

La rappresentazione dei concetti fisici: energia e forza

Alberto Greco, Valeria Buscaglia

Disa - Laboratorio di Psicologia e Scienze Cognitive
Università di Genova

Technical Report 0601
Gennaio 2006

Riassunto

Questa ricerca studia i processi cognitivi implicati nell'apprendimento scolastico della fisica, adottando - quale modello di rappresentazione delle conoscenze - il concetto di *schema*. Lo scopo dell'indagine è di studiare le relazioni tra i concetti acquisiti e soprattutto di verificare in che modo le concezioni prescientifiche del senso comune vengano sostituite o integrate dalle concezioni scientifiche insegnate in classe.

Per comprendere il meccanismo di formazione degli schemi sono state percorse due strade: la prima (*bottom-up*) è partita dall'aspetto didattico, suggerito in particolare dalla sperimentazione in classe di un progetto di insegnamento della fisica nella scuola media (progetto ORA). Dall'analisi delle osservazioni fatte in classe sono stati formulati alcuni schemi primitivi relativi ai concetti fisici di energia e forza. Il secondo percorso (*top-down*), partendo da questionari somministrati a docenti e studenti universitari di fisica, ha costituito la base di confronto per gli schemi precedentemente ricavati.

I risultati dell'indagine hanno condotto a evidenziare una notevole difficoltà a modificare le concezioni già apprese, in special modo se quelle insegnate successivamente sono formulate in astratto. Le modificazioni più efficaci, quelle che sostituivano concezioni primitive, sono state suggerite dall'attività concreta: gli stessi esperti si rappresentano questi concetti sempre in modo concreto.

Abstract

This paper examines cognitive processes involved in physics learning, using the concept of *schema* as a knowledge representation model. Its purpose is to study the relations among acquired concepts and especially to analyse how prescientific common sense conceptions are replaced or integrated by scientific conceptions taught in classroom. In order to understand how schemata are constructed, two approaches were pursued: the first (*bottom-up*) started from the teaching aspect, by testing in classroom a physics teaching project in Italian middle school ("progetto ORA"). From classroom observations some primitive schemata were derived, concerning physics concepts of energy and force. In the second (*top-down*) approach, previously outlined schemata were revised considering answers to questions about relevant concepts given by physics teachers and students. Results show a considerable difficulty in modifying already learnt conceptions, in particular when following notions are abstract. The most effective modifications that replaced primitive conceptions were suggested by concrete activity and even experts always represented such concepts concretely.

1. Introduzione

A partire dagli anni Sessanta l'insoddisfazione per la qualità dei risultati di un insegnamento scientifico impostato sui principi comportamentistici ha portato allo studio, alla stesura, alla sperimentazione di progetti di insegnamento contenenti elementi estremamente innovativi sia sul piano curricolare che su quello metodologico. Infatti, il superamento delle teorie comportamentiste e del modello lineare stimolo-risposta nella definizione del processo di apprendimento ha spostato l'attenzione dal monomio insegnamento al binomio insegnamento-apprendimento.

Il contributo della psicologia cognitiva e delle ricerche didattiche ad essa collegate è consistito appunto nell'evidenziare come gran parte degli insuccessi in campo educativo siano dovuti proprio alla resistenza che la mente esercita contro ogni cambiamento non sentito come necessario e al condizionamento che le vecchie conoscenze esercitano sulle nuove acquisizioni, tanto da far percorrere nell'apprendimento strade e direzioni totalmente diverse da quelle che erano nelle intenzioni del docente e negli obiettivi dell'istituzione scolastica.

Il cognitivismo sfugge al rigido determinismo della connessione automatica tra stimoli e risposte, creando l'immagine di un individuo che non subisce la sollecitazione degli stimoli ambientali, bensì interagisce attivamente con il contesto. Per questa ragione oggi all'espressione "insegnamento scientifico" si preferisce *educazione scientifica*, per accentuare l'importanza dei processi costruttivi del soggetto in relazione all'apprendimento di specifici contenuti di conoscenza. Con tale espressione si intende quel complesso di attività volte alla costruzione di un sempre più ampio sistema di interazione cognitiva del soggetto con il mondo che lo circonda, nella direzione di una conoscenza e di un dominio dei fenomeni naturali a partire da quelli di cui egli ha esperienza quotidiana [1].

In questo quadro hanno trovato giusta collocazione le ricerche tese a riconoscere l'esistenza e a valutare il significato delle rappresentazioni mentali. E' necessario tuttavia rilevare come, nella gran parte dei casi, simili ricerche assumano valenza prevalentemente descrittiva, tendente a definire le

rappresentazioni mentali come conoscenze difformi dalle conoscenze scientifiche (conoscenze alternative), come ostacolo all'acquisizione di conoscenze più complesse (barriere cognitive), come preliminari alle conoscenze formalizzate dall'insegnamento scientifico (preconcezioni) o, infine, come caratterizzate da differente natura (conoscenze spontanee). La rilevanza di queste ricerche consiste nell'aver reso esplicita l'esistenza di spiegazioni spontanee del reale, precedenti all'incontro con le conoscenze scientifiche, sulle quali queste ultime vengono ad insistere, seguendo meccanismi di facilitazione, resistenza o di conflitto.

La nostra ricerca è volta a spiegare come vengano rappresentate le conoscenze scientifiche in un'ottica cognitiva; in particolare, abbiamo studiato le rappresentazioni implicate nell'apprendimento di alcuni concetti fisici. Non abbiamo tuttavia inteso compiere un'indagine puramente descrittiva, volta a definire le rappresentazioni mentali degli studenti come conoscenze più o meno difformi dalle conoscenze scientifiche e a enumerare queste differenti rappresentazioni, bensì ci siamo posti l'obiettivo di tentare di comprendere con quale meccanismo avvenga l'apprendimento di conoscenze in classe rispetto a quelle pregresse.

2. Metodo d'indagine

Per raggiungere gli obiettivi che ci siamo posti, ci è sembrato opportuno adottare due approcci complementari. Il primo, che abbiamo definito *bottom-up*, è consistito nel formulare ipotesi sulla rappresentazione di alcuni concetti fisici nei bambini che li apprendono per la prima volta; il secondo, definito *top-down*, invece ha cercato di ricostruire la rappresentazione degli stessi concetti da parte di esperti della materia in questione, la fisica. La prima parte della nostra analisi è stata svolta in due classi di scuola media; nella seconda parte i soggetti presi in esame sono stati studenti e docenti universitari di fisica.

Per confrontare queste due rappresentazioni dei concetti fisici, avevamo bisogno di un modello comune di rappresentazione delle conoscenze. Il modello a nostro parere più adatto a mettere in evidenza il ruolo che il rapporto tra le nuove informazioni e il contesto preesistente ha nell'apprendimento, è lo *schema*¹.

