

L'ENERGIA

Dalla storia del concetto alla trasposizione didattica

Parte seconda:

Gli schemi mentali degli allievi

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

Riassunto

Questo articolo è la seconda parte di una ricerca sulle concezioni di allievi della scuola media inferiore a proposito dell'energia. Vengono qui riportati i risultati di due indagini: con la prima, si sono invitati gli allievi a precisare cosa intendano per energia; con la seconda, si è chiesto agli allievi di indicare in quale modo si manifesta l'energia in alcune situazioni particolari. I risultati consentono di mettere in evidenza gli schemi interpretativi più comuni e le sovrastrutture latenti (patterns) che sono i fondamenti delle idee che gli allievi manifestano a proposito dell'energia. Nella terza parte di questo lavoro sarà illustrata una sequenza didattica nella quale il concetto di energia viene introdotto con un approccio di tipo sistemico e modellistico.

Abstract

In the first part of this study some results were reported concerning the semantic field associated by pupils aged 11-14 to the term energy. The second part of the study, presented in this article, deals with the analysis of the pupils' conceptual frameworks about energy based mainly on their definitions of energy and on their description of different pictures concerning energy. In the third part of the work a teaching sequence will be illustrated based on a systemic

GIANNI CONDOLO (*)

EZIO ROLETTA (**)

and model approach to the concept of energy.

I - COSA È L'ENERGIA?

Come si è visto nella prima parte di questo lavoro, la tecnica dell'associazione di parole consente di mettere in evidenza i sistemi ed i fenomeni che allievi di scuole medie associano con maggior frequenza al termine stimolo energia. Con altri strumenti di indagine, è possibile risalire alle loro concezioni dell'energia, ossia agli schemi concettuali con i quali gli allievi danno senso e significato a questo concetto. In questo articolo vengono presentati e discussi i risultati ottenuti con due questionari aventi lo scopo di mettere in evidenza le idee degli allievi sulla natura dell'energia e su come essa si manifesta. A 95 allievi della classe prima, a 100 della classe seconda e a 107 della classe terza di scuole medie della Regione Piemonte, è stato chiesto di rispondere per iscritto alla domanda: Secondo te, cosa è l'energia? nel tempo massimo di cinque minuti. Come già si è sottolineato nella prima parte di questo lavoro, non si intende estrapolare i risultati ottenuti all'insieme degli allievi della scuola media italiana. Tuttavia siamo dell'avviso che la situazione riscontrata, lungi dall'essere unica ed irripetibile, sia abbastanza diffusa. Per tale motivo riteniamo che i risultati di questo lavoro possano interessare un certo numero di insegnanti di scienze che probabilmente si interrogano sull'efficacia del proprio intervento didattico.

1 - SCHEMI INTERPRETATIVI

Diversi autori hanno condotto studi

sulle concezioni di allievi di età differente a proposito dell'energia, ma è a Watts[1] che si deve la proposta di un complesso di sette schemi concettuali usati dagli allievi per dare senso e significato all'idea di energia. Gli schemi interpretativi proposti da Watts sono i seguenti:

1. *Antropocentrico*: l'energia è associata con esseri umani.
 2. *Deposito*: alcuni corpi possiedono energia e la consumano.
 3. *Componente*: l'energia è un componente latente di alcuni corpi e può essere liberata.
 4. *Attivo*: l'energia è una manifestazione esterna palese di una attività.
 5. *Prodotto*: l'energia è un sottoprodotto di una situazione.
 6. *Funzionale*: l'energia è vista come un tipo generico di combustibile associato con processi che rendono confortevole la vita.
 7. *Flusso o trasferimento*: l'energia è vista come un tipo di fluido trasferito nel corso di un processo.
- Trumper [2] ha proposto di suddividere lo schema 2 (Deposito) in due schemi: l'uno relativo all'idea di *energia latente*, nel quale entrano definizioni che rimandano ad una concezione dell'energia come qualcosa di *passivo* che certi corpi possiedono e possono liberare sia in modo spontaneo che in seguito ad intervento esterno; l'altro relativo all'idea di *energia attiva*, nel quale entrano definizioni che rimandano ad una concezione della energia come qualcosa che *fa avvenire le cose*. Tenendo presente le proposte di questi due ricercatori, gli schemi interpretativi che si possono identificare nelle definizioni di energia elaborate dagli allievi della nostra indagine sono i seguenti:

A - Antropocentrico: l'energia è associata con esseri umani.

B - Latente: l'energia è associata a corpi che possono liberarla.

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

(**) Dipartimento di Chimica Analitica,

via Pietro Giuria 5, 10125 Torino

-Gruppo di Didattica della Chimica Università di Torino

C-Attivo: l'energia è qualche cosa che fa funzionare le cose.

D-Prodotto: l'energia è un sottoprodotto di una situazione.

E-Funzionale: l'energia è vista come un tipo generico di combustibile associato con processi che rendono confortevole la vita.

F-Flusso o trasferimento: l'energia è vista come un tipo di fluido trasferito nel corso di un processo.

G-Definizione: energia come abitualmente definita nei manuali scolastici.

H-Altro.

Nello schema esplicativo **G**, chiamato **Definizione**, rientrano le frasi riferibili alle definizioni di energia abitualmente riportate nei manuali scolastici.

In base a questi risultati, si possono sviluppare tre considerazioni. In primo luogo, è da sottolineare che la somma delle percentuali delle categorie C ed A supera il 50%, per le classi prima e seconda, mentre sfiora tale valore per la classe terza: questo indica che gli allievi interpretano l'energia ricorrendo soprattutto a questi due schemi. In secondo luogo, risulta evidente che lo schema interpretativo C (*attivo*) è di gran lunga prevalente su quello A (*antropocentrico*), come ha constatato Trumper[2] nel caso di allievi israeliani. Infine, l'ultima considerazione riguarda le variazioni delle frequenze di ciascuna categoria nel passaggio dalle classi prime alle terze. Per com-

La combinazione delle due diverse tendenze dei coefficienti di regressione porta ad una progressiva perdita di significatività, in termini di energia, per le categorie C ed A e, per contro, un incremento per le categorie B, F, G ed H. Le categorie D ed E non sono influenzate dalla tendenza al livellamento perché, anche se i loro coefficienti di regressione sono negativi, i coefficienti di determinazione sono pressoché nulli: un coefficiente di determinazione prossimo allo zero indica che la variazione della variabile esplicata non è legata alla variazione della variabile esplicativa.

