di calorico si deve a Sadi Carnot che in uno scritto del 1824, intitolato *Réflexion sur la puissance motrice du feu* scrisse: "*La production de la puissance motrice est due, dans les machines à vapeur, non à une consommation de calorique, mais à*

son transport d'un corps chaud à un corp froid". [Nelle macchine a vapore, la produzione di potenza motrice è dovuta non al consumo del calorico, ma al suo trasporto da un corpo caldo ad uno freddo].

Il lavoro di Sadi Carnot, pur se presentato all'Accademia delle Scienze di Parigi, non ebbe alcuna eco e nessuno raccolse la sua congettura fino a quando Thomson in Inghilterra e Clausius in Germania non vi trovarono i fondamenti intorno a cui si strutturò, tra il 1840 ed il 1865, la termodinamica. Fu infatti nel 1865 che Clausius pubblicò la Teoria meccanica del calore nella quale enunciò i due principi fondamentali della termodinamica in questa forma:

- l'energia dell'universo è costante: principio di conservazione;

- l'entropia dell'universo aumenta: principio di evoluzione.

Egli propose di utilizzare gli stessi termini per indicare gli stessi concetti o le stesse grandezze e suggerì l'uso del termine energia, già usato da Thomson, per designare il calore e tutto ciò che può sostituirlo. Ormai il concetto era legato a manifestazioni dell'energia corrispondenti a trasformazioni di vario tipo: spostamenti nello spazio, variazioni di temperatura, fenomeni di natura elettrica e luminosa, reazioni chimiche, ecc.

Nel saggio *La scoperta della conservazione dell'energia*[5], Yeuda Elkana sostiene che il concetto di energia è stato elaborato in stretto collegamento con la formulazione del principio della sua conservazione: *Per il fisico - egli scrive - il concetto di energia è inseparabile dal principio della sua conservazione. ... [e] gli studi di storia di questo concetto compiuti da fisici chiariscono, nel modo più evidente, che il concetto di energia nel suo senso moderno sorse dopo la formulazione del principio di conservazione*". Dal momento che questo principio venne esposto per la prima volta nella sua accezione generale da Hermann von Helmholtz nel saggio *Über die Erhaltung der Kraft* (Sulla conservazione della forza), pubblicato nel 1847, possiamo collocare verso la metà del XIX secolo la nascita del concetto di energia della fisica classica. Helmholtz usò il termine *Kraft* in modo ambiguo, in quanto si trovò a dover elaborare dei concetti che, inevitabilmente, quando vengono creati, si trovano in uno stato "fluido". Per Helmholtz, la *Kraft* è una forza vaga, indefinita, alla quale tutte le

altre forze fisiche sono connesse, che egli ritiene si conservi in natura e che deve essere posta in relazione matematica con l'entità propria della fisica meccanica di cui gli studiosi della meccanica razionale avevano mostrato la conservazione.

Occorsero non meno di trenta anni alla comunità scientifica per comprendere i concetti di energia e di conservazione dell'energia. In un articolo su *Nature* del 1877, Maxwell[8] sostenne che i concetti di energia e di forza dovevano essere distinti, attribuendo loro due significati diversi. Come fa notare Elkana, verso il 1880 Helmholtz stesso cominciò a parlare, anziché, di *Erhaltung der Kraft*, di *Constanz der Energie* e, ad un certo punto, smise completamente di usare la vecchia espressione. Si deve forse pensare che egli ritenesse sbagliata quest'ultima? Ecco cosa scrive Elkana a questo proposito: *L'unica spiegazione che posso trovare ... è che Helmholtz vedeva il mutamento di terminologia, da "Erhaltung der Kraft" a "Constanz der Energie" come un fatto puramente verbale. Egli semplicemente non pensava che ci fosse stato qualcosa di sbagliato nel suo concetto di Kraft prima che egli ne dimostrasse la conservazione; in altri termini, non si rendeva conto che i suoi concetti erano passati per uno stato di fluidità e che il concetto di energia si era fissato nella sua mente ed in quella dei suoi contemporanei solo in conseguenza della dimostrazione della conservazione dell'energia da lui data nel 1847. Psicologicamente la cosa è chiara: non poteva essere cosciente.*

Che il concetto di energia fosse ormai chiaro verso la fine del secolo, lo testimonia un articolo di Cantoni[9] nel quale l'autore scriveva: *... giova notare come il vocabolo energia abbia un significato meglio esplicito e determinato di quello di forza. Chiamasi energia d'un corpo la sua attitudine a compiere un determinato lavoro. E si denomina lavoro l'atto con cui il corpo produce un cambiamento di posizione di un sistema di parti, le quali, per loro scambiabili azioni od influenze, resistono a codesto cambiamento.*

Nella seconda metà del XIX secolo vennero a confronto due modi diversi di interpretare la natura. Da una parte vi erano i meccanicisti i quali sostenevano la concezione materialistica e atomistica dei fenomeni natu-

rali: tutti i fenomeni erano riferiti ai movimenti di particelle materiali. A questi si contrapponevano gli energetisti i quali difendevano la concezione energetica, sostituendo all'invarianza della quantità di materia dei primi, l'invarianza della quantità di energia. La contrapposizione tra materia e energia venne risolta con la teoria della relatività nella quale non vi è distinzione essenziale tra massa ed energia, in quanto l'energia ha una massa e la massa rappresenta dell'energia. Non vi sono più due leggi di conservazione, ma una sola, quella della massa-energia.

Attualmente, la concezione dell'energia largamente condivisa dagli scienziati è stata così esplicitata da Richard P. Feynman[10]:

[Il principio di conservazione dell'energia] stabilisce che vi è una certa quantità, che chiamiamo energia, che non cambia nei molteplici mutamenti subiti dalla natura. Il concetto è astratto, poiché, si tratta di un principio matematico; esso afferma che esiste una quantità numerica che non cambia qualsiasi cosa accada. Non è la descrizione di un meccanismo o di un fenomeno concreto, è soltanto il fatto singolare di poter calcolare un numero, e dopo aver osservato i mutamenti capricciosi della natura, ricalcolarlo ottenendo sempre lo stesso risultato.

... vi è l'energia dovuta al movimento, chiamata energia cinetica, l'energia dovuta all'interazione gravitazionale, l'energia termica, l'energia elettrica, l'energia della luce, l'energia elastica delle molle, ecc. ed esiste anche l'energia che possiede una particella per il semplice fatto di esistere, energia che dipende direttamente dalla massa: $E = mc^2$.