I due autori principali che hanno usato il termine "schema" in psicologia sono stati Piaget e Neisser. Piaget ha introdotto gli schemi all'interno della sua nota concezione dello sviluppo dell'intelligenza, che tipicamente pone l'interiorizzazione delle azioni alla base della rappresentazione [13], e in questo modo ha un po' limitato la portata del concetto. Neisser [12] ha inteso gli schemi come strutture attive che consentono di organizzare le informazioni, avvicinandosi così maggiormente alla prospettiva in cui il concetto è stato riproposto nell'ambito dell'intelligenza artificiale e della scienza cognitiva [15, 11, 14], che è il senso in cui il concetto viene qui usato.

Gli schemi sono strutture che comprendono una parte fissa ed una variabile; la parte fissa indica quali informazioni siano attese in generale in un certo contesto, mentre la parte variabile codifica le effettive, specifiche occorrenze. Questo modello tiene conto delle aspettative di un individuo rispetto all'oggetto del conoscere e permette di osservare l'importanza delle concezioni primitive per l'insegnamento.

E' fondamentale osservare che l'apprendimento di concetti scientifici non avviene "nel vuoto", ma si basa su conoscenze pre-scientifiche acquisite in età prescolare. In particolare, a partire da esperienze comuni con gli oggetti fisici e dall'uso comune di parole che coincidono con quelle della fisica (si pensi a forza, energia, ecc.), sono state già originate rappresentazioni (schemi) adeguate alle esigenze di comprensione di quella età, anche se possono apparire non adeguate dal punto di vista delle teorie scientifiche accreditate che si apprendono a scuola.

Questo fatto potrebbe essere motivo di difficoltà nell'apprendimento, perché se le nozioni teoriche proposte a scuola sono in contrasto con gli schemi preesistenti, o se alunno e insegnante fanno uso di schemi differenti, le nuove conoscenze potrebbero non essere comprese e quindi non ricordate.

Gli schemi riguardanti concetti scientifici possono essere modificati, in virtù dell'apprendimento, nella parte fissa, nel caso in cui la vecchia struttura non sia più sufficiente a spiegare le nuove conoscenze, o sia addirittura erronea nella sua formulazione, o nella parte variabile nel caso fosse stata riempita in maniera sbagliata. Piaget aveva già teorizzato questi meccanismi parlando di assimilazione e di accomodamento.

Questi cambiamenti non sono facili e le basi per il cambiamento possono essere gettate solo attraverso una modalità di apprendimento in larga parte basata sull'esperienza concreta. La necessità di concretezza nell'apprendimento è stata teorizzata dal costruttivismo [6, 18], secondo cui la conoscenza non è passivamente recepita attraverso i sensi o da altre forme di comunicazione, ma è attivamente costruita dallo studente.

Il confronto tra gli schemi costruiti seguendo i due approcci, l'uno *bottom-up* e l'altro *top-down*, consente di verificare quali punti degli schemi che i ragazzi apprendono non sono efficaci, nel tentativo di

¹ L'ispirazione filosofica del concetto di schema risale almeno a Kant, che concepiva gli schemi come strutture intermedie tra i dati sensoriali e le categorie concettuali. Il concetto è stato poi usato da molti autori e con accezioni di volta in volta probabilmente diverse. Tradizionalmente la sua introduzione in psicologia viene fatta risalire a Bartlett [2], che ne attribuiva l'ispirazione al neurologo Henry Head, che a sua volta si riteneva debitore del fisiologo Wernicke. Interessato all'organizzazione della memoria, Bartlett riteneva che su questa influissero in maniera decisiva le aspettative e ipotizzava che queste avessero una qualche rappresentazione mentale in forma schematica.

individuare i meccanismi che possano facilitare il passaggio dall'una all'altra rappresentazione.

3. Approccio *bottom-up*

Materiale

La nostra indagine empirica si è avvalsa di materiali creati nell'ambito di un nuovo progetto di insegnamento della fisica chiamato "progetto ORA", che ha preso corpo negli ultimi tre anni da una collaborazione tra l'INFM e le università degli studi di Genova, Pavia, Milano e Torino. Il progetto aveva lo scopo della realizzazione di una nuova didattica rivolta alla scuola di base per l'insegnamento delle materie scientifiche [5].

Nel progetto ORA vengono proposte delle attività pratiche, attraverso le quali ogni studente apprende i principi fisici in modo autonomo, essendo libero di ricavare la norma dagli esempi invece di memorizzarla semplicemente. Questo metodo infatti si fonda sui principi della corrente costruttivista, per la quale l'insegnamento è un progetto personale che deve partire dall'osservazione, deve passare attraverso la riflessione sull'osservazione stessa, per raggiungere l'apprendimento individuale.

Sulla base di questi principi sono stati elaborati materiali didattici da gruppi di lavoro appartenenti ad università ed enti di ricerca diversi. I materiali prodotti costituiscono pacchetti didattici articolati in diverse attività che concorrono al raggiungimento di un obiettivo specifico, ad esempio l'acquisizione del concetto di energia eolica, di calore o di densità dei liquidi. Per denominare i materiali si è convenuto di non ricorrere a termini quali *moduli* o *unità didattiche*, spesso utilizzati con significati diversi a seconda del contesto, e dunque i materiali sono stati denominati *quant*i. Ciascun quanto, dopo l'iniziale elaborazione, è stato sottoposto a revisione e ad una prima sperimentazione in classe da parte di insegnanti collaboratori del progetto.

L'espressione *quanto di attività* è stata coniata per dare un'indicazione di massima di *quanto tempo* dedicare a un insieme di attività da svolgere con gli studenti, per raggiungere gli obiettivi previsti. Esso fornisce un'idea del tempo minimo che si ritiene necessario per lo svolgimento delle attività ed è stato stabilito tenendo in considerazione le indicazioni sia degli insegnanti revisori che degli insegnanti sperimentatori. Più quanti, unificati tra loro da concetti correlati, fino a un massimo di cinque, possono essere riuniti in una *proposta didattica*.

Ogni quanto comprende indicazioni dettagliate di natura pratica, ad esempio sul reperimento dei materiali necessari allo svolgimento delle attività che lo compongono, che consistono, nella maggior parte dei casi, in giochi ed esperimenti realizzati con oggetti di uso quotidiano. Per alcuni di essi sono stati già preparati dal progetto kit didattici che comprendono tutto il necessario allo svolgimento delle attività del quanto. Per la nostra indagine abbiamo utilizzato uno di questi quanti, intitolato "Energia dove? Aria".

Soggetti

Abbiamo sperimentato il *quanto* prescelto in due classi di scuola media, una prima (composta di 26 alunni) e una seconda (di 24 alunni), per dodici ore complessive, il tempo previsto dal quanto stesso.