2-LIVELLI DI GENERALIZZAZIONI

Joan Solomon [3] afferma che è pos-

Tabella 1. Cosa è l'energia? Percentuali di risposte attribuite ai diversi schemi interpretativi per ogni livello di scolarità

	SCHEMI CONCETTUALI	CLASSI			Esempi	Coeff. di regress. X 10	Coeff. di determin.
		PRIMA	SECONDA	TERZA			
A	Antropocentrico	28,5	10,5	20,1	l'energia è associata agli esseri umani e ad altri viventi	-42	0,22
B	Latente	6,7	8,5	9,2	vi sono cose che possono fornire energia	12,5	0,94
C	Attivo	40,0	45,0	29,3	l'energia fa funzionare delle cose	-53,5	0,44
D	Prodotto	4,8	13,2	4,3	l'energia è il risultato di un processo di trasformazione	-2,5	0,00
E	Funzionale	10,3	3,2	9,8	l'energia rende confortevole la vita o permette di ricavare delle cose	-2,5	0,00
F	Flusso o trasferimento	1,2	1,1	3,3	l'energia ha le proprietà di un fluido (energia intesa come calorico)	10,5	0,72
G	Definizione	3,6	1,1	13,0	l'energia è definita con termini come: lavoro, velocità, massa, ...	47	0,56
H	Altro	4,8	17,5	10,9		30,5	0,23

Nella tabella 1 sono riportate le percentuali di risposte attribuite ai diversi schemi interpretativi per ogni livello di scolarità. Le percentuali sono calcolate sul numero complessivo di schemi individuati nelle risposte e non sul numero di allievi, in quanto in molte risposte si fa riferimento a più di uno schema.

* Si considera l'anno scolastico come variabile esplicativa e la frequenza come variabile esplicata.

Il coefficiente di determinazione è il quadrato del coefficiente di correlazione ed esprime la proporzione di varianza della variabile esplicata che viene "spiegata" dalla variabile esplicativa.

prendere il significato di queste variazioni si è determinato il coefficiente di regressione lineare* e di determinazione# per ciascuna categoria. Il coefficiente di regressione relativo alle categorie A e C è fortemente negativo (rispettivamente - 42 e - 53,5), è leggermente negativo per le categorie D ed E (- 2,5 per entrambe), mentre è positivo per le categorie B, F, G ed H (rispettivamente +12,5, +10,5, +30,5 e +47). Come è noto, il segno negativo del coefficiente di regressione indica una diminuzione della variabile esplicata (la frequenza) al crescere dei valori della variabile esplicativa, mentre il segno positivo rappresenta un suo aumento.

sibile ricavare informazioni interessanti sulla formazione del concetto di energia dall'analisi delle risposte fornite alla domanda "Cos'è l'energia?". Infatti essa sostiene che un concetto acquista valore cognitivo quanto più è decontestualizzato e quindi applicabile a situazioni diverse. Per classificare, da questo punto di vista, le risposte fornite dagli allievi, si sono adottati i quattro livelli di generalizzazione proposti da Solomon, tenendo presente che la generalizzazione più semplice coinvolge due processi: vi deve essere un *confronto* tra due diverse situazioni in cui entra in gioco l'energia e tale confronto deve mettere in evi-

denza una **caratteristica comune**.

Il livello zero è quello in cui l'allievo non riesce ad individuare le caratteristiche comuni a due o più situazioni. Vengono, quindi, assegnati al livello zero gli allievi che si limitano a fornire esempi di energia, come nella seguente frase:

per me energia significa quella che produciamo mediante le centrali idroelettriche e quella che ci arriva dal sole.

Il livello uno, che segna l'avvio del processo di generalizzazione, si riferisce ad una situazione leggermente più evoluta della precedente, alla quale vengono attribuite risposte del tipo: *è una forza che serve per riscaldare, illuminare, ecc....*

In questa frase varie situazioni sono accomunate, anche se in modo molto vago, mediante il termine *forza* che, come si è visto nella prima parte di questo lavoro, è per gli allievi un si-

gnificare in contesti non specifici che costituisce la caratteristica comune ed indica che l'allievo è in grado di generalizzare il significato del concetto *energia*.

Sulla base di questi livelli, si sono classificate le risposte degli allievi alla domanda "Secondo te, cos'è l'energia?" ed i risultati sono riportati nella tabella 2. Le variazioni delle percentuali, nel passaggio dalla classe prima alla terza, indicano che sale la percentuale di coloro che iniziano a generalizzare ma segnalano pure che diminuisce la percentuale di quanti sono in grado di generalizzare e che rimane praticamente costante la percentuale degli allievi che non sono in grado di effettuare alcuna generalizzazione.

3 - DISCUSSIONE

In base alla classificazione delle definizioni secondo il modello degli sche-

segnamento, nel corso del quale gli insegnanti hanno illustrato agli allievi situazioni specifiche in cui si manifesta un tipo "particolare" di energia: quella potenziale (un bacino idroelettrico), il cibo, tutti i "materiali energetici" quali petrolio, metano, gas, ecc....

In base ai risultati, si può affermare che gli allievi sanno individuare gli ambiti in cui si manifesta l'energia e come questa agisce, anche se ciò avviene unicamente in riferimento a contesti molto ben definiti. Ad esempio, gli allievi sanno che l'energia fa funzionare le apparecchiature elettriche e meccaniche e che agevola la vita agli esseri umani. Per contro, sembra che l'insegnamento non fornisca alcun contributo allo sviluppo di schemi interpretativi che consentano di decontestualizzare gli svariati "eventi energetici" e di interpretarli con un unico modello. In base ai

Tabella 2. Percentuali di allievi per i vari livelli di generalizzazione del concetto di energia

	GENERALIZZAZIONI	PRIME	SECONDE	TERZE	Media percentuale	Variazione percentuale
1	<u>Nessuna</u> Generalizzazione	39,2	39,4	2,1	40,2	2,4
2	<u>Inizio</u> di una generalizzazione	18,9	25,8	29,8	24,8	14,6
3	<u>Generalizzazione</u>	37,8	30,3	26,3	31,5	-12,2
4	Altro	4,1	4,5	1,8	3,5	

gnonimo di energia.

Secondo Solomon, si può ritenere che il concetto sia in via di *decontestualizzazione* quando vi è un'idea generale di come opera l'energia, di cosa è in grado di fare, anche se all'interno del singolo contesto, come nella seguente frase:

l'energia è una elettricità che fa funzionare i macchinari.

In questa frase, il termine elettricità fissa un contesto preciso che limita la generalizzazione insita nel verbo *funzionare* usato per descrivere la caratteristica peculiare dell'energia.

Al terzo ed ultimo livello appartengono le vere e proprie generalizzazioni come nei seguenti esempi:

l'energia è una forza che fa muovere praticamente tutto il mondo, oggetti e anche persone;

l'energia è una forza che permette di azionare varie cose e produrne altre.