Possiamo quindi concludere che chiedersi cosa sia l'energia è come chiedersi cosa sia una carica elettrica o una particella newtoniana. La risposta a questa domanda è che non vi è risposta, per principio. Questo significa semplicemente che si tratta di una domanda che non dovrebbe essere formulata. L'energia non è una conoscenza strutturata in quanto si tratta di un concetto fondamentale di tutta la fisica dell'interazione[11]. Come scrisse Popper: *"[L'energia è uno di quei] concetti indefiniti che compaiono soltanto come asserzioni caratterizzate dal più alto livello di universalità, ed il cui uso è stabilito dal fatto che sappiamo in quale relazio-*

ne logica stanno, nei loro confronti, gli altri concetti". [12]

Questa breve discussione sull'elaborazione del concetto di energia mette in evidenza il ruolo che la storia della scienza può svolgere nei processi educativi. J. Teichmann[13] dopo aver affermato: *"... [la storia] può anche essere utilizzata semplicemente come un patrimonio da cui far rivivere idee dimenticate ma utili..."*, traccia uno schema in sette punti nel quale riassume le varie possibilità di usare la storia della fisica a fini didattici. In uno di questi punti, il quarto, egli sostiene: *"Lo sviluppo di un problema contribuisce ad una maggior chiarezza rispetto alla trattazione sistematica del problema poiché, le difficoltà emerse e succedutesi nella storia possono essere considerate analoghe alle difficoltà di comprensione del discente"*. E su questo stesso argomento, G. Bachelard[14] aveva già scritto: *"Bisogna soprattutto far comprendere la molteplicità delle difficoltà che hanno ostacolato il progresso. Riguardo a ciò, senza arrivare ad affermare - alla maniera di Auguste Comte - il parallelismo tra lo sviluppo dell'individuo e lo sviluppo dell'umanità, parallelismo troppo semplicistico per fornire spunti fecondi, è certo che la storia delle scienze è ricca di insegnamenti per la pedagogia"*.

Il divenire del concetto di energia è fondamentale non solo per comprendere lo sviluppo della fisica e i salti epistemologici che l'hanno caratterizzato, ma anche per individuare le situazioni didattiche che, nell'ambito di un modello pedagogico efficace, possono consentire agli allievi quei salti cognitivi tipici del superamento di un ostacolo concettuale che caratterizzano l'apprendimento.

3 - CONOSCENZA SCIENTIFICA E CONOSCENZA COMUNE

Come abbiamo visto, l'energia è un concetto formale che acquista significato nel contesto del principio di conservazione, ma occorre tenere presente che lo scienziato considera l'energia anche dal punto di vista qualitativo. Infatti, il secondo principio della termodinamica stabilisce che il capitale energia può evolvere unicamente nel senso di una perdita di qualità o degradazione. Quando parla di degradazione dell'energia, lo scienziato intende dire che dell'energia di tipo non termico, si trasforma

in energia termica. Per esempio, quando un atleta "riscalda i muscoli" o un corridore di Formula 1 "riscalda il motore", l'atleta ed il motore producono energia meccanica. L'energia termica prodotta contemporaneamente dall'atleta o dal motore è, quasi sempre, inutilizzabile, inutile. Un fisico direbbe che l'energia utilizzabile si degrada, in quanto una parte si trasforma in calore.

Al concetto scientifico di "degradazione" fa da contraltare la nozione di "consumo dell'energia" tipica del sapere comune. Per il fisico non è l'energia in quanto tale che viene consumata, ma è la **qualità** dell'energia che viene **svalutata**. Basta questo esempio relativo al problema della "degradazione" (nozione scientifica) e del "consumo" (nozione comune) dell'energia, per rendersi conto che esiste un divario notevole tra le concezioni scientifiche e quelle del sapere ordinario socialmente condiviso. Quindi gli allievi si trovano di fronte non solo alle difficoltà di apprendimento legate alla complessità intrinseca del concetto di energia, ma anche agli ostacoli frapposti dal sapere comune, ossia da quell'insieme di conoscenze, prodotto spontaneamente dai membri di un gruppo sociale, fondato sulla tradizione e sul consenso; si tratta di una somma di immagini mentali collegate da legami di origine scientifica, mutuati dal contesto culturale e trasformati al fine di servire nella vita di ogni giorno[15].

Come sostiene Solomon[16], coloro che imparano sono nella poco confortevole situazione di vedere il mondo attraverso due "filtri" diversi: quello della vita quotidiana e quello della scuola. Da una parte, la scuola tende a portare gli allievi ad appropriarsi di idee "scientifiche" a proposito di fatti naturali. D'altra parte, al di fuori del contesto scolastico, gli allievi sono immersi in un contesto sociale nel quale circola un ampio repertorio di idee e di schemi interpretativi di "senso comune" che l'insegnamento scolastico contrasta con difficoltà, in quanto questi sono continuamente rinforzati dalle discussioni e conversazioni quotidiane, dalle informazioni fornite dai mezzi di comunicazione, dai messaggi pubblicitari, ecc. Solomon[16] definisce "sovversiva" l'influenza di questi schemi interpretativi di "senso comune" nel confronto dell'educazione alle scienze.

4 - APPRENDIMENTO E CONCEZIONI DEGLI ALLIEVI

Quanto è stato detto, a proposito dei concetti scientifici e delle idee tipiche del sapere comune concernenti l'energia, è sufficiente per comprendere l'importanza dello studio delle concezioni iniziali degli allievi. Tale studio si rivela indispensabile quando l'apprendimento è concepito come "costruzione" di sapere da parte di colui che apprende, impegnato in una continua ristrutturazione dei propri reticoli concettuali. Il modello di apprendimento al quale facciamo riferimento [17] privilegia una strategia nella quale l'allievo è coautore del proprio sapere, insieme ai compagni del gruppo classe ed all'insegnante. L'apprendimento ha come punto di partenza una situazione problematica che l'allievo può affrontare con strumenti mentali di cui già dispone: le proprie concezioni. In base a queste, egli pone delle domande, organizza i propri ragionamenti, avanza previsioni e dà un senso alle nuove informazioni. L'allievo impara quindi a partire dalle proprie concezioni iniziali che costituiscono gli strumenti di lavoro con le quali egli affronta, in un primo tempo, le situazioni problematiche che gli vengono proposte. Egli è disposto a modificarle o a sostituirle soltanto quando si rende conto che queste non sono più in grado di farlo uscire da una situazione problematica, rivelandosi quindi limitate, meno feconde, al limite insostenibili, rispetto ad altre già espresse; da questo momento l'apprendimento si realizza contro le concezioni iniziali. Secondo questo modello, l'apprendimento è significativo quando si produce in un contesto di conflitti socio-cognitivi nel quadro dei quali l'allievo lavora con le proprie concezioni per andare **contro** queste.

Si tratta di una strategia pedagogica che tiene conto delle idee degli epistemologi contemporanei a proposito della natura della scienza e delle attività che svolgono gli scienziati per elaborare conoscenze scientifiche, attività in cui giocano un ruolo importantissimo la raccolta delle informazioni, il lavoro di gruppo, le discussioni tra pari, la costruzione di modelli. In questa strategia entra anche il lavoro sperimentale, ma questo sicuramente non svolge il ruolo che gli viene assegnato da certi approcci basati su una concezione attivistica dell'apprendimento e su un'idea del-

la scienza di tipo empirico-realista. L'attività scientifica non si riduce all'esperimento, e la scienza non trova i suoi fondamenti nell'osservazione senza pregiudizi e nella sperimentazione non guidata da congetture teoriche.