Procedura

Il quanto utilizzato comprendeva diverse attività con alcuni semplici esperimenti realizzabili in classe, che consentivano di mettere in moto oggetti utilizzando il movimento dell'aria: dal vento alle correnti ascensionali d'aria in prossimità di un radiatore. Le attività proposte erano in particolare la costruzione di un mulino a vento, di una girandola, di una spirale di carta.

Le attività nelle classi avvenivano con la partecipazione del professore di educazione tecnica e di un osservatore esterno. Si è seguita una procedura piuttosto rigida, per lo più quella suggerita dal quanto stesso, allargando leggermente le discussioni previste prima e dopo gli esperimenti, per approfondire la conoscenza delle concezioni primitive degli studenti. Le discussioni e le attività avvenivano intorno ad una tavola rotonda per favorire il dialogo tra i bambini e il lavoro di gruppo.

Il dibattito era condotto dal professore, che cercava di lasciare il più possibile spazio agli alunni, intervenendo solo quando la discussione rischiava di andare fuori tema. Si è focalizzato il discorso su tre temi principali: aria, forza ed energia, come caratteristiche intimamente legate all'argomento del quanto e sulle quali i ragazzi avevano più difficoltà a rispondere.

Tutte le lezioni sono state riprese con una telecamera e i risultati sono stati poi analizzati in laboratorio. Le registrazioni sono state poi sintetizzate in un formato scritto che raccoglieva gli spunti principali di riflessione, per verificare se avvenivano cambiamenti concettuali durante la discussione.

Risultati

Sulla base delle affermazioni e delle domande poste dagli studenti, sono stati innanzitutto costruiti i modelli degli schemi cognitivi dei concetti di aria, forza ed energia presenti nelle prime fasi delle attività svolte in classe. Si è poi cercato di individuare gli eventuali cambiamenti avvenuti nelle loro concezioni in seguito all'apprendimento e sono state apportate le conseguenti modifiche ai modelli degli schemi.

Analizzando le registrazioni, abbiamo notato molte concezioni alternative, specialmente nei ragazzi di prima media, a volte prevedibili ma altre volte anche al di fuori di quelle che intendevamo studiare. Molte emergono spontaneamente dai discorsi, ogni qual volta i ragazzi erano lasciati un po' più liberi

di proseguire il dialogo da soli, altre volte emergevano in conseguenza della ricerca di una risposta plausibile alla domanda presentata.

Aria

La prima discussione è stata riferita al concetto di *aria*, dato che esso era esplicitato nel titolo e serviva a spiegare le successive attività. Partendo dalle concezioni dei ragazzi riguardanti l'aria emerse dalle conoscenze provenienti dal senso comune, è stato ricavato uno schema cognitivo iniziale (fig. 1). Si noti che negli schemi qui presentati, le concezioni difformi da quella scientifica sono indicate da caselle con il bordo rosso; le rappresentazioni mancanti sono indicate da caselle gialle; i collegamenti con altri schemi sono indicati da caselle verdi.

Dal confronto aperto con i ragazzi è in primo luogo apparso evidente che concetti che noi riteniamo intuitivi non lo sono nella realtà. Uno dei maggiori problemi emersi è stato quello di capire se l'aria sia materia oppure no. Fra gli alunni di prima media era diffusa una concezione dell'aria come *non materia* (casella rossa nello schema di fig. 1).

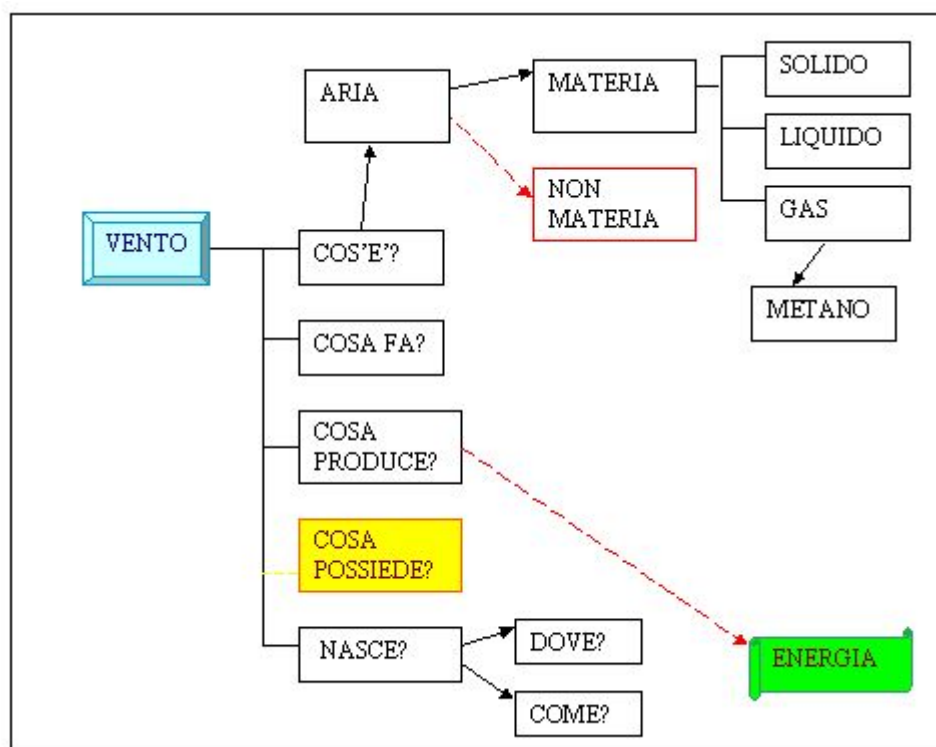


Fig. 1 – Schema iniziale del concetto di vento (aria)

La difficoltà dei ragazzi nel comprendere la "materialità" dell'aria risiedeva anche nel fatto che perfino il significato scientifico di gas era a loro sconosciuto. In varie conversazioni la parola "gas" era usata per intendere il gas da cucina, il metano. Infatti, alla domanda "Che tipi di gas conoscete?" la risposta è stata: "Metano, Gasolio".

Successivamente, durante l'esperimento previsto dal quanto, di costruzione e osservazione di un mulino a vento, i bambini hanno avuto modo di osservare nel concreto le interazioni dell'aria in movimento, ovvero del *vento*, con gli oggetti. In questo modo una alla volta sono emerse molte loro esperienze personali sulla concretezza del vento che prima erano state ignorate, probabilmente perché le vedevano in conflitto con le idee che manifestavano verbalmente. La concezione dell'aria come non materia, dopo la discussione e gli esperimenti, dove si testavano le ipotesi prodotte in fase di riflessione, non è stata più presente (v. fig. 2).

