

# LE ATTIVITÀ DI MODELLIZZAZIONE NELL'EDUCAZIONE ALLE SCIENZE

## PARTE PRIMA: SISTEMI E MODELLI

*Questo articolo è la prima parte di un lavoro relativo all'introduzione di attività di modellizzazione nell'insegnamento della chimica a livello di scuola secondaria di secondo grado. In esso viene preso in considerazione il ragionamento di tipo analogico; si discutono i concetti di modello, sistema, teoria e le relazioni che li legano; vengono illustrati i vari tipi di modello usati da scienziati e tecnici e le fasi del processo di modellizzazione.*

### 1 - IL RAGIONAMENTO ANALOGICO

L'analogia occupa una posizione di rilievo nel parlare e nel ragionare quotidiano, in quanto si tratta del tipo di ragionamento più semplice e spontaneo. I bambini, come ha messo in evidenza Jean Piaget, ragionano in primo luogo mediante analogie, come dimostra il fatto che fanno sovente ricorso all'espressione: "E' come se...". Anche nell'insegnamento scientifico, a qualsiasi livello di scolarità, si fa ampio uso di analogie: il cuore è assimilato ad una pompa, l'atomo ad un piccolo sistema planetario, la respirazione ad una combustione, il sistema nervoso ad un insieme di cavi elettrici, ecc.

E' abbastanza diffusa l'idea che il ragionamento di tipo *analogico* sia meno "nobile" di quello *analitico*, di tipo deduttivo, e di quello *sintetico*, di tipo induttivo. Alcuni autori, come ad esempio Daniel Durand [1], pensano che l'affermarsi del pensiero razionale e meccanicista nel corso della "rivoluzione scientifica"<sup>1</sup> coincida con il rifiuto del pensiero analogico in campo scientifico. Secondo questi autori, nel periodo compreso tra l'età

EZIO ROLETTO\*  
PIER GIORGIO ALBERTAZZI\*\*  
ALBERTO REGIS\*\*

di Galilei e quella di Newton, il nuovo modo di fare scienza avrebbe rifiutato i procedimenti analogici, considerati una forma di ragionamento inferiore, marginale o primitiva di cui lo scienziato deve diffidare.

Per altri autori, come ad esempio Paolo Rossi, questa tesi è falsa, conseguenza di una insufficiente conoscenza dello sviluppo scientifico nel corso del diciassettesimo secolo e risulta ancorata ad una concezione, superata da decenni, che identificava tutta la scienza con la matematica, l'astronomia e la fisica. La storiografia scientifica contemporanea ha evidenziato che "la scienza del Seicento è piena di analogie e similitudini... Questo non ci autorizza né a cancellare dalla modernità della scienza la quantificazione e la matematizzazione, né a collocare sotto il paradigma della "metafora" l'intera scienza della cosiddetta età barocca.[2] Tutti gli studiosi sono comunque d'accordo nel riconoscere che il ragionamento per analogia occupa un posto importante nel campo delle scienze a partire dall'inizio del XX secolo. Inoltre, molti ricercatori in didattica ritengono che il suo ruolo non sia meno importante nell'ambito dell'educazione alle scienze, anche in quella di base. Vediamo dunque di precisare le caratteristiche di questo modo di ragionare, analizzando i diversi tipi di analogia.

### 1.1 - SIMBOLI, METAFORE E MODELLI

L'analogia può essere costituita da un'immagine o da un *simbolo* che richiama un determinato evento: la maggior parte dei segnali stradali sono analogie di questo tipo. Questa è la forma più semplice ed immediata di analogia; ne sono forme più complesse la *metafora* ed il *modello*. Parlando della presentazione al pubblico dell'ultimo tipo di autovettura prodotto dalla nota industria automobilistica TIFA, un giornalista ha scritto: "La neonata della TIFA si presenta sul mercato...". Stabilendo un'analogia, ossia una relazione di somiglianza, tra l'ingresso nel mondo di un essere umano e l'introduzione sul mercato di una autovettura, il giornalista ha costruito una "metafora", in quanto ha usato, per la seconda, un termine abitualmente riferito al primo. Il lettore dell'articolo, anche se non dispone di altre informazioni, sa che "la neonata della TIFA" è la vettura appena uscita dalla fase di gestazione (ecco un'altra metafora!) per entrare nel novero di quelle messe in vendita. Aldo Duro così definisce la metafora [3]:

La metafora consiste nell'esprimere un concetto, anziché con le parole appropriate, con altre che abbiano con quelle un rapporto di somiglianza, e giovino a rendere più plastica e visiva l'immagine.