Dopo questa succinta esposizione del modello d'apprendimento al quale facciamo riferimento, riteniamo sia comprensibile il motivo per cui ci interessiamo alle opinioni degli allievi sull'energia. Se le concezioni iniziali di un soggetto che apprende sono i primi strumenti ai quali ricorre per costruire il proprio sapere, risulta importante conoscerle per organizzare un intervento didattico che possa inizialmente appoggiarsi su queste idee per andare **oltre** e, se necessario, **contro** di esse. Nello stesso tempo, studiando le concezioni sull'energia di allievi che entrano nella scuola media e di allievi che stanno per uscirne, possiamo operare un confronto e stabilire quale effetto abbia avuto su di esse l'insegnamento tradizionale.

Questo studio è stato quindi intrapreso allo scopo di mettere in evidenza quali idee abbiano a proposito dell'energia un certo numero di allievi della scuola secondaria di primo grado (1a, 2a e 3a media, età compresa tra undici e quattordici anni). I risultati così acquisiti dovrebbero fornire indicazioni utili per progettare un percorso di apprendimento che, usando le concezioni iniziali degli allievi come primi "strumenti di lavoro", permetta di introdurre il concetto di energia e quello associato di "trasferimento". Questo studio comprendente anche la seconda parte di prossima pubblicazione, è stato intrapreso allo scopo di mettere in evidenza quali idee abbiano a proposito dell'energia un certo numero di allievi della scuola media (età compresa tra 11 e 14 anni). Si tratta di un'indagine che non pretende di avere un carattere qualitativo, nel senso che i dati ottenuti non sono estrapolabili all'insieme degli allievi di scuola media: i risultati riflettono la situazione relativa agli allievi presi in considerazione. E' questa unica ed irripetibile? L'esperienza acquisita durante gli ultimi anni nell'ambito dei corsi di aggiornamento e formazione degli insegnanti, ci porta a ritenere che situazioni analoghe siano frequenti per due ragioni: la formazione iniziale degli insegnanti e, soprattutto, l'approccio adottato dalla generalità dei libri di testo per affrontare il tema "energia". Quindi pensiamo che

i risultati di questa ricerca possano interessare un certo numero di insegnanti che si interrogano sull'efficacia del proprio intervento didattico.

5 - IL QUESTIONARIO SUL CONCETTO DI ENERGIA

Al fine di mettere in evidenza cosa pensano gli allievi a proposito dell'energia, si è fatto ricorso ad un questionario costruito in modo da soddisfare tre esigenze:

- essere semplice da usare;
- essere facilmente compreso dagli allievi;
- fornire informazioni su un certo numero di aspetti, in particolare:
 - sulle idee degli allievi a proposito dell'energia;
 - sulle idee degli allievi a proposito di sistemi che hanno a che fare con l'energia.

Sulla base di strumenti usati in altri Paesi, si è messo a punto un questionario in tre parti: nella prima, si chiede agli allievi di associare al termine "stimolo" energia alcuni sostantivi da questo evocati; nella seconda parte, gli allievi devono rispondere alla domanda: "secondo te, cos'è l'energia?"; nella terza parte, agli allievi vengono presentati i disegni di quindici sistemi aventi a che fare con l'energia: ad ognuno di questi, ogni allievo deve associare una espressione relativa all'energia, scelta in una serie di dieci espressioni proposte. Per le prime due parti si è fatto riferimento alle ricerche di Duit [18] e Trumper [19], mentre per la terza parte si è fatto riferimento ai lavori di Bliss e Ogborn [20] e di Nicholls e Ogborn [21].

La prima e la seconda parte del questionario sono state somministrate agli stessi allievi verso la fine dell'anno scolastico 1993/1994 (maggio 1994), ad una settimana di distanza, nel corso di una normale lezione di scienze. La terza parte è stata somministrata ad altri allievi verso la fine dell'anno scolastico 1995/1996 (maggio 1996) sempre nel corso di una normale lezione di scienze. Gli insegnanti che hanno collaborato a questa ricerca partecipavano ad un corso di formazione/aggiornamento organizzato dall'IRRSAE Piemonte. In tutti i casi, i questionari erano anonimi e l'insegnante prima della somministrazione ha spiegato agli allievi che si trattava di un lavoro di ricerca condotto in collaborazione con l'Università. Inoltre ha precisato che i ricercatori erano interessati a ciò

che effettivamente gli allievi pensavano e non alle risposte “giuste” secondo i criteri scolastici.

6 - ASSOCIAZIONE DI PAROLE

Il test di associazione di parole è stato proposto ad allievi di alcune scuole medie inferiori del Piemonte, così ripartiti: classe prima, 95 allievi; classe seconda, 100 allievi; classe terza, 107 allievi. Ad ognuno è stato consegnato un foglietto sul quale era ripetuto cinque volte il vocabolo “stimolo” **energia** al quale dovevano essere associati al massimo cinque sostantivi, nel tempo di un minuto. Questa tecnica, detta di associazione libera di parole, consente di evidenziare le associazioni più spontanee ed immediate con il termine stimolo. I termini associati sono stati analizzati ricorrendo a due metodi di rappresentazione dei dati: le mappe di isofrequenza e le mappe topologiche. Questi due metodi hanno in comune il procedimento iniziale di conteggio e di sintesi dei dati che viene esposto nel paragrafo che segue.

6.1 - CONTEGGI DI BASE

Le parole associate al termine stimolo **energia** dagli allievi di una stessa classe costituiscono un unico insieme: si dispone quindi di tre insiemi di termini associati, riferiti rispettivamente agli allievi delle classi prima, seconda e terza.

Per ogni insieme è stato conteggiato il numero totale di sostantivi associati **S**. Per ogni sostantivo, si è conteggiato il numero di allievi (o effettivo) n_i che lo hanno associato al concetto di riferimento “energia”: sia **N** la somma di tutti gli n_i . Disposti i sostantivi in ordine decrescente di effettivo, per ognuno di essi è stata calcolata la frequenza percentuale f_i :

$$f_i = \frac{n_i}{N} \times 100$$

Per ciascun sostantivo di ogni insieme, è stata poi calcolata la frequenza percentuale cumulata F_k sommando le frequenze percentuali del **kesimo** sostantivo in esame e di tutti quelli che lo precedono:

$$F_k = \sum_{i=1}^k f_i$$

58

La frequenza percentuale cumulata dell'ultimo sostantivo di ogni insieme sarà quindi uguale a cento:

$$FN = 100$$

Ad ogni sostantivo è pure associato un valore y costante dato da:

$$y = 100/S$$

mediante il quale è possibile calcolare il valore dell'indice **FI** (si veda il paragrafo 6.2).

Come esempio, nella tabella 1 sono riportati, per la classe prima, i sostantivi associati al termine stimolo con i rispettivi indici: **f**, **F** e **y**.