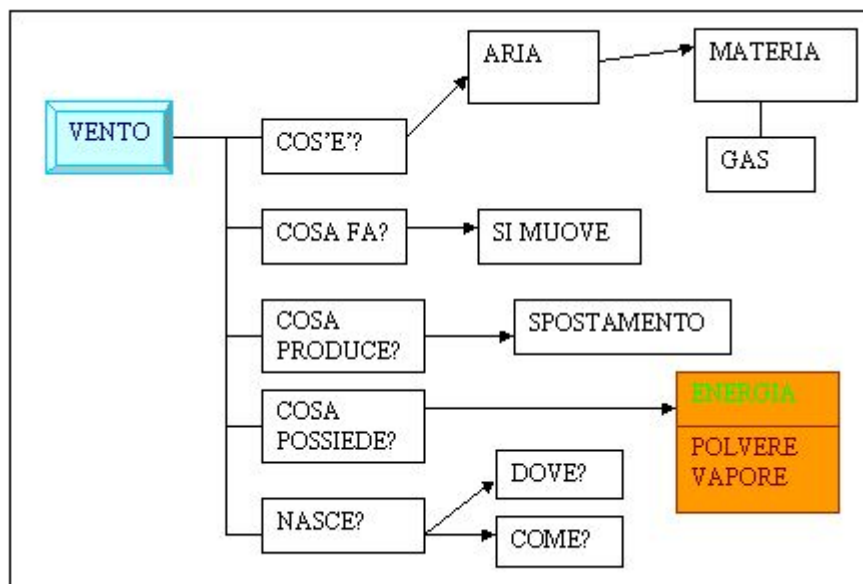


Fig. 2 – Schema finale del concetto di vento (aria)

Un'altra affermazione non corretta dal punto di vista scientifico era "il vento produce energia". Essa è indicativa del fatto che il bambino si sia chiesto se il vento produca qualcosa; eppure questa domanda può essere stata formulata solo da qualcuno a cui sia stato insegnato che il vento può essere utilizzato per ricavare energia. Questa informazione - corretta nel contesto del linguaggio comune - può dar origine ad una rappresentazione contraria al primo principio della termodinamica.

Attraverso gli esperimenti il ragazzo potrà fare esperienza del fatto che ciò che avviene è solo un passaggio di energia dal vento verso il mulino, e questo lo aiuterà a modificare non il contenuto della casella (che riflette una "risposta"), ma la struttura dello schema (che rispecchia una nuova "domanda": che cosa fa?). In questo modo lo schema iniziale dovrebbe tradursi, con le nuove esperienze fatte, in uno schema cognitivo più corretto (fig. 2).

Forza, energia

Gilbert e Watts [10], riassumendo le conclusioni di un ampio numero di ricerche sul concetto di energia posseduto dai bambini prima dell'insegnamento della fisica, hanno trovato tre punti comuni: l'energia ha a che fare con cose viventi e in movimento; l'energia fa funzionare le cose; l'energia cambia da una forma ad un'altra. Quest'ultima concezione, pur essendo presente prima dello studio della fisica, è spesso rinforzata da un insegnamento esplicito, la cui opportunità è stata messa in discussione. E' una visione che Duit [7] chiama "quasi materiale", perché considera l'energia come se viaggiasse attraverso meccanismi e fili metallici e di volta in volta cambiasse sembianze.

Secondo Watts [19] e Gilbert e Pope [9] le più comuni e persistenti concezioni alternative dei bambini sull'energia sono le seguenti:

- *antropocentrica*: l'energia è associata agli esseri viventi;
- *depositaria*: alcuni oggetti hanno energia e la spendono;
- *ingrediente*: l'energia non è necessariamente la causa di una reazione ma solo uno dei reagenti, un ingrediente "assopito" dentro gli oggetti;
- *attività*: l'energia è un'attività evidente, corrisponde al movimento stesso e spesso viene indicata con un verbo o un'azione;
- *prodotto*: è un sottoprodotto o il prodotto secondario di una situazione, come il fumo in una combustione;
- *funzionale*: l'energia è vista come una fonte molto generica, come il carburante, associata con il rendere comoda la vita;
- *fluido-trasferibile*: l'energia è vista come un tipo di "fluido" trasferito a certi processi.

Trumper [16], in seguito ad uno studio condotto su studenti israeliani di età tra i 14 e i 16 anni, ha individuato due varianti della concezione depositaria, che può essere di natura passiva ("c'è energia in una batteria") o di deposito "attivo" o concezione "causale" (l'energia come essenza necessaria nello svolgimento di certi processi: "la lampadina necessita di energia per accendersi"). Questo autore ha analizzato le concezioni dei bambini sia prima che dopo lo studio della fisica e ha trovato che le

concezioni più pervasive possedute da quasi tutti i bambini, come quella "antropocentrica", quella "causale" e una allargata concezione "prodotto" (l'energia è il prodotto di alcuni processi), permanevano anche dopo lo studio formale.

Dall'esame delle discussioni svolte in classe dai soggetti della nostra ricerca riguardo ai concetti di energia e forza, si possono riscontrare molte concezioni alternative, fortemente resistenti al cambiamento ed estese ad entrambe le classi, sia prima che seconda. In modo particolare, le preconcezioni più comuni riguardanti l'energia erano quelle che nello studio di Watts [19] erano indicate come antropocentrica, prodotto, funzionale, attività. Oltre a queste, le due più frequenti concezioni intendevano l'energia come quantità creabile e non trasformabile e come *sinonimo di forza*.

La confusione tra i concetti di energia e forza è ben conosciuta ed è stata messa in rilievo da parecchi ricercatori [4, 17, 20, 8]. L'indagine svolta in classe dimostra che i ragazzi avevano grande difficoltà a separare il termine "forza" da quello di "energia". Infatti mentre il concetto di energia aveva vari significati indipendenti da quelli associati al termine forza, quest'ultimo concetto veniva rappresentato sempre come sinonimo di energia. Questa omologazione tra concetti che in fisica hanno significati e usi differenti da quelli comuni può creare non pochi fraintendimenti e difficoltà di apprendimento.

Questo è un esempio tratto dalle discussioni in classe:

D Che differenza c'è tra forza e energia?

R Un uomo forte e un uomo energico, per me sono la stessa cosa.

La forza è energia! Mia madre pesa 43 chili ma non c'è un momento che vada con calma, corre, si alza presto, fa palestra!

Nella rappresentazione iniziale degli studenti è dunque evidente la mancanza di uno schema differente per il concetto di forza, che i ragazzi associano senza esitazione all'energia. Per questo motivo, basandosi come per il concetto di aria sui dialoghi svolti in classe, si può ipotizzare uno schema iniziale comune ai due concetti (fig. 3).