Il sostantivo *forza* è solo un sinonimo e non contribuisce alla generalizzazione. E' l'uso dei verbi *muovere* e

mi interpretativi, è possibile affermare che per gli allievi l'energia è qualcosa **che fa funzionare le cose** (in modo particolare gli elettrodomestici), **che mantiene in vita gli esseri viventi** (con il cibo, con il calore, ecc.) e **che rende confortevole la vita** (con le automobili, con i termosifoni, ecc.). Per le classi seconde, a differenza delle altre due, si aggiunge l'idea che l'energia sia il frutto di una trasformazione, mentre nelle classi terze compaiono le definizioni scientifiche (energia cinetica e potenziale, il lavoro, la velocità e la massa), argomenti trattati, di norma, nel terzo volume dei manuali scolastici.

Passando dalla classe prima alla terza, diventa meno frequente lo schema interpretativo dell'energia come *qualcosa che fa funzionare le cose* a favore di schemi interpretativi più limitati del tipo *qualcosa di latente nei corpi, in grado di liberarsi in opportune condizioni* o del tipo *definizioni scolastiche*. Questo andamento sembra una conseguenza dell'in-

risultati ottenuti, si può quindi affermare che l'approccio adottato nell'insegnamento attuale non permette, come recitano i programmi, di "far giungere gli allievi ad una sufficiente comprensione" del concetto di energia.

II - ENERGIA E SISTEMI

4-RAPPRESENTAZIONI ICONICHE

Per studiare le idee degli allievi sulle relazioni tra sistemi reali ed energia si è usato un questionario, sottoposto a 160 allievi della classe prima, a 164 allievi della classe seconda e a 158 allievi della classe terza di alcune scuole medie del Piemonte. Ad ogni allievo è stato consegnato un foglio sul quale erano raffigurati 15 sistemi scelti in modo da rappresentare situazioni comuni nelle quali entra in gioco l'energia. Nella figura 1 sono riportati, a titolo di esempio, due dei 15 disegni che figurano nel questionario:

1) un traliccio dell'alta tensione;

- 2) un cubetto di ghiaccio fondente;
- 3) un treno in corsa;
- 4) una catasta di legna;
- 5) un gatto dormiente;
- 6) il sole che splende;
- 7) un uomo che cammina;
- 8) una torta;
- 9) un oleodotto;
- 10) una lampadina accesa;
- 11) un vaso di fiori;
- 12) un bidone di benzina;
- 13) un televisore acceso;
- 14) una pila;
- 15) un fulmine.

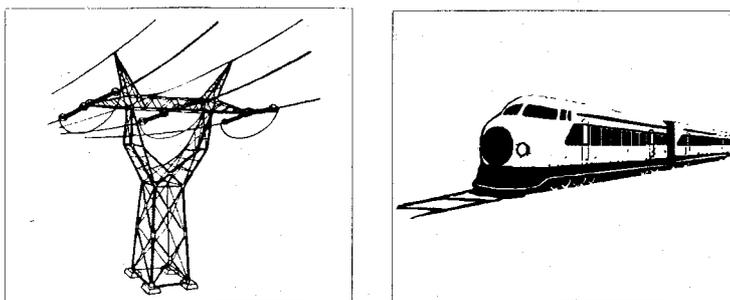


Figura 1. Esempi di disegni che rappresentano due dei quindici sistemi proposti agli allievi

Ogni disegno è accompagnato da una serie di espressioni in cui sono indicati dieci possibili relazioni tra energia e sistema:

- 1) è energia;
- 2) possiede energia;
- 3) è un deposito di energia;
- 4) consuma energia propria;
- 5) consuma l'energia che gli viene fornita;
- 6) produce energia;
- 7) trasporta energia;
- 8) è una sorgente di energia;
- 9) trasforma l'energia;
- 10) cede energia;
- 11) altre risposte.

Agli allievi è stato chiesto di associare, ad ogni disegno, una delle dieci espressioni oppure di scriverne una ritenuta adeguata e non compresa tra quelle previste dal questionario. In un primo tempo, si chiedeva agli allievi di giustificare la scelta dell'espressione associata ai disegni. E' però risultato evidente, nella fase di prova dello strumento di indagine, che i ragazzi non riuscivano ad argomentare le loro scelte e quindi questa opzione è stata abbandonata nella versione definitiva.

I sistemi rappresentati nelle 15 figure possono essere suddivisi in sei categorie: Fenomeni naturali, Esseri viventi, Cibi e Combustibili, Consumatori di energia, Trasportatori di energia e Contenitori di energia (vedi la tabella sottostante).

Le risposte fornite dagli allievi sono riassunte in tabelle a doppia entrata

Tabella 3.

Rappresentazioni iconiche - Percentuali di allievi, della stessa classe Prima, che indicano i modi di manifestarsi dell'energia nei 15 sistemi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Traliccio	3	3	0	0	0	5	84	2	2	2	0
2 Ghiaccio	3	9	1	30	11	8	1	18	3	14	3
3 Treno	0	8	1	8	74	3	3	2	1	1	0
4 Legna	6	9	9	5	3	14	3	41	1	6	4
5 Gatto	1	30	10	23	13	13	0	4	0	3	4
6 Sole	33	13	5	3	0	25	1	3	0	18	1
7 Uomo	1	17	1	64	11	1	0	1	1	3	1
8 Torta	11	24	5	1	2	14	2	17	2	19	4
9 Oleodotto	2	11	8	3	5	4	55	6	1	1	3
10 Lampadina	5	14	2	13	43	10	1	1	6	4	1
11 Fiori	4	14	2	18	34	9	0	2	7	6	5
12 Benzina	19	16	22	5	2	11	3	15	0	4	3
13 Televisore	3	14	3	13	57	3	1	0	6	1	1
14 Pila	13	29	15	10	2	8	1	6	1	13	2
15 Fulmine	44	27	3	2	1	9	3	7	1	4	1

di cui viene fornito un esempio (tabella 3, relativa alla classe prima). Le tabelle, suddivise in colonne e righe, formano delle celle accanto alle quali figurano, in senso verticale i nomi dei 15 sistemi (alcuni dei quali sono stati semplificati per motivi di spazio, come ad esempio Benzina invece di Bidone di benzina). In senso orizzon-

Categorie e Sistemi

Fenomeni naturali	Esseri viventi	Cibi e Combustibili	Consumatori di energia	Trasportatori di energia	Contenitori di energia
Sole Fulmine	Uomo Gatto Pianta di fiori	Legna Torta	Ghiaccio Treno Televisore acceso Lampadina accesa	Traliccio Oleodotto	Pila Bidone di benzina

tale sono riportate le dieci relazioni tra sistema ed energia. Nelle celle figurano le percentuali degli effettivi delle risposte date dagli allievi ad ogni coppia "sistema - modo in cui si manifesta l'energia". L'ultima colonna contiene risposte casuali od errate e, per questa ragione, non verrà considerata nell'analisi.