6.2 - MAPPE DI ISOFREQUENZA

Gli insiemi dei sostantivi associati dagli allievi delle tre classi sono for-

che servono per suddividere ciascun insieme di elementi in sottoinsiemi, ognuno dei quali è costituito da elementi che debbono avere alcune caratteristiche in comune. Per localizzare un filtro si tengono presenti due condizioni :

i) la differenza fra le frequenze cumulative dei vocaboli che precedono immediatamente due filtri successivi deve essere compresa tra il 25% ed il 30%;

ii) il filtro non deve separare vocaboli aventi lo stesso effettivo.

Di conseguenza, per collocare il primo filtro (FF_1) occorre innanzi tutto

Tabella 1. Associazione di parole (classe prima - Le parole sono in ordine decrescente di effettivo (nella tabella sono riportati solo i primi 50 sostantivi

mati rispettivamente da 79 elementi (classe prima), 91 elementi (classe seconda) e 96 elementi (classe terza). I valori della frequenza percentuale **f** sono compresi tra 9,44 e 0,29 (classe prima), 10,49 e 0,31 (classe seconda), 12,14 e 0,24 (classe terza). L'analisi dei tre insiemi può essere condotta stabilendo dei livelli di lettura o filtri[22]

individuare un valore di frequenza percentuale cumulata (**F**) compreso tra i limiti prima indicati (25% - 30%). Si verifica poi che il sostantivo ad esso corrispondente abbia effettivo diverso da quello del sostantivo che lo segue. In caso contrario, si cerca un sostantivo con effettivo maggiore o minore e che soddisfi la seconda

condizione. Nel caso delle classi prime (tabella 1), il primo filtro viene collocato all'altezza del termine "sole" di rango 3, per il quale:

$$FF_1 = 28,02$$

Per collocare il secondo filtro (FF_2), si cerca un valore della frequenza percentuale cumulata (F_n), tale che il valore ($F_n - FF_1$) sia compreso tra 25% e 30% e per il quale sia rispettata la seconda condizione. Si può allora scegliere (tabella 1) il valore $F_8 = 55,46$ di modo che:

$$FF_2 = F_8 - FF_1 = 55,46 - 28,02 = 27,44$$

Con i sostantivi che rimangono, si procede in modo analogo per collocare il terzo ed il quarto filtro. In questo modo, ognuno degli insiemi di cui si dispone viene suddiviso in quattro sottoinsiemi, con valori abbastanza vicini della frequenza cumulata dei termini che appartengono al filtro. Per il filtro di ogni sottoinsieme, si è calcolato inoltre il valore di un quarto indice: la frequenza percentuale cumulata dell'informazione (FI), ottenuta

ta sommando i valori y di ogni sostantivo che appartiene al sottoinsieme considerato. Ad esempio, per la classe prima (tabella 1) si ha che:

$$FI_1 = 1,27 \cdot 3 = 3,81$$

Se prendiamo in considerazione i dati relativi alle tre classi si ha che, per il primo sottoinsieme, il valore di FF_1 è compreso tra 28,0% (classe prima) e 29,6% (classe terza), mentre il valore di FI_1 è compreso tra 3,1% (classe terza) e 3,8% (classe prima). Per il secondo sottoinsieme, il valore di FF_2 è compreso tra 25,5% (classe terza) e 27,5% (classe seconda), mentre il valore di FI_2 è compreso tra 5,2% (classe terza) e 7,7% (classe seconda). Nel terzo sottoinsieme, il valore di FF_3 è compreso tra 24,5% (classe terza) e 27,5% (classe seconda), mentre il valore di FI_3 è compreso tra 20,8% e 30,8%. Infine, per l'ultimo sottoinsieme, che non compare nella tabella, il valore di FI_4 è compreso tra 58,2% (classe seconda) e 70,7% (classe terza). Gli ultimi valori indicano che questo sottoinsieme è costituito da un numero elevato di sostantivi i cui effetti

fettivi sono molto piccoli (e nella maggior parte dei casi uguale ad uno); si tratta quindi del sottoinsieme meno significativo.

La somma dei valori di FF_1 e di FF_2 è sempre superiore al 50%, mentre i sottoinsiemi compresi nei primi due sottoinsiemi rappresentano circa il 10% dei sostantivi associati al termine stimolo. Per questo motivo, tali sostantivi acquisiscono un *peso* superiore a quello dei sostantivi degli altri due sottoinsiemi che ne contengono il restante 90%.

E' possibile rappresentare la distribuzione dei sostantivi all'interno dei sottoinsiemi con un *diagramma di isofrequenza* nel quale i sostantivi sono distribuiti sul piano, all'interno di corone circolari concentriche i cui raggi rappresentano i filtri. La distanza dei vocaboli dal centro dipende dalla loro frequenza, mentre la loro collocazione è funzione dell'affinità con i vocaboli degli altri sottoinsiemi. E' così possibile individuare sei gruppi di parole, trasversali ai filtri, che costituiscono delle *categorie*.