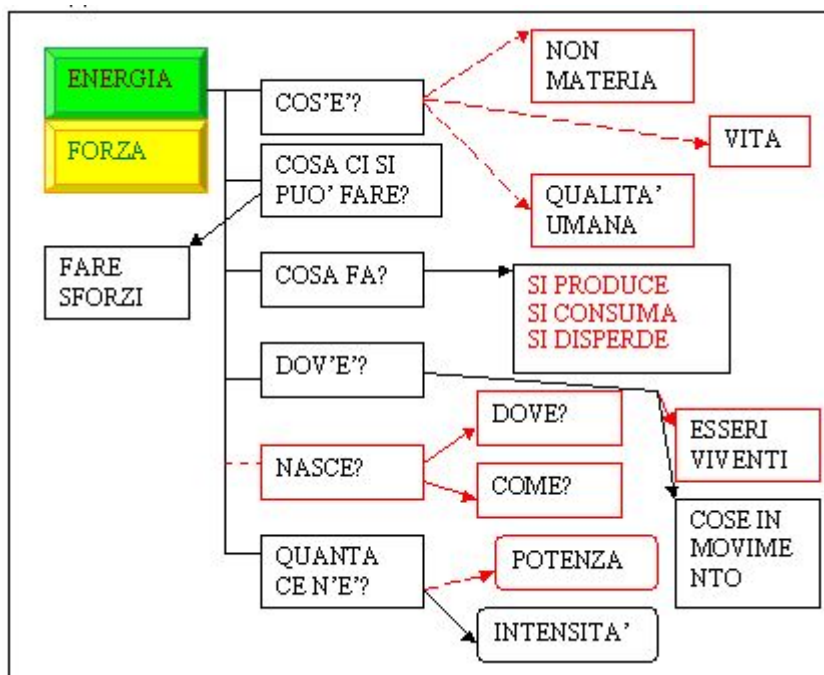


Fig. 3 - Schema iniziale dei concetti di forza ed energia

Le domande che i ragazzi si ponevano più spesso o alle quali più spesso rispondevano anche inconsapevolmente sono quelle che hanno dato origine alle caselle principali dello schema, mentre le risposte sono le caselle collegate ad esse.

Per esempio la casella "cos'è" rappresenta la domanda che i ragazzi si ponevano di più in assoluto desiderando dare una risposta ad ogni costo:

D Che cos'è l'energia?

R Secondo me l'energia la sprechiamo sempre quando parliamo, quando leggiamo, quando comunichiamo e ci ricarichiamo quando dormiamo. L'energia è la nostra ricarica.

R Secondo me l'energia è vita! Noi non possiamo vivere senza energia, senza illuminazione, elettricità... Il vento che muove le pale, le muove e crea energia, invece noi l'energia ce la facciamo prendendo le cose, mangiando... Noi corriamo perché prendiamo energia dal cibo, ma il vento da dove la prende la sua energia?... Il vento è energia!

D No, il vento la andrà a prendere da qualcun altro come fai tu con il cibo, è una catena.

R Ma non è possibile che l'energia esca da me per andare da lui!

Queste concezioni erano presenti anche nei ragazzi di seconda media; questo significa che una spiegazione astratta come quella ricevuta in aula può non essere sufficiente a fare presa la prima volta che certi concetti vengono spiegati nella scuola. Sono necessari diversi anni di studio perché questo avvenga, e non è neppure certo che succeda, a giudicare dagli studi di Trumper [16] che le aveva ritrovate persino negli stessi insegnanti.

Una importante differenza tra l'uso scientifico e non scientifico dei due termini "forza" ed "energia" è che per entrambi esiste una forma aggettivale (forte, energico) e nell'uso che ne hanno fatto gli studenti da noi esaminati il significato non si modifica nel passaggio da sostantivo ad aggettivo. E' ovvio che i ragazzi non pensavano a questi termini in senso scientifico, visto che in fisica essi non possono per nessuna ragione diventare aggettivi. Invece nel senso comune l'uso aggettivale è molto frequente: *forte* si dice di cosa o persona che può resistere ad un grande sforzo, che resiste bene alla fatica. Il termine *energico* si ritrova nel vocabolario come sinonimo di forte in una particolare accezione: "Energico, molto forte, detto per lo più di forza vitale, propria dell'animo risoluto che opera con decisione ed efficacia: un direttore energico, un uomo privo di energia, un governo energico" [3].

La creazione degli schemi iniziali dei concetti avviene sulla base delle connotazioni presenti nella cultura di base dei discenti, cioè deriva dal cosiddetto senso comune e dall'uso comune del linguaggio. Anche facendo una ricerca lessicale sui significati dei due termini, forza ed energia, si notano grandi somiglianze. Nella lingua italiana spesso le due parole sono sinonime. L'accezione più comune del termine energia, infatti, è quella che la intende come forza, vitalità, potenza, virilità, prestanza o resistenza. Entrambi i termini fanno riferimento ad una capacità di compiere sforzi, di affrontare difficoltà, e sono sinonimi di intensità o impeto, come pure di tempra o efficacia. Anche tra i loro contrari ci sono molte affinità: ad esempio, nell'accezione di debolezza, il contrario di energia è identificato con il contrario di forza. Non c'è da stupirsi dunque se i bambini alternano indifferentemente i due concetti.

L'opinione a cui siamo giunti è che sia più utile nell'insegnamento esplicitare gli usi che della parola "energia" si fanno nella vita quotidiana e separarli dal significato che essa ha in ambito scientifico: questo serve a creare negli alunni due schemi differenti e a fare in modo che questa separazione sia persistente. Solo in questo modo i bambini possono riuscire, ad esempio, a rappresentarsi l'energia come spendibile e contemporaneamente indistruttibile, come creabile e al tempo stesso eterna.

Tutte le rappresentazioni non scientifiche dell'energia, emerse dalle discussioni, erano improntate sull'uomo, su ciò che l'uomo ne può fare: l'uomo la può spendere per produrre un lavoro, la può "produrre" con le centrali (in realtà in questo caso trasforma un'energia inutilizzabile in una sfruttabile per i suoi scopi), e la può esaurire nel caso di una pila scarica. Spiegare chiaramente le differenze d'uso del termine può semplificare il lavoro degli insegnanti.

Dovendo proporre un modello che delinea la differenza tra ambito scientifico e non scientifico del concetto di energia, sarebbe necessario inserire le differenze tra i diversi tipi di energia a cui abbiamo accennato, ma ci siamo limitati al suo significato cinetico, perché è il primo che gli studenti apprendono ed è dunque il primo per il quale si devono porre questo problema di contestualizzazione. Successivamente basterà loro aggiungere un'altra casella/domanda che indichi "che tipo" (di energia o forza) si sta prendendo in esame.

Così, separare i due schemi, del lessico scientifico e non scientifico, sembra essere il modo più immediato per risolvere i conflitti tra i vari significati del termine. Nell'insegnamento questo può avvenire segnalando apertamente le differenze tra l'uso di senso comune e quello fisico, cercando anche nelle esemplificazioni di non ricadere da uno schema all'altro.