5. ANALISI MULTIVARIATA

L'analisi multivariata può essere definita come l'applicazione di tecniche statistiche che permettono di trattare un insieme elevato di misure - cioè di variabili - relative ad ogni oggetto o elemento di uno o più campioni; quindi l'analisi multivariata prende in considerazione le relazioni simultanee esistenti tra più variabili. In altre parole, le tecniche multivariate permettono di analizzare le covarianze o correlazioni che riflettono l'entità della relazione fra tre o più variabili. Nel nostro caso, mediante l'applicazione di queste tecniche si mira, da una parte, a capire come gli allievi riconoscono i sistemi in termini di energia e, dall'altra, a mettere in evidenza le concezioni che essi hanno dell'energia. Tra i metodi multivariati a disposizione, ne sono stati usati tre: l'analisi fattoriale, il metodo delle differenze percentuali e il metodo di graduazione multimedimensionale[4]. Ciascuno dei tre metodi di analisi ha fornito informazioni che completano quelle fornite dagli altri due. L'analisi dei fattori ha messo in evidenza che gli allievi individuano tre gruppi di sistemi, mentre gli altri due metodi hanno evidenziato le distinzioni che gli allievi operano tra i sistemi che costituiscono un certo gruppo.

5.1 Analisi fattoriale

L'analisi fattoriale permette di studiare le interrelazioni tra le variabili al fine di trovare un nuovo insieme di variabili, in numero ridotto rispetto a quelle originali, che esprimono ciò che vi è di comune tra queste ultime. In altri termini si può affermare che con l'analisi fattoriale si tenta di spiegare le relazioni complesse e diverse che esistono tra un gruppo di variabili osservate (i 15 sistemi), mettendo in luce dimensioni o fattori comuni non osservabili, detti anche dimensioni latenti (patterns), che legano tali variabili e che, di conseguenza, permettono di scoprire la struttura nascosta dei dati. Partendo da una matrice di dati, ovvero di varianze-

covarianze, si ricercano le cosiddette "componenti principali". Queste rappresentano le combinazioni lineari delle variabili, tra loro indipendenti, la cui varianza eguaglia quella osservata. La componente che estrae la massima variabilità della matrice di dati si chiama "componente principale". La seconda, non correlata con la prima, è quella che estrae la massima variabilità residua. E' così le altre, fino all'ultima estraibile. Il numero delle componenti estraibili è detto "dimensionalità della matrice". Per semplificare, si immagini un sistema di assi (dimensioni), passanti per la stessa origine, la cui lunghezza è proporzionale alla varianza mentre i coseni degli angoli tra i vari assi sono dati dai coefficienti di correlazione. Se due variabili hanno parte della varianza in comune, cioè sono molto correlate tra loro, l'angolo descritto dai loro assi è così piccolo che la distanza tra due elementi qualsiasi, rispetto alle due variabili, è quasi uguale alla distanza su uno solo dei due assi. L'asse così individuato rappresenta una dimensione latente e le due variabili, ossia i due sistemi nel nostro caso, si riferiscono ad un'unica rappresentazione o concezione energetica. Queste operazioni hanno prodotto tre grafici, ognuno dei qua-

menti sono posizionati nel piano (da sinistra verso destra e dal basso verso l'alto) equivale a spiegare le intercorrelazioni tra gli elementi stessi. I risultati di questo tipo di analisi sono riportati nelle figure 2, 3 e 4 che, come si può notare, risultano assai simili tra loro. In esse sono rappresentati tre grafici bidimensionali ottenuti con l'impiego dei primi due fattori, vale a dire quelli che spiegano la più alta percentuale cumulata, circa il 59%, della varianza. Questo valore percentuale, pur non essendo molto elevato, separa i sistemi e, formando tre gruppi, li dispone nei vari quadranti:

I, IV quadrante. 1° gruppo: Uomo, Gatto, Fiori, Ghiaccio, Treno, Televisore e Lampadina;

II quadrante. 2° gruppo: Pila, Benzina, Legna, Torta, Sole e Fulmine;

III quadrante. 3° gruppo: Traliccio e Oleodotto.

I sistemi del 2° e 3° gruppo sono ben raggruppati ed inseriti interamente nei rispettivi quadranti, mentre i sistemi del 1° gruppo, per le classi seconda e terza, sono leggermente dispersi e disposti tra il primo ed il quarto quadrante. Nonostante le figure abbiano un aspetto asimmetrico rispetto all'asse delle ordinate, è possibile riconoscere che la dimensione

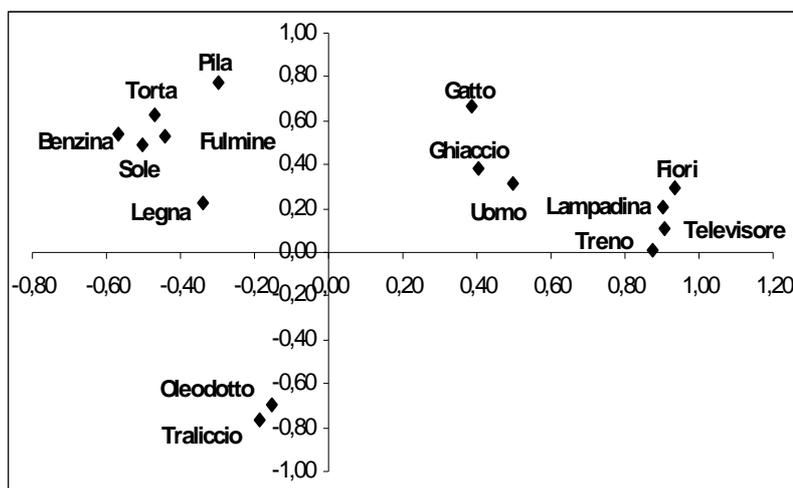


Figura 2. Analisi fattoriale dei dati relativi alla prima classe

li è composto da due assi cartesiani ortogonali e da punti che, distribuiti nel piano con un certo criterio, rappresentano gli elementi oggetto dell'analisi. Gli assi rappresentano i primi due fattori (le dimensioni principali), mentre le posizioni degli elementi nel piano sono determinate dai punteggi fattoriali che ciascun elemento assume sui due fattori. Comprendere il criterio con il quale gli ele-

orizzontale separa nettamente i sistemi del 2° e 3° gruppo da quelli del 1° gruppo, mentre la dimensione verticale distingue i sistemi del 3° gruppo da quelli del 1° e 2° gruppo. La formazione dei tre gruppi indica che, per gli allievi delle tre classi, i 15 sistemi appartengono a tre super-categorie: Consumatori di energia, Fonti di energia e Trasportatori di energia: 1) i sistemi del primo gruppo,