In ognuna delle figure 1,2 e 3 (riferite rispettivamente alle classi prima, se-

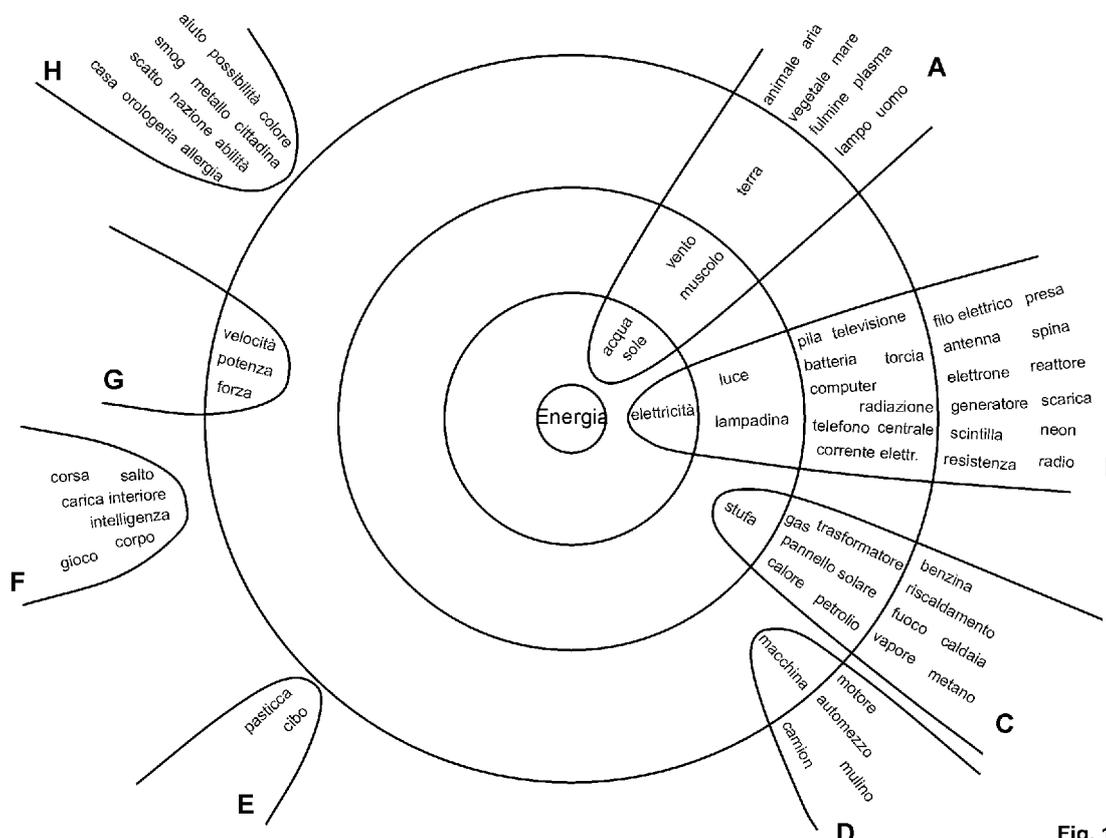


Fig. 1

Figura 1. Diagramma di isofrequenza (classe prima) A: oggetti e fenomeni naturali; B: oggetti e fenomeni elettrici; C: oggetti e fenomeni termici; D: oggetti e fenomeni meccanici; E: oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione; F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfe; G: senso comune; H: altro

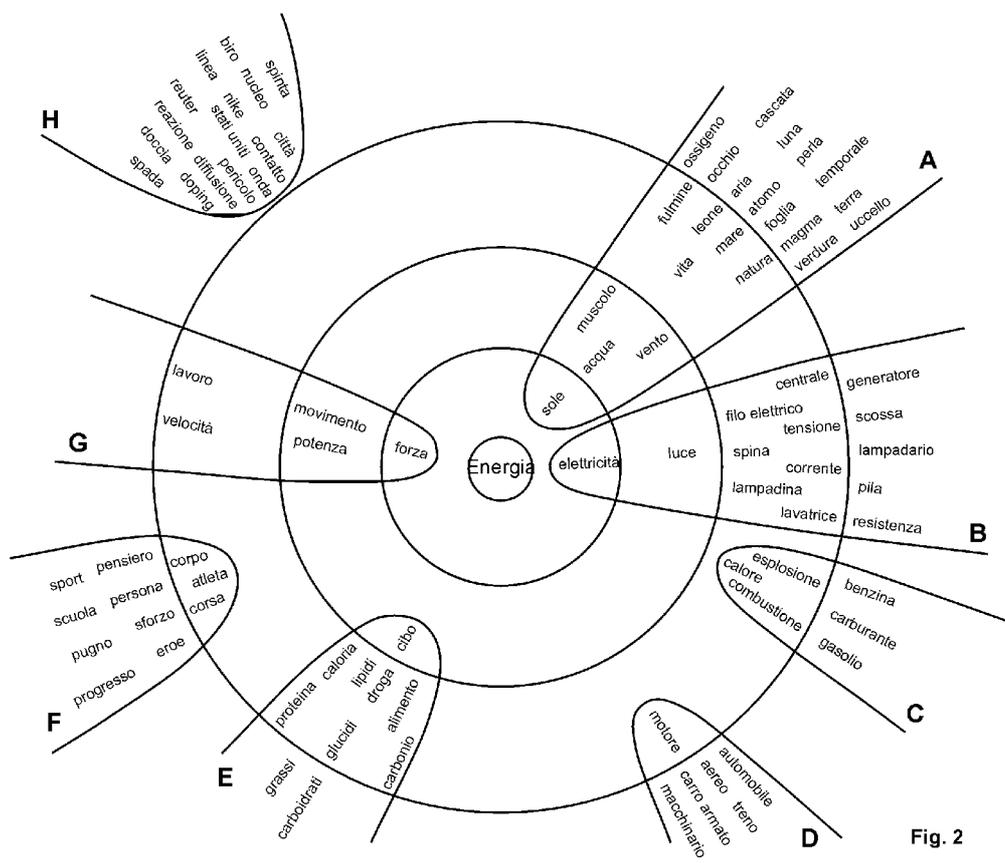


Fig. 2

Figura 2. Diagramma di isofrequenza (classe seconda) A: oggetti e fenomeni naturali; B: oggetti e fenomeni elettrici; C: oggetti e fenomeni termici; D: oggetti e fenomeni meccanici; E: oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione; F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfiche; G: senso comune; H: altro

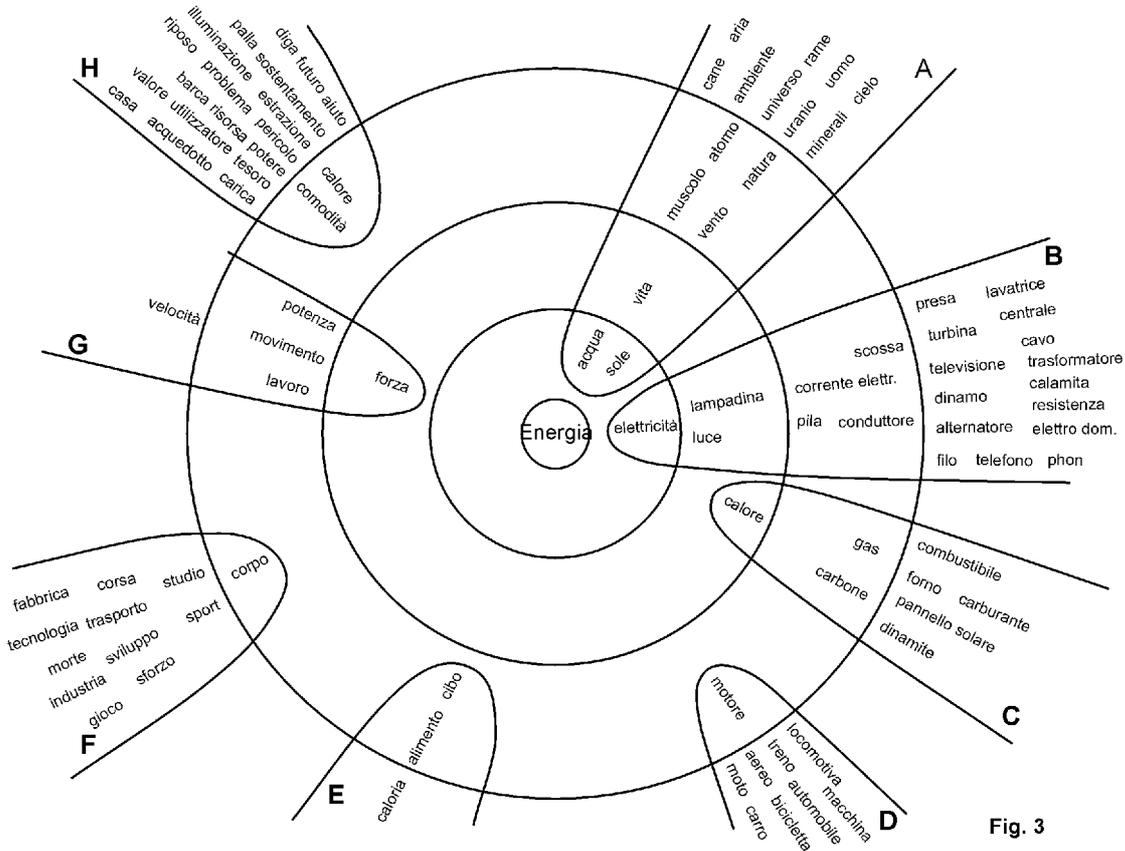


Fig. 3

Figura 3. Diagramma di isofrequenza (classe seconda) A: oggetti e fenomeni naturali; B: oggetti e fenomeni elettrici; C: oggetti e fenomeni termici; D: oggetti e fenomeni meccanici; E: oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione; F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfiche; G: senso comune; H: altro