Per favorire l'apprendimento sarà quindi necessario operare per prima cosa una separazione tra i due termini forza ed energia, in modo da riappropriare i due concetti dei loro significati specifici prima che di quelli in comune. Per fare questo si è costruito uno schema iniziale di forza sulla base di quelle poche informazioni proprie del concetto espresse nelle discussioni (fig. 4):

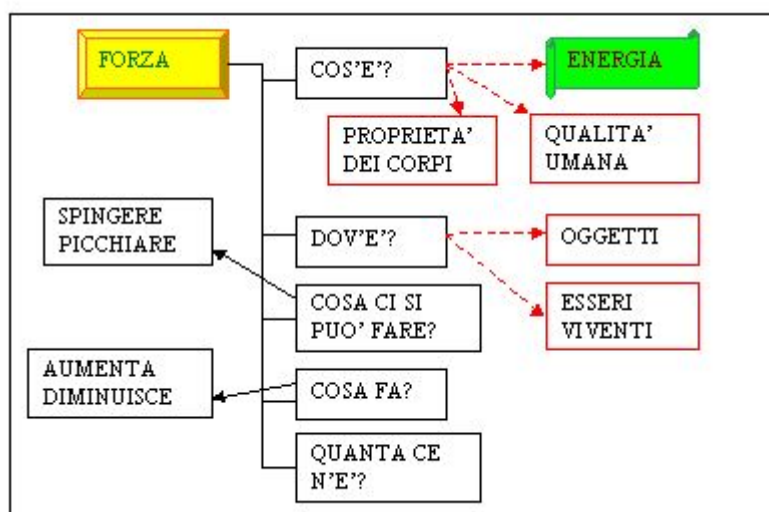


Fig. 4 – Schema iniziale del concetto di forza

(Il concetto di forza è usato per intendere resistenza)

R La montagna è forte. La casa è più forte del vento.

(il concetto di forza è usato in modo corretto)

D Soffiando contemporaneamente da parti opposte il mulino sta fermo, come mai?

R Perché l'elica dovrebbe girare nei due sensi opposti e allora sta ferma.

No, è perché le due forze si annientano, è come se uno spinge un masso da una parte e l'altro dall'altra e il masso sta fermo.

Effetto delle pale sul vento: Il vento trova un ostacolo sulle pale ma passa in mezzo alle pale.

Il vento che passa in mezzo alle pale ha una certa velocità, quando esce è più veloce: perché deve spingere l'ostacolo per uscire, come l'acqua che se è a pressione e trova un varco spinge per uscire. (I Risposta istintiva)

Quando esce è uguale (II risposta)

Quando esce è minore, perché ha speso energia, ha sudato. (III risposta dopo il ragionamento)

Dopo il ragionamento è stata posta la domanda: se ci fossero state tante girandole una dopo l'altra?

La risposta è stata corretta:

R il vento non ha abbastanza energia da far girare l'ultima girandola.

Il vento urtando le pale ha diminuito la forza, la velocità e quindi l'energia.

(Cambiamento di energia da eolica in meccanica).

Allo stesso modo occorrerà separare il concetto di energia da quello di forza, riattribuendo a quest'ultimo i suoi significati, poiché, come si è detto, a causa di questa associazione i ragazzi avevano molta difficoltà a formulare ipotesi su di essa. Gli schemi finali (fig. 5-6) ottenuti dalla formulazione di questa ipotesi e successivamente corroborati dai risultati della seconda parte della nostra ricerca (*top-down*) mostrano la divisione semantica nell'ambito dei vari usi dei due concetti.

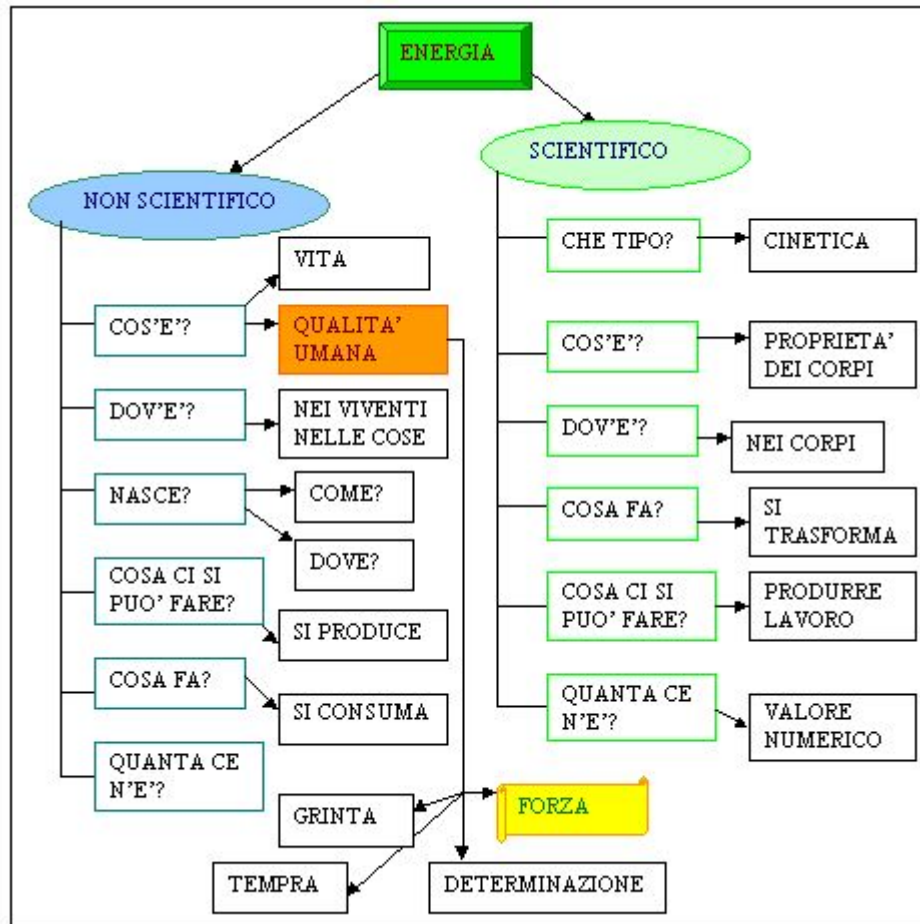


Fig. 5 - Schema finale del concetto di energia



Fig. 6 – Schema finale del concetto di forza

4. Approccio top-down

Se nella parte precedente il nostro interesse era rivolto a capire quale fosse l'idea che i ragazzi avevano relativamente a concetti non ancora affrontati in classe, in questa parte si vuole indagare sulle rappresentazioni di persone che invece studiano fisica da anni, per vedere in che cosa siano diverse.