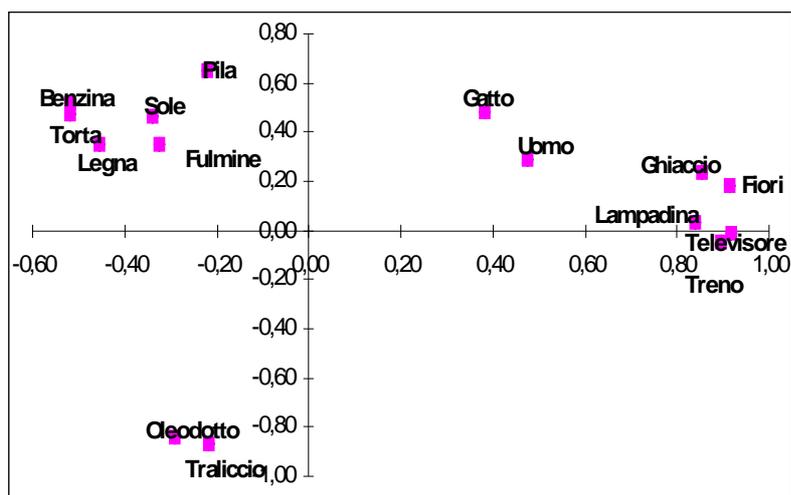


Figura 3. Analisi fattoriale dei dati relativi alla seconda classe

2) i sistemi del secondo gruppo, catalogati come “Fenomeni naturali”, “Cibi e Combustibili” e “Contenitori”, sono considerati *Fonti di energia*;

3) infine, i sistemi del terzo gruppo, che appartengono tutti alla stessa categoria, sono considerati *Trasportatori di energia*.

5.2 - Differenze percentuali

Il secondo metodo, quello delle differenze percentuali, consente di analizzare in modo più dettagliato le distanze che separano i sistemi appartenenti alla super-categoria “Fonti di energia” e di individuare una terza dimensione: quella che scompone le “Fonti” in *Contenitori di energia* e *Produttori di energia*. Le figure 5, 6 e 7 sono state ottenute ipotizzando che i 15 sistemi si possano raggruppare nelle seguenti 5 categorie: *Trasportatori di energia*, *Consumatori di energia*, *Contenitori di energia*, *Produttori di energia* e *Trasformatori di energia*.

I dati relativi a questi raggruppamenti sono riportati nella tabella 4. La formazione delle cinque categorie è stata possibile sommando opportunamente i valori percentuali che figurano in tabelle del tipo della tabella 3. La categoria dei “Contenitori” si ottiene sommando i valori delle colonne relative ai seguenti *modi con cui si manifesta l'energia*: “è energia”, “possiede energia” ed “è un deposito di energia” (colonne 1, 2 e 3). La categoria dei “Consumatori” si ottiene sommando i valori delle colonne relative a “consuma energia propria” e “consuma energia ricevuta” (colonne

Figura 4. Analisi fattoriale dei dati relativi alla terza classe

catalogati come “Esseri viventi” e “Sistemi che consumano energia”, sono considerati *Consumatori di energia*;

Tabella 4.
Rappresentazioni iconiche-Formazione delle categorie

		Classe Prima					Classe Seconda					Classe Terza				
		Contenitori	Consumatori	Produttori	Trasportatori	Trasformatori	Contenitori	Consumatori	Produttori	Trasportatori	Trasformatori	Contenitori	Consumatori	Produttori	Trasportatori	Trasformatori
1	Traliccio	6	0	9	84	2	9	4	12	74	1	4	0	4	92	1
2	Ghiaccio	14	41	39	1	3	13	48	29	0	8	16	49	23	1	9
3	Treno	9	82	6	3	1	13	81	1	2	2	6	89	2	1	0
4	Legna	25	8	61	3	1	31	4	60	2	1	35	3	58	2	7
5	Gatto	41	35	21	0	0	29	43	26	1	1	31	43	25	0	1
6	Sole	51	3	46	1	0	55	9	35	0	0	45	4	49	0	22
7	Uomo	19	75	4	0	1	15	77	7	0	1	13	78	4	1	1
8	Torta	39	3	51	2	2	37	1	57	1	1	37	1	58	1	17
9	Oleodotto	21	8	12	55	1	17	1	13	65	2	15	1	13	68	1
10	Lampadina	21	56	15	1	6	23	49	20	2	7	17	41	27	1	9
11	Fiori	20	52	16	0	7	21	46	20	0	12	16	43	14	1	2
12	Benzina	57	7	31	3	0	66	3	29	1	1	58	1	37	2	4
13	Televisore	19	70	3	1	6	13	72	9	1	4	9	82	4	0	3
14	Pila	57	12	28	1	1	68	13	18	0	1	63	8	23	1	6

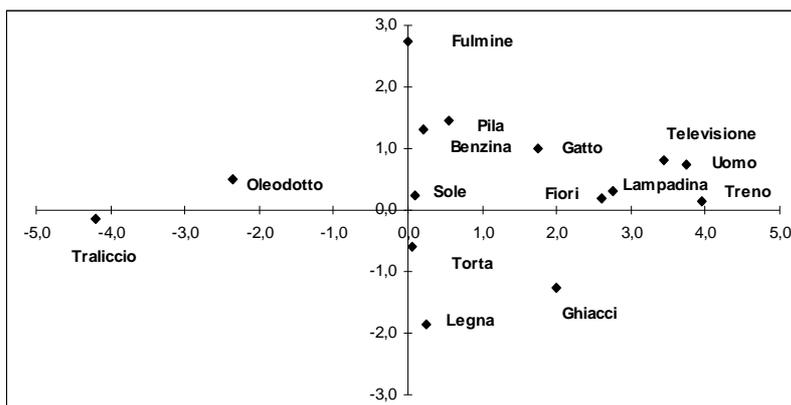


Figura 5. Differenze percentuali dei dati relativi alla classe prima

$$y_i = \frac{\text{Cont}_i - \text{Prod}_i}{20}$$

dove x_i e y_i sono le coordinate dell' i esimo sistema e Cont_i , Trasp_i , Cont_i e Prod_i sono le corrispondenti somme nelle quattro categorie. Questi valori sono riportati nelle colonne X e Y della tabella 5.