conda e terza) sono disegnate quattro circonferenze concentriche, la più interna delle quali contiene il vocabolo stimolo **energia**, mentre le altre tre rappresentano i filtri. La porzione di piano compresa tra due circonferenze consecutive rappresenta un **livello di lettura** ed indica quale significatività abbiano per gli allievi, in termini di energia, i vocaboli in essa compresi. Quanto più un sostantivo è collocato in prossimità del cerchio centrale, tanto più esso è in relazione, per gli allievi, con il concetto di energia. Il problema che si pone a questo punto è il seguente: come raggruppare i vocaboli in classi? Quale criterio adottare? Tenendo presente che l'associazione di parole è una tecnica che dovrebbe permettere di mettere in evidenza quali sono i concetti che ogni soggetto collega in modo più immediato e spontaneo con il concetto "stimolo", abbiamo adottato un criterio semplice che consente di evidenziare a quale tipo di oggetti e fenomeni gli allievi associano l'idea di energia.

Abbiamo quindi raggruppati i vocaboli associati in queste otto categorie:

- A : oggetti e fenomeni naturali;
- B : oggetti e fenomeni elettrici;
- C : oggetti e fenomeni termici;

- D : oggetti e fenomeni meccanici;
- E : oggetti e fenomeni relativi all'alimentazione;
- F: oggetti e fenomeni con caratteristiche antropomorfe;
- G: senso comune;
- H: altro.

Alcuni sostantivi, indubbiamente, pongono dei problemi di interpretazione e quindi di collocazione all'interno di queste categorie. Per esempio, il sostantivo *luce* è stato attribuito alla categoria **B**, oggetti e fenomeni elettrici, perché, nel linguaggio quotidiano, viene usato come sinonimo di corrente elettrica in espressioni quali "attacca la luce". Parimenti, i sostantivi *petrolio* e *metano* sono stati collocati nella categoria **C**, ma si potrebbero anche collocare nella categoria **A**; in quest'ultimo caso, si tratta di sostantivi che ricadono nel terzo e quarto sottoinsieme e quindi scarsamente significativi. Questi sono problemi che si incontrano ogni volta che si tenta di interpretare il pensiero scritto di un altro soggetto e che potrebbero essere risolti soltanto con interviste individuali.

Per tutti i livelli di scolarità, le categorie A e B presentano i valori più elevati di effettivo e di frequenza percentuale, anche se i rapporti fra le due

categorie sono diversi. Per la classe prima, la categoria B (38,6%), comprendente oggetti e fenomeni relativi all'elettricità, prevale sulla categoria A (33%), comprendente oggetti e fenomeni naturali. Per la classe seconda, la categoria A (30,6%) prevale sulla categoria B (20,7%), mentre per la classe terza le due categorie si equivalgono (31,8% e 31,1% rispettivamente). La categoria G viene in terza posizione nelle classi seconda e terza ma non nella classe prima. Il fatto è comprensibile se si tiene conto che, con ogni probabilità, gli allievi delle classi seconda e terza hanno già affrontato l'argomento energia. Questo viene insegnato dopo che sono state introdotte, a livello puramente verbale, i concetti di forza e lavoro ed a partire da situazioni in cui entra in gioco il "movimento", la "potenza" e la "velocità" di svariati corpi. Si tratta dunque di una categoria in cui compaiono termini scientifici che però non hanno per gli allievi alcun significato di tipo scientifico. Invece, per la classe prima, la terza categoria in ordine di grandezza, è la categoria C, che comprende oggetti e fenomeni legati al calore.

Quasi tutte le categorie variano di significatività in modo discontinuo nel passaggio dalla classe prima alla classe terza. Con ogni probabilità, queste variazioni sono dovute ad interventi didattici più o meno recenti su argomenti che mettono in gioco il concetto di energia. Poiché le categorie A e B, quelle che prevalgono in tutte le classi, sono costituite da sostantivi che si riferiscono ad oggetti comuni, è lecito pensare che il concetto di energia sia di preferenza legato a idee che fanno parte del sapere comune, derivate da esperienze quotidiane, piuttosto che a concetti formali, veicolati dalle attività scolastiche di insegnamento/apprendimento delle scienze.

6.3 MAPPE TOPOLOGICHE

L'insieme dei dati è stato analizzato anche con un secondo approccio, basato sul confronto per livello di similitudine (tabelle 2, 3 e 4). Nelle tabelle 2 e 3 si mettono a confronto coppie di classi (prima - seconda, seconda - terza e terza - prima), mentre nella tabella 4 si effettua un confronto tra tre livelli di scolarità. Poiché si considerano solo i termini comuni alle due classi considerate, compaiono anche i termini con effettivo uguale a 1.