Soggetti

Il campione preso in esame era composto da 5 professori e da 15 studenti universitari di fisica; questi ultimi sono stati divisi in due gruppi, un gruppo di 10 studenti del primo anno e uno di 5 studenti degli ultimi anni. L'esigua numerosità del campione non consente elaborazioni statistiche e su di esso è stata quindi svolta un'indagine di tipo qualitativo.

Procedura

Questa parte dell'indagine è stata compiuta in due fasi. Nella prima fase, a un primo gruppo di soggetti, composto da 5 professori e 5 studenti, è stata fatta una intervista semistrutturata con domande relative ai concetti di vento, forza ed energia. Successivamente, a un secondo gruppo, composto da 5 studenti, è stato chiesto di mettere in ordine di importanza le domande ricavate nella prima fase.

Prima fase. Il compito del primo gruppo era di fornire le definizioni dei concetti in esame e di rispondere ad alcune domande ad essi collegate; particolare attenzione è stata prestata al concetto di energia, essendo – tra quelli da noi studiati – quello che aveva creato maggiori difficoltà agli alunni delle scuole medie.

Le domande poste erano le seguenti:

1. Dai una definizione di vento
2. Il vento ha energia? Se sì come faccio a rendermene conto?
3. Dai una definizione di energia
4. Se tu dovessi formulare una domanda la cui risposta fosse "Energia!" che domanda faresti?
5. Esplicita tutte le domande a cui secondo te è necessario rispondere per completare il concetto di energia
6. Dai una definizione di forza
7. Forza ed energia sono uguali? Sono collegate? Esempifica

I soggetti erano lasciati liberi di esporre le loro impressioni, di fare esempi e di dare la definizione dei tre concetti come meglio credevano.

Risultati della prima fase. Dalle interviste è emersa una relativa facilità ad esprimere il concetto di vento, usando le stesse parole dei ragazzi ("aria in movimento"), una altrettanto semplice definizione del concetto di forza, intesa in senso dinamico (" $F = ma$ "), mentre è emersa una comune difficoltà a dare una definizione di energia.

Sia studenti che professori ammettevano le loro difficoltà di fronte alla domanda attribuendole alla non esistenza di un concetto unico di energia, a meno di non voler fare riferimento al primo principio della termodinamica ($\Delta U = Q-L$), che però non spiega il significato dell'energia ma ne esprime una proprietà.

Tutti i soggetti, lasciati liberi di formulare una loro definizione più intuitiva di energia (domanda 4), facevano esempi specifici:

- Cos'è che coincide con m nell'equazione di Einstein?
- Di cosa ha bisogno una lampadina per accendersi? (Energia elettrica)
- Cosa impieghi quando compi un lavoro? (Energia meccanica)
- Un oggetto in movimento cosa possiede? (Energia cinetica)
- Cosa si scambiano, quando interagiscono, due corpi a temperature diverse? (Energia termica)
- Cos'è che trasporta la luce? (Energia elettromagnetica)

La risposta che implicitamente o esplicitamente hanno dato tutti i soggetti è stata che non si può spiegare cos'è l'energia partendo da una sua definizione, o fornendo solo quella relativa all'ambito da studiare, ma che è necessario fare diversi esempi che corrispondano ai vari tipi di energia, in modo che lo studente possa rendersi conto da solo che, ad esempio, la dinamica non è che una piccola area di applicazione del concetto. In questo modo sarà chiaro al discente che esistono diversi tipi di energia esattamente come ha fatto conoscenza di varie razze di cani, e sarà capace di astrarre da sé il concetto-prototipo di energia, che non è così evidente nonostante ne facciamo continuamente uso.

Al primo gruppo di studenti di fisica era posto successivamente un compito metacognitivo sull'avvenuto processo di astrazione. Infatti si chiedeva loro di esprimere sotto forma di domande molto generali le aree fondamentali per l'apprendimento del concetto di energia.

Le domande più utilizzate nelle spiegazioni sono state le seguenti:

- A. Cos'è?
- B. Dov'è?
- C. Da dove arriva?
- D. Come la sfruttiamo?
- E. Come si trasmette?
- F. Come si manifesta?
- G. Come si trasforma?

Seconda fase. Queste domande sono state prese come base per il compito successivo per il secondo gruppo di studenti, ai quali è stato richiesto di metterle in ordine di importanza, seguendo la logica che loro avrebbero utilizzato per insegnare il concetto di energia a qualcuno che non lo conosce.

Risultati della seconda fase. I risultati ottenuti hanno confermato quelli precedenti: infatti sono state messe per prime le domande più specifiche, quelle che permettevano esemplificazioni, passando via via verso quelle più astratte. Al contrario di ciò che si potrebbe immaginare intuitivamente, gli stessi studenti e professori ritengono che sia più difficile rispondere alla domanda "Cos'è l'energia?" piuttosto che rispondere alla domanda "Come si manifesta?" o "Come si trasmette?".

Alcune domande sono state messe in discussione. Ad esempio si è ritenuto che la C creasse confusione, inducendo a pensare che qualcosa che ha un arrivo abbia anche una fine. Per altre domande, come la D, si è ritenuto che possano aiutare la comprensione stimolando la ricerca di nuovi esempi, ma che al tempo stesso (specialmente se usate all'inizio dell'apprendimento) creino il rischio di limitare la concezione di energia come prodotto di un processo umano.

Lo schema che si è ottenuto dall'analisi dei questionari somministrati agli esperti è riportato in fig. 7, in cui le domande sono ordinate gerarchicamente, secondo l'ordine in cui dovrebbero essere riempite; l'ultima casella in realtà è il risultato del personale processo di astrazione che dovrà fare l'alunno.

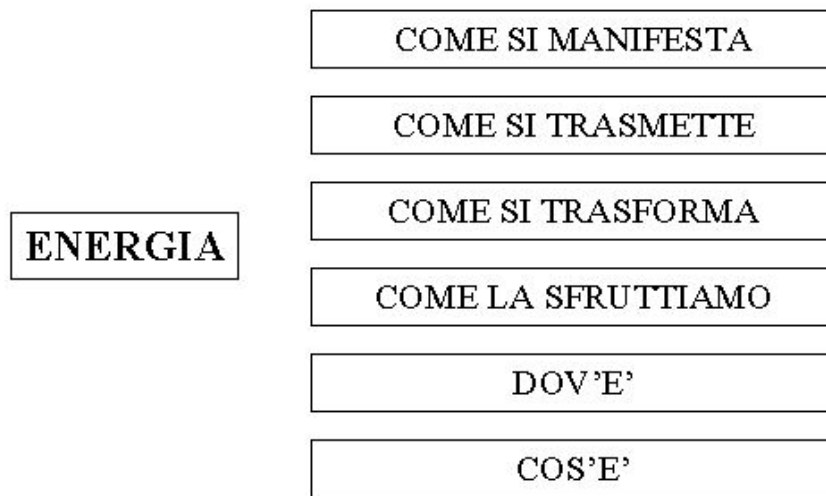


Fig. 7 – Schema esperti del concetto di energia

5. Discussione

Il nostro obiettivo è stato di esplicitare le rappresentazioni di alcuni concetti fisici (forza, energia), utilizzando lo *schema* quale modello di rappresentazione. Lo studio è partito dall'individuazione degli schemi che emergono nel corso delle prime fasi dell'apprendimento, ma ha poi cercato di spingersi oltre la mera esemplificazione delle preconcezioni riscontrate, cercando di individuare gli aspetti degli schemi che sono stati modificati per effetto dell'apprendimento. L'obiettivo didattico, implicito in questo programma scientifico e coerente con gli scopi del Progetto ORA [5], è di formulare un nuovo percorso nell'insegnamento che consenta di esplicitare gli schemi mentali elaborati dagli alunni sugli argomenti studiati, in modo da consentire la successiva creazione di schemi più funzionali alla comprensione, se non dei fenomeni naturali, dell'approccio scientifico allo studio di tali fenomeni.