In questo modo sono state determinate le coordinate dei sistemi in un riferimento di assi ortogonali XY, dove l'asse delle X rappresenta il binomio *Trasportatori - Consumatori*, mentre l'asse delle Y rappresenta il binomio *Produttori - Contenitori*. Ciascuno dei due assi, quindi, divide il piano in due semipiani: l'asse delle Y separa i "Trasportatori" dai "Consumatori" e l'asse delle X separa i "Produttori" dai "Contenitori". Dato che gli allievi attribuiscono, anche se in varia misura, le caratteristiche delle 5 categorie a tutti i sistemi, le loro posizioni si devono interpretare nel senso di "vicinanza-lontananza" dagli assi. Ad esempio il sistema Traliccio, che si trova più a sinistra nel semipiano delle ascisse negative, è considerato un "Trasportatore" di energia, ma poiché si trova al di sotto dell'asse delle ascisse è considerato anche un po' "Produttore" di energia (terzo quadrante). L'Oleodotto è considerato un "Trasportatore" come il Traliccio, ma a differenza di quest'ultimo si trova sopra l'asse delle ascisse e quindi è considerato anche un po' "Contenitore". Questo metodo consente di evidenziare quella che discrimina gli elementi del 2° gruppo denominati come *Fonti*, distribuendoli appena a destra dell'asse delle ordinate e su tutta la sua estensione. E' così possibile distinguere i sistemi che "Producono" da quelli che "Contengono energia": sono considerati "Produttori" la Legna e la Torta, mentre sono "Contenitori", in varia misura, il Sole, la Benzina, la Pila e il Fulmine. La Legna e il Fulmine hanno le caratteristiche sia dei "Contenitori" che dei "Produttori", ma mentre per la Legna prevale l'ultima caratteristica, il Fulmine è ritenuto essenzialmente un "Contenitore" di energia. I sistemi del 1° gruppo sono dei "Consumatori" (o "non Trasportatori") ed anche "Produttori-Consumatori" in varia misura. Un caso particolare è rappresentato dai sistemi Ghiaccio e Gatto: per gli allie-

Figura 6. Differenze percentuali dei dati relativi alla classe seconda

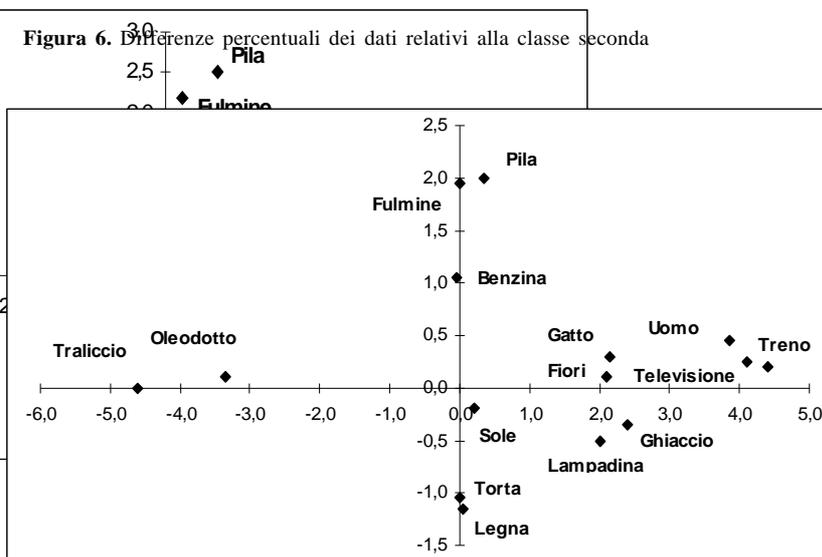


Figura 7. Differenze percentuali dei dati relativi alla classe terza

ne 4 e 5). La categoria dei "Produttori" è la somma dei valori delle colonne relative a "produce energia", "è una sorgente di energia" e "cede energia" (colonne 6, 8 e 10). Infine, la categoria dei "Trasformatori" è costituita dai valori della colonna "Trasforma energia" (colonna 7) che, a causa dei valori percentuali molto bassi, risulta poco significativa e per

questa ragione non è rappresentabile nel piano.

Le coordinate di ciascun sistema, ridotte di un fattore 20 per semplificare la rappresentazione grafica, sono state calcolate con le seguenti formule:

$$x_i = \frac{\text{Consi} - \text{Trasp}_i}{20}$$

Tabella 5. Calcolo delle coordinate dei 15 sistemi con il metodo delle differenze percentuali

Classe Prima		X	Y	Trasport.	Consum.	Produtt.	Contenit.	Trasform.	X - Trasp	X - Cons.	Y - Prod	Y - Cont.
1	Traliccio	-4,2	-0,2	84	0	9	6	2	4,2	0,0	0,5	0,3
2	Ghiaccio	2,0	-1,3	1	41	39	14	3	0,1	2,1	2,0	0,7
3	Treno	4,0	0,2	3	82	6	9	1	0,2	4,1	0,3	0,5
4	Legna	0,3	-1,9	3	8	61	24	1	0,2	0,4	3,1	1,2
5	Gatto	1,8	1,0	0	35	21	41	0	0,0	1,8	1,1	2,1
6	Sole	0,1	0,3	1	3	46	51	0	0,1	0,2	2,3	2,6
7	Uomo	3,8	0,8	0	75	4	19	1	0,0	3,8	0,2	1,0
8	Torta	0,1	-0,6	2	3	51	39	2	0,1	0,2	2,6	2,0
9	Oleodotto	-2,4	0,5	55	8	12	21	1	2,8	0,4	0,6	1,1
10	Lampadina	2,8	0,3	1	56	15	21	6	0,1	2,8	0,8	1,1
11	Fiori	2,6	0,2	0	52	16	20	7	0,0	2,6	0,8	1,0
12	Benzina	0,2	1,3	3	7	31	57	0	0,2	0,4	1,6	2,9
13	Televisore	3,5	0,8	1	70	3	19	6	0,1	3,5	0,2	1,0
14	Pila	0,6	1,5	1	12	28	57	1	0,1	0,6	1,4	2,9
15	Fulmine	0,0	2,8	3	3	19	74	1	0,2	0,2	1,0	3,7

Classe Seconda		X	Y	Trasport.	Consum.	Produtt.	Contenit.	Trasform.	X - Trasp	X - Cons.	Y - Prod	Y - Cont.
1	Traliccio	-3,5	-0,2	74	4	12	9	1	3,7	0,2	0,6	0,5
2	Ghiaccio	2,4	-0,8	0	48	29	13	8	0,0	2,4	1,5	0,7
3	Treno	4,0	0,6	2	81	1	13	2	0,1	4,1	0,1	0,7
4	Legna	0,1	-1,5	2	4	60	31	1	0,1	0,2	3,0	1,6
5	Gatto	2,1	0,2	1	43	26	29	1	0,1	2,2	1,3	1,5
6	Sole	0,5	1,0	0	9	35	55	0	0,0	0,5	1,8	2,8
7	Uomo	3,9	0,4	0	77	7	15	1	0,0	3,9	0,4	0,8
8	Torta	0,0	-1,0	1	1	57	37	1	0,1	0,1	2,9	1,9
9	Oleodotto	-3,2	0,2	65	1	13	17	2	3,3	0,1	0,7	0,9
10	Lampadina	2,4	0,2	2	49	20	23	7	0,1	2,5	1,0	1,2
11	Fiori	2,3	0,1	0	46	20	21	12	0,0	2,3	1,0	1,1
12	Benzina	0,1	1,9	1	3	29	66	1	0,1	0,2	1,5	3,3
13	Televisore	3,6	0,2	1	72	9	13	4	0,1	3,6	0,5	0,7
14	Pila	0,7	2,5	0	13	18	68	1	0,0	0,7	0,9	3,4
15	Fulmine	0,2	2,2	3	7	21	65	2	0,2	0,4	1,1	3,3