Tabella 2. Mappe topologiche: livelli di similitudine per coppie di classi

Prima - Seconda				Seconda - Terza				Terza - Prima						
I	%	%	II	II	%	%	III	III	%	%	I			
32	58	acqua	42	23	23	40	acqua	60	34	34	52	acqua	48	32
1	50	aria	50	1	1	33	aereo	67	2	1	50	aiuto	50	1
2	67	benzina	33	1	2	40	alimento	60	3	1	50	aria	50	1
3	33	calore	67	6	1	50	aria	50	1	15	83	calore	17	3
3	50	centrale	50	3	1	25	atomo	75	3	1	50	casa	50	1
1	7	cibo	93	14	1	25	automobile	75	3	1	25	centrale	75	3
1	25	corpo	75	3	6	29	calore	71	15	6	86	cibo	14	1
1	14	corsa	86	6	4	80	caloria	20	1	4	80	colore	20	1
32	55	elettricità	45	26	1	50	carburante	50	1	3	75	corpo	25	1
1	33	filo elettrico	67	2	3	75	centrale	25	1	8	50	corrente elet.	50	8
10	23	forza	77	34	14	70	cibo	30	6	1	50	corsa	50	1
1	25	fulmine	75	3	4	80	combustibile	20	1	38	54	elettricità	46	32
1	50	generatore	50	1	3	50	corpo	50	3	22	69	forza	31	10
23	82	lampadina	18	5	6	86	corsa	14	1	3	33	gas	67	6
23	59	luce	41	16	26	41	elettricità	59	38	1	50	gioco	50	1
1	33	mare	67	2	34	61	forza	39	22	15	39	lampadina	61	23
2	29	motore	71	5	5	25	lampadina	75	15	31	57	luce	43	23
18	72	muscolo	28	7	3	75	lavatrice	25	1	2	29	macchina	71	5
4	80	pila	20	1	2	40	lavoro	60	3	8	80	motore	20	2
6	38	potenza	63	10	16	34	luce	66	31	4	18	muscolo	82	18
1	50	resistenza	50	1	5	38	motore	62	8	2	40	pannello sol.	60	3
31	48	sole	52	33	7	37	movimento	63	12	9	69	pila	31	4
1	25	spina	75	3	7	64	muscolo	36	4	12	67	potenza	33	6
3	75	terra	25	1	2	40	natura	60	3	2	50	presa	50	2
3	60	velocità	40	2	1	33	pericolo	67	2	1	50	resistenza	50	1
18	60	vento	40	12	1	10	pila	90	9	50	62	sole	38	31
					10	45	potenza	55	12	1	17	telefono	83	5
					1	50	resistenza	50	1	1	14	televisore	86	6
					1	25	scossa	75	3	2	50	uomo	50	2
					1	33	sforzo	67	2	2	40	velocità	60	3
					33	40	sole	60	50	4	18	vento	82	18
					1	50	sport	50	1					
					1	33	treno	67	2					
					2	50	velocità	50	2					
					12	75	vento	25	4					
					2	8	vita	92	22					

6.3.1 Confronto dei livelli di similitudine per coppie di classi

Nella tabella 2 sono riportati i 26 vo-

cupa quella estremoità. Si consideri, ad esempio, il vocabolo "pila" le cui percentuali nel confronto tra le classi Terza e Prima valgono, rispettivamente

se Terza (69%). E' evidente che i sostantivi che si collocano in prossimità del centro del segmento hanno la stessa significatività per le classi che

Prima - Seconda				Seconda - Terza				Terza - Prima				
I	%		II	II	%		III	III	%		I	
21	48	sole	A	32	35		2	40	paralleli sol	C	60	3
1	33	aria	A	55	1		2	40	velocità	G	60	3
3	39	corrente	B	55	3		1	50	vento	H	50	1
1	30	generatore	B	30	1		1	50	aria	A	50	1
1	33	resistenza	B	55	1		1	50	gas	H	50	1
32	35	elettricità	B	48	26		6	50	corrente sol	B	50	6
30	38	acqua	A	42	20		1	50	corrente	F	50	1
22	38	luce	B	41	18		1	50	gioco	F	50	1
2	60	velocità	G	40	2		2	50	pioggia	E	50	2
18	60	vento	A	40	12		1	50	resistenza	B	50	1
							2	50	luce	A	50	2
							1	50	acqua	A	48	32
							38	54	elettricità	B	48	32
							31	57	luce	B	43	33

CATEGORIE	n° elem	tot. eff.
A	4	101
B	5	107
C	0	0
D	0	0
E	0	0
F	0	0
G	1	5
H	0	0

CATEGORIE	n° elem	tot. eff.
A	4	147
B	2	68
C	1	2
D	0	0
E	1	5
F	2	8
G	3	31
H	0	0

CATEGORIE	n° elem	tot. eff.
A	3	72
B	5	148
C	1	5
D	0	0
E	0	0
F	2	4
G	1	5
H	2	4

Tabella 3. Mappe topologiche: livelli di similitudine per coppie di classi (sostantivi con percentuali comprese tra 40% e 60%)

caboli comuni alle classi Prima - Seconda, i 36 vocaboli comuni alle classi Seconda - Terza e i 31 vocaboli comuni alle classi Terza - Prima. A ciascun vocabolo sono associati, per ogni classe, i corrispondenti effettivi ed i relativi valori percentuali calcolati sulla somma degli effettivi. Così, per le classi Prima - Seconda, l'effettivo totale del sostantivo **acqua** vale 55 (32 per la classe prima e 23 per la classe seconda). L'effettivo 32 della classe prima costituisce il 58% dell'effettivo totale, mentre l'effettivo 23 della classe seconda rappresenta il 42% dell'effettivo totale. In questo modo si ricavano i valori che figurano nella tabella. Per ogni coppia di livelli di scolarità, si possono riportare i valori percentuali su di un segmento la cui lunghezza è posta uguale a cento unità (figure 4, 5 e 6).

Alle due estremità si pongono le due classi, mentre lungo il segmento si dispongono i vocaboli comuni in modo che la loro posizione sia determinata dalle percentuali calcolate nel modo che è stato appena descritto. La somma delle distanze geometriche di un vocabolo dalle due estremità del segmento è ovviamente uguale a cento. Quanto più un vocabolo è lontano da una delle due estremità, tanto minore

è il suo significato concettuale in termini di energia per la classe che oc-

cupano gli estremi. Nella tabella 3 sono riportati, per ciascuna delle tre coppie di classi, i sostantivi la cui percentuale è compre-

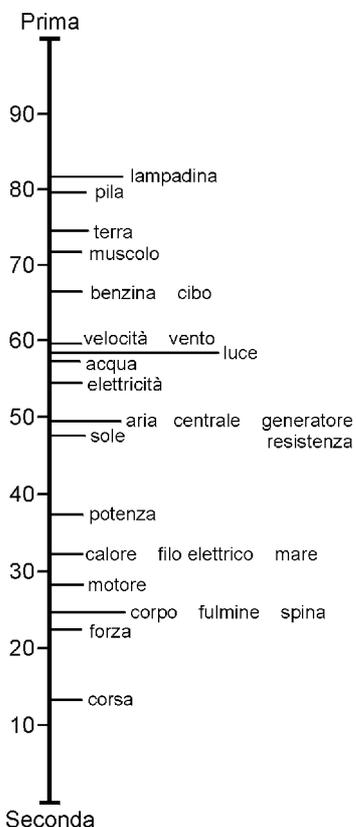


Figura 4. Rappresentazione lineare dei livelli di similitudine (classi prima e seconda)

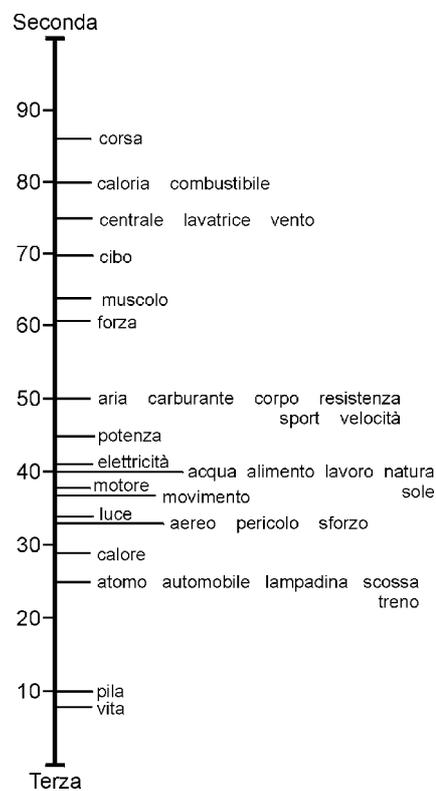


Figura 5. Rappresentazione lineare dei livelli di similitudine (classi seconda e terza)

sa tra il 40% ed il 60%. Si è preferito riportare i vocaboli compresi tra questi valori percentuali per includere anche quelli con effettivo maggiore di uno. Infatti, se si prendessero in considerazione solamente i sostantivi la cui percentuale è uguale a 50 (e quindi esattamente equidistanti dalle estremità dei segmenti), troverebbero posto solo quelli con effettivo molto piccolo e quindi poco significativo. Considerando, invece, un intervallo di ampiezza percentuale 50 ± 10 , si trovano anche sostantivi con effettivo molto maggiore di uno.