Naturalmente gli schemi che abbiamo elaborato e che qui presentiamo sono da considerare come una prima approssimazione suscettibile di ampi miglioramenti. Dall'analisi degli schemi è stato comunque possibile già capire che ci dev'essere una differente attenzione nell'insegnamento di concetti di portata più limitata come quello di aria rispetto ad altri più ricchi di implicazioni come quello di energia.

L'idea che abbiamo ricavato è che anche gli "esperti" della materia arrivano alla definizione di un concetto astratto attraverso esempi concreti. Questo è l'approccio che essi hanno costruito da soli nel corso di anni di studio, attraverso modificazioni dei loro schemi per prove ed errori, e ciò risulta particolarmente evidente quando si tratta di concetti complessi. Il percorso di apprendimento è dunque di tipo piramidale: da una base di esempi si arriva alle astrazioni. L'insegnamento non sempre riflette questa idea, ma parte spesso dall'opposto, cioè da una definizione o una formula da usare poi nelle applicazioni concrete. Inoltre, molto spesso la logica dell'apprendimento è di tipo lineare e non ci si preoccupa di quali implicazioni o legami un particolare concetto possa avere con gli altri già acquisiti. Lo schema mette invece in evidenza le relazioni tra concetti.

Se si accettano, come punto di riferimento sistematico, le idee che gli studenti possiedono, il problema è allora quello di aiutarli a sviluppare le loro abilità nelle previsioni, a progettare interventi, a descrivere e spiegare i fenomeni e le loro cause, perché giungano attraverso una maggior consapevolezza delle proprie idee, delle relazioni fra idee, del modo in cui possono essere ristrutturare e sviluppate, a costruirsi un corpo di conoscenze coerente e integrato.

In questa direzione il confronto tra i due schemi, quello del senso comune e quello scientifico, può fornire indicazioni valide su nuovi modi di proporre la materia da apprendere, che lasciano più spazio all'alunno di esercitare le sue capacità di astrazione e di apprendimento anche attraverso la riflessione sul metodo e non solo sul contenuto.

Produrre, quindi, o anche solo favorire, ogni consapevole ristrutturazione cognitiva può consentire di superare il doppio ostacolo dell'educazione: la tendenza riproduttiva e la conferma dell'antagonismo radicale tra le due verità, quella del senso comune e quella specialistica, nella conoscenza scientifica.

In conclusione, l'insegnamento dovrebbe seguire le due naturali fasi insite nel processo di conoscenza: quella cognitiva, legata alla comprensione diretta, all'attenzione e alla memorizzazione delle nuove conoscenze; quella metacognitiva, favorita dall'insegnante, che facilita la comprensione dei

concetti ovvero la formazione di schemi e l'inserimento delle informazioni in modo corretto al loro interno.

Bibliografia

- [1] M. ARCÀ, M. GAGLIARDI, P. GUIDONI, P. MAZZOLI, "Educazione scientifica di base come formazione culturale", *La Fisica nella Scuola*, 1, 1-13 (1983).
- [2] F.C. BARTLETT, *Remembering : A study in experimental and social psychology*, Cambridge University Press, Cambridge (1932).
- [3] G. CESANA, *Dizionario ragionato dei sinonimi e dei contrari*, De Vecchi, Milano (1982).
- [4] J. CLEMENT, *Mapping a student's causal conception from a problem solving protocol*, Department of Physics and Astronomy, University of Massachusetts, Amherst (1978).
- [5] M.G.DONDI, A.GAMBINI, A. GRECO, G.LUZZATTO, M.OTT, G. RINAUDO, "Il progetto ORA. Osservazione Riflessione Apprendimento." *TD Tecnologie Didattiche*, 28, 5-8 (2003).
- [6] R. DRIVER, J. EASLEY, "Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students", *Studies in Science Education*, 5, 61-84 (1978).
- [7] R. DUIT, "Should energy be illustrated as something quasimaterial?", *Journal of Science Education*, 9, 139-145 (1987).
- [8] J.GAIR, D. T. STANCLIFF, "Talking about toys: An investigation of children's ideas about force and energy", *Research in Science and Technological Education*, 6(2), 167-180 (1988).
- [9] J.GILBERT, M. POPE, "Small group discussions about conception in science: a case study", *Research in Science and Technological Education*, 4, 61-76 (1986).
- [10] J.GILBERT, D. WATTS, "Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education", *Studies in science education*, 10, 61-9 (1983).
- [11] M. MINSKY, "A framework for representing knowledge", in *The Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill, New York (1975).
- [12] U. NEISSER, *Conoscenza e realtà*, Il Mulino, Bologna (1976).
- [13] J. PIAGET, B. INHELDER, *La psicologia del bambino*, Einaudi, Torino (1970).
- [14] D.E.RUMELHART, "Notes on a schema for stories", in D.G. Bobrow & A. Collins, *Representation and understanding: Studies in cognitive science*, Academic Press, New York (1975).
- [15] R. C. SCHANK, "Conceptual dependency: a theory of natural language understanding", *Cognitive Psychology*, 3, 552-631 (1972).
- [16] R. TRUMPER, "A survey of Israeli physics students' conceptions in energy in pre-service training for high school teachers", *Research in Science and Technological Education*, 14(2), 179-192 (1996).
- [17] L. VIENNOT, "Spontaneous learning in elementary dynamics", *European Journal of Scientific Education*, 1 (2), 205-221 (1978).
- [18] E. VON GLASERSFELD, *Radical constructivism: a way of knowing and learning*, Falmer Press, Washington DC (1995).
- [19] D. M. WATTS, "Some alternative views of energy", *Physics Education*, 18, 213-217(1983).
- [20] D. M. WATTS, J. K.GILBERT, "Enigmas in school science: Students' conceptions for scientifically associated words", *Research in Science and Technological Education*, 1(2), 161-171 (1983).