Classe Terza		X	Y	Trasport.	Consum.	Produtt.	Contenit.	Trasform.	X - Trasp	X - Cons.	Y - Prod	Y - Cont.
1	Traliccio	-4,6	0,0	92	0	4	4	1	4,6	0,0	0,2	0,2
2	Ghiaccio	2,4	-0,4	1	49	23	16	9	0,1	2,5	1,2	0,8
3	Treno	4,4	0,2	1	89	2	6	0	0,1	4,5	0,1	0,3
4	Legna	0,1	-1,2	2	3	58	35	7	0,1	0,2	2,9	1,8
5	Gatto	2,2	0,3	0	43	25	31	1	0,0	2,2	1,3	1,6
6	Sole	0,2	-0,2	0	4	49	45	22	0,0	0,2	2,5	2,3
7	Uomo	3,9	0,5	1	78	4	13	1	0,1	3,9	0,2	0,7
8	Torta	0,0	-1,1	1	1	58	37	17	0,1	0,1	2,9	1,9
9	Oleodotto	-3,4	0,1	68	1	13	15	1	3,4	0,1	0,7	0,8
10	Lampadina	2,0	-0,5	1	41	27	17	9	0,1	2,1	1,4	0,9
11	Fiori	2,1	0,1	1	43	14	16	2	0,1	2,2	0,7	0,8
12	Benzina	-0,1	1,1	2	1	37	58	4	0,1	0,1	1,9	2,9
13	Televisore	4,1	0,3	0	82	4	9	3	0,0	4,1	0,2	0,5
14	Pila	0,4	2,0	1	8	23	63	6	0,1	0,4	1,2	3,2
15	Fulmine	0,0	2,0	6	6	23	62	16	0,3	0,3	1,2	3,1

vi, essi sono essenzialmente dei “Non Trasportatori”, ma vi è molta incertezza se considerarli veri e propri “Consumatori” (41% e 35% delle scelte rispettivamente) o “Fonti” (il Ghiaccio ha il 39% come “Prodotto-re” ed il 14% come “Contenitore”, il Gatto per le stesse categorie raccoglie il 21% ed il 41% delle scelte).

relativa nello spazio rifletta il grado di prossimità percepita, ossia di somiglianza, tra gli oggetti. Come si può vedere, l’analisi multidimensionale permette di formare, anche se in modo diverso, gli stessi gruppi con 15 sistemi (figure 8, 9 e 10). I sistemi del 1° gruppo, Esseri viventi e Consumatori di energia, si trovano a sinistra dell’asse delle ordinate e sono sparsi tra

il secondo ed il terzo quadrante; i sistemi del 2° gruppo, Fenomeni naturali, Cibi e Combustibili e Contenitori di energia, sono abbastanza raccolti e situati subito a destra dell’asse delle ordinate; infine i sistemi del 3° gruppo, Trasportatori di energia, si trovano nel quarto quadrante. Questa tecnica consente di evidenziare una quarta dimensione. Infatti, i sistemi del 1° gruppo, individuati come *Consumatori* di energia, sono distribuiti tra il secondo e terzo quadrante. E’ così possibile distinguere i sistemi che “Consumano energia propria” da quelli che “Consumano l’energia che ricevono”. L’Uomo è un forte consumatore di energia propria, al contrario del Treno che è considerato essenzialmente un sistema che per funzionare consuma l’energia che gli viene fornita. Anche se in minor misura, la Televisione, la Lampadina e i Fiori consumano l’energia che viene loro fornita. Il Ghiaccio ed il Gatto sono, tra i sistemi del gruppo, quelli di fronte ai quali gli allievi si trovano più in difficoltà.

Figura 8. Analisi multidimensionale dei dati relativi alla classe prima

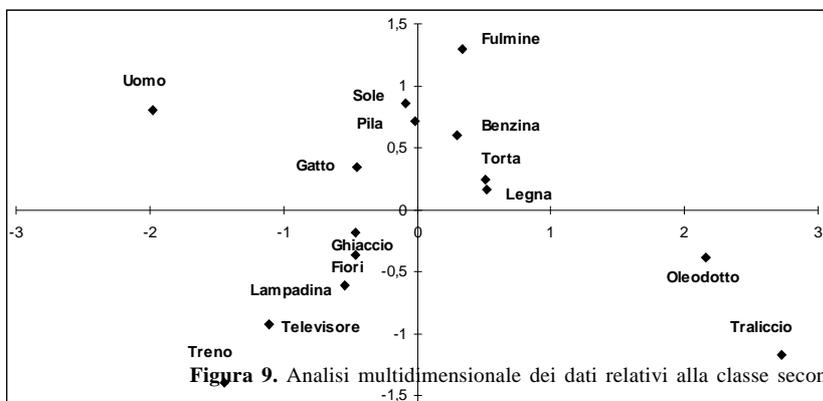


Figura 9. Analisi multidimensionale dei dati relativi alla classe seconda

5.3 Analisi multidimensionale

L’analisi multidimensionale è un’altra tecnica statistica che permette di scoprire le “strutture nascoste” di una serie di dati. In termini pratici si può dire che questa tecnica consente di rappresentare nello spazio le “prossimità” tra elementi di un insieme, come avviene in una mappa. Con il termine prossimità si indica qualunque insieme di numeri che esprima l’entità della somiglianza o della differenza tra coppie di oggetti. Quindi l’obiettivo primario dell’analisi multidimensionale è di collocare gli oggetti in uno spazio multidimensionale, in modo che la loro posizione

6 - CONCLUSIONI

I tre tipi di analisi hanno mostrato quali sono le sovrastrutture che sostengono le idee che gli allievi hanno dell’energia. Le strutture principali, comuni agli allievi dei tre livelli di scolarità, sono quelle che permettono di distinguere i sistemi in *Fonti*, in *Consumatori* e in *Trasportatori* di energia.