Nella stessa tabella sono indicate, accanto ai sostantivi, le categorie di appartenenza e, nella parte bassa, il numero di vocaboli e il totale dei corrispondenti effettivi per ogni categoria. Come si può notare, le categorie A e B contengono sempre il maggior numero di vocaboli ed i loro effettivi sono sempre i più elevati. In base a

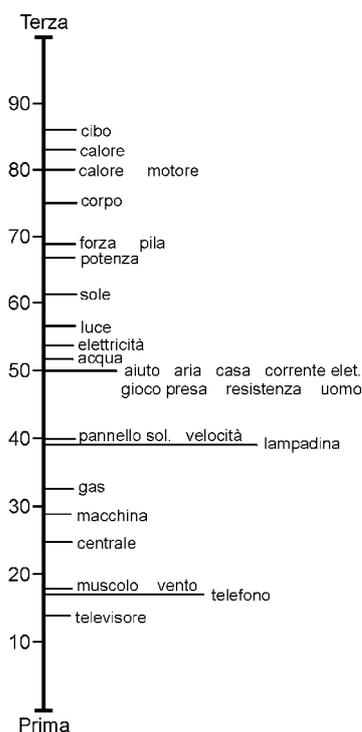


Figura 6. Rappresentazione lineare dei livelli di similitudine (classi terza e prima)

questi risultati, si può concludere che oggetti e fenomeni naturali ed elettrici, trovandosi in posizione di equidistanza tra ciascuna coppia di classi, sono le due categorie maggiormente significative, in termini di energia, per gli allievi dei tre livelli di scolarità.

7 - CONCLUSIONE

Mediante la tecnica di associazione di parole, si è messo in evidenza che gli allievi associano di preferenza al termine "stimolo" energia, sostantivi aventi una qualche relazione con oggetti e fenomeni elettrici e naturali: elettricità, lampadina, corrente elettrica, televisore, pila, batteria, sole, acqua, vento, ecc. Per gli allievi delle classi seconda e terza, si trovano in terza posizione sostantivi (movimento, forza, lavoro, potenza ecc.) che vengono utilizzati per l'insegnamento tradizionale del concetto di energia come "qualcosa che compie lavoro". Gli allievi della classe prima collocano invece in terza posizione sostantivi appartenenti alla categoria oggetti e fenomeni termici: stufa, gas, termosifone, calore, ecc..

Per quanto riguarda le prime due categorie, i nostri risultati sono in accordo con quelli ottenuti in altri Paesi, quali Israele e Gran Bretagna. Dal punto di vista del tenore di vita e degli oggetti "energetici" che lo caratterizzano, il contesto sociale dell'Italia e degli altri due Paesi è simile e questo può spiegare il fatto che le idee iniziali dei ragazzi sull'energia si assomiglino. Dal punto di vista dell'insegnamento, questi risultati suggeriscono di avviare la costruzione del concetto di "quel qualcosa chiamato energia" da sistemi in cui entri in gioco l'elettricità ed i cui elementi costitutivi abbiano a che vedere con l'elettricità (pila, batteria, lampadina, ecc.) o con corpi naturali (sole, acqua, vento, ecc.) che intervengono nella produzione di elettricità.

Ringraziamenti - Ringraziamo il prof. Paolo Mirone dell'Università di Modena ed i prof. Pier Giorgio Albertazzi ed Alberto Regis dell'ITIS "Q.Sella" di Biella che hanno accettato di leggere questo lavoro e che hanno contribuito alla sua redazione con osservazioni e critiche pertinenti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G.B. Schmid, *Physics Education*, 1982, 17, 212-218.
- [2] J. Warren, *Physics Education*, 1986, 21, 154-156.
- [3] J. Solomon, *Getting to know about energy in school and society*. Falmer Press, London, 1992.
- [4] R. Trumper, *International Journal of Science Education*, 1993, 15, 139-148.
- [5] Y. Elkana, *La scoperta della conservazione dell'energia*. G. Feltrinelli, Milano, 1977.
- [6] T. Young, *Lectures in Natural Philosophy, 1807*. In: Elkana, rif 5.
- [7] A. Lavoisier, Laplace P.-S., *Mémoire sur la chaleur, 1783*. Gauthiers - Villars, Parigi, 1920.
- [8] J.C. Maxwell, *Nature*, 1877. In: Elkana, rif 5.
- [9] G. Cantoni, *Rivista di filosofia scientifica*, 1881, 1, 3-14.
- [10] R.P. Feynman, *La fisica di Feynman*. Masson Italia, Milano, 1992.
- [11] J.-L. Trellu, J. Toussaint, *Aster*, 1986, n 2, 43-88.
- [12] K. Popper, *Logica della scoperta scientifica*. G. Einaudi, Torino, 1970.
- [13] J. Teichmann, *L'esperienza storico nell'insegnamento della fisica*. In: F. Bevilacqua, *Storia della fisica*. F. Angeli, Milano, pp. 31-60, 1983.
- [14] G. Bachelard, *Storia delle scienze e formazione dello spirito scientifico*. In: R. Canguilhem, *Introduzione alla storia delle scienze*. Jaka Book, Milano, pp. 317-319, 1973.
- [15] S. Moscovici, M. Newstone, *De la science au sens commun*. PUF, Paris, 1984.
- [16] J. Solomon, *European Journal of Science Education*, 1983, 5, 49-59.
- [17] J. P. Astolfi, *L'école pour apprendre*. ESF, Paris, 1992.
- [18] R. Duit, *Physics Education*, 1984, 19, 56-66.
- [19] R. Trumper, *International Journal of Science Education*, 1990, 12, 343-354.
- [20] J. Bliss, J. Ogborn, *European Journal of Science Education*, 1985, 7, 195-203.
- [21] G. Nicholls, J. Ogborn, *International Journal of Science Education*, 1993, 15, 73-81.
- [22] A. Sivade, M. Begel, D. Cros, G. Jourdan, *Res Academica*, 1993, 11, 73-88.