Le *Fonti* (o depositi) di energia non sono solo i sistemi dai quali si può ricavare energia, perché la possono cedere, ma anche i sistemi che sono visti come “é energia”, sistemi che la

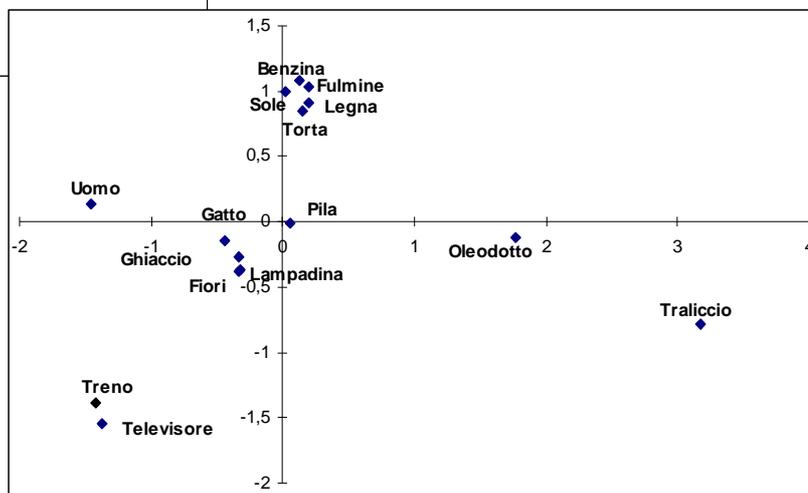


Figura 10. Analisi multidimensionale dei dati relativi alla classe terza

contengono ma che non la cedono, come ad esempio il Fulmine. Quindi, tra le *Fonti*, gli allievi includono i "Fenomeni naturali", i "Cibi e Combustibili" e i "Contentori".

Gli allievi di tutte le classi riconoscono che tra i *Consumatori* vi sono sistemi che "Consumano energia propria" e sistemi che "Consumano energia ricevuta". Tuttavia, gli allievi delle tre classi non sempre hanno le idee chiare a proposito della relazione tra "Esseri viventi" e "Sistemi che consumano". Ad esempio, il sistema "Uomo" è l'unico degli "Esseri viventi" ad essere sempre considerato un consumatore di energia propria. Il Gatto ed il Ghiaccio sono considerati in modo diverso dagli allievi delle tre classi, ma si ha l'impressione che gli allievi non riescano a decidere se considerarli "Consumatori di energia propria" o "Consumatori di energia ricevuta".

Gli allievi dei vari livelli di scolarità mostrano di sapere distinguere nettamente i sistemi che *trasportano* l'energia dagli altri sistemi. Per contro, le scelte relative alla categoria *Trasformatori* di energia sono poco frequenti, segno che alla maggior parte degli allievi manca questo schema interpretativo.

In conclusione, si può quindi afferma-

re che gli allievi, pur non avendo alcuna idea su come l'energia si trasforma, sono in grado di riconoscere alcuni dei componenti che costituiscono una catena di distribuzione dell'energia che si può riassumere nel seguente modello:

Fonte (o deposito)

-

Trasportatore

-

Consumatore

Questa indicazione è interessante in quanto in accordo con una delle conclusioni alle quali ha portato l'analisi delle definizioni di energia. Queste non sono spesso assegnabili ad un unico schema interpretativo, come già altri autori hanno fatto notare[5]. E' tuttavia significativo, anche alla luce delle analisi successive, che prevalga nelle definizioni lo schema interpretativo che associa l'energia con il funzionamento di oggetti che la consumano.

In base alle informazioni raccolte con questa indagine, è possibile individuare le situazioni sperimentali dalle quali partire per affrontare la costruzione del concetto di energia (i sistemi in cui entra in gioco l'elettricità).

Inoltre lo schema interpretativo iniziale al quale gli allievi ricorrono per "leggere" i sistemi ed interpretare i fenomeni dal punto di vista energetico, conferma che è possibile adottare un approccio sistemico e modellistico per favorire l'acquisizione iniziale del concetto di energia. Con opportune attività di modellizzazione di *sistemi energetici* svariati dovrebbe essere possibile introdurre e generalizzare il concetto di energia, sviluppando contemporaneamente i concetti di trasformazione e degradazione come proposto da alcuni ricercatori francesi. Tale aspetto del problema sarà affrontato nel terzo ed ultimo articolo di questa serie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D.Watts, *Physics Education*, 1983, 18, 213-217.
- [2] R.Trumper, *International Journal of Science Education*, 1993, 15, 139-148.
- [3] J.Solomon, *Getting to know about energy in school and society*. Falmer Press, London, 1992.
- [4] L.Fabbris, *Analisi esplorativa dei dati multidimensionali*, CLEUP, Padova, 1991
- [5] J.Bliss, J.Ogborn, *European Journal of Science Education*, 1985, 7, 195-203.



Segnalazioni

Tiziano Pera (a cura di): "Una provincia per l'educazione ambientale", Ecorete Documenti, Quaderno n.1 SCHOLE' FUTURO; vol di 240 pag.

Laura Iguera (a cura di): "Indagine sull'educazione ambientale in Piemonte", Ecorete Documenti, SCHOLE' FUTURO; vol di 733 pag.

Francesco Randazzo e Piero Stoppa "Moduli e Metodi di Scienza della Materia" Ed. Arnoldo Mondadori Scuola codice ISBN 88-247-0997-4 (*testo base*)

"Indicazioni didattiche e metodologiche per moduli di Scienza della Materia" codice ISBN 88-247-1007-7

88 "Percorsi di Scienza della Materia per il recupero di conoscenze e abilità" codice ISBN 88-247-0919-2

CnS - La Chimica nella Scuola

"Laboratorio di Scienza della Materia" codice ISBN 88-247-1019-0 (*Testi ausiliari e fondamentali*)



Da SCIENZE PIU'
- LA MATERIA E I FENOMENI di Luigi Leopardi e Mariateresa Gariboldi
GARZANTI SCUOLA 1998

Libro per la Scuola Media Inferiore a proposito degli **stati della materia e i cambiamenti di stato-atomi e molecole**, il prof. M. Antonio Floriano ci segnala una grave inesattezza presente nel testo. <<...Se potessi continuare la suddivisione, la minuscola molecola di acqua "sparirebbe" perché da liquida si trasformerebbe in due sostanze gassose: l'idrogeno (simbolo chimico H), gas leggerissimo che volerebbe rapidamente verso gli strati più alti dell'atmosfera, e

l'ossigeno (simbolo chimico O) che si disperderebbe nell'aria...>>. Gli autori proseguono con un secondo esempio riguardante l'alcol etilico dicendo che <<...Proseguendo la suddivisione delle molecole otterremmo un atomo di un elemento solido, il carbonio (lo stesso di cui sono fatti il diamante e la grafite) un atomo di un elemento gassoso, l'ossigeno, e 6 atomi di un elemento anch'esse gassoso, l'idrogeno....>>.

Ringrazio il prof. Floriano per la segnalazione alla redazione e tramite questa alla Divisione di Didattica. Tengo a precisare che da tempo ci si occupa di problemi riguardanti gli errori riscontrati nei libri di testo sia della scuola secondaria superiore che della scuola media inferiore.

Maggio - Giugno 1999