Quindi, per poter usare un termine in senso metaforico, deve esistere un'analogia tra un argomento principale (per il nostro esempio, la nascita di un essere umano) ed un argomento secondario (l'immissione sul mercato di un'autovettura). E' l'analogia, ossia la relazione di

Gruppo di Didattica della Chimica, Università di Torino

\* Dipartimento di Chimica Analitica, via P. Giuria 5, 10125 TORINO

\*\* I.T.I. Quintino Sella, BIELLA

<sup>1</sup> 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 dice abitualmente che durante questo periodo si sono poste le basi della scienza moderna che si distingue da quella dei secoli precedenti per un modo del tutto diverso di guardare la realtà del mondo.

somiglianza, che consente le operazioni di "trasferimento di significato". Queste sono abituali nel parlare quotidiano ma, come giustamente sostengono Paolo Rossi e Carlo Tarsitani [4] lo sono anche in campo scientifico, dove si presentano sotto due aspetti diversi. Da una parte, si incontrano processi linguistici, del tipo sopra segnalato, che consistono nel trasferire termini del linguaggio quotidiano in ambito scientifico. Per esempio, termini del linguaggio comune quali "lavoro", "forza", "sostanza", se trasferiti nel linguaggio scientifico, acquisiscono un significato specifico, sovente ben lontano da quello originale. Inoltre, anche termini appartenenti ad un certo settore scientifico, se trasferiti in un altro, assumono un significato che è metaforico rispetto a quello di partenza. Tarsitani cita il caso del termine "urto", trasferito nel contesto della meccanica quantistica con un senso che è metaforico rispetto a quello assunto nel contesto della meccanica classica. D'altra parte, si hanno processi metaforici più complessi nei quali si ricorre alla forma più sofisticata di analogia, il "modello". In campo scientifico, si ricorre ad un modello quando non si è in grado di dare una spiegazione originale di un fenomeno, in quanto non si dispone ancora di un apparato teorico adeguato. Per esempio, nel corso del secolo scorso si sono sviluppati nuovi settori scientifici quali l'elettrostatica, l'elettrodinamica, la termodinamica, ecc. All'inizio, gli scienziati hanno esplorato questi campi del sapere stabilendo analogie tra i nuovi fenomeni studiati e quelli ben conosciuti della fisica meccanica. In questi casi, l'analogia funziona come prima ipotesi o "modello ipotetico" che consente di esplorare una nuova porzione del mondo fenomenico. D'altronde, anche quando esistono teorie adeguate, non è detto che sia conveniente, per un ricercatore che sta studiando un determinato settore della conoscenza, fare sistematicamente ricorso a queste. In conseguenza del progresso delle scienze, le teorie risultano complesse e difficili da utilizzare al fine di sviluppare un primo approccio alla risoluzione di un "enigma" scientifico. In queste situazioni, risulta molto più conveniente ricorrere a strumenti teorici meno complessi, ma in grado di aiutare lo scienziato a comprendere e interpretare i fenomeni presi in esame ed a prevederne altri. Questi strumenti di uso più agevole delle teorie, funzionali ad un processo euristico di ac-

quisizione di conoscenze, sono appunto i modelli.

Il modello è quindi uno strumento importante per l'elaborazione del sapere scientifico. Gli epistemologi contemporanei hanno ormai abbandonato la concezione empirista ed ingenuamente realista della scienza, intesa come insieme di conoscenze preesistenti alla ricerca e rintracciabili nella natura mediante attente attività di osservazione e di catalogazione. Si ritiene, oggi, che la scienza sia il prodotto di una comunità di ricercatori i quali elaborano strumenti teorici che consentono di interpretare e predire fenomeni. D'altro canto, idee analoghe si stanno affermando in campo didattico. I modelli pedagogici più recenti, proposti nell'ambito delle ricerche per la didattica delle discipline, sono basati sull'idea che l'appropriazione di nuove conoscenze deve portare alla ristrutturazione delle strutture concettuali del soggetto che apprende. Perché ciò avvenga, l'allievo deve essere messo nella condizione di impegnarsi in un processo di elaborazione di conoscenze nel quale la sua attività abbia lo stesso significato di quella svolta dagli scienziati. Questi, come già abbiamo detto, cercano di capire ed interpretare il mondo che ci circonda con un processo dinamico di interazione tra idee e fatti empirici, tra il soggetto conoscente e l'oggetto della conoscenza, che si esplica nella invenzione di congetture, teorie, modelli.

Questo significa anche stabilire, pur con tutte le cautele che impone la differenza di livello tra le due situazioni, una relazione tra elaborazione del sapere scientifico da parte di scienziati e ricercatori e costruzione delle conoscenze scientifiche da parte dei soggetti che apprendono. Si può parlare, da questo punto di vista, di un più stretto rapporto tra epistemologia e didattica. Se educare alle scienze significa dare agli allievi la possibilità di "fare scienza" come si è detto poco sopra, si può allora affermare che scopo di tale educazione è portare gli allievi all'elaborazione ed all'uso di modelli interpretativi della realtà fenomenica, più potenti di quelli costruiti spontaneamente nell'ambito del sapere comune. Prima di affrontare le questioni relative alla costruzione ed all'uso di modelli nell'educazione alle scienze, è opportuno esaminare il concetto di modello. Questo non significa passare in rassegna le idee degli epistemologi a proposito della natura dei modelli, ma piuttosto appoggiarsi su questi studi

per chiarire alcuni punti fondamentali relativi ai tipi di modelli, alle fasi del processo di modellizzazione ed alla relazione tra teoria, modello e realtà empirica.

## 2 - IL CONCETTO DI MODELLO

Quando si affronta il concetto di modello, si rimane colpiti dalla varietà dei suoi significati, dovuta al fatto che questa nozione copre un campo semantico complesso all'interfaccia tra realtà e conoscenza. Il modello, infatti, ha una natura essenzialmente ambivalente. Stabilendo un'analogia con il mitico Giano Bifronte, possiamo dire che il modello ha una faccia rivolta verso ciò che è ignoto (l'originale, la realtà), mentre l'altra è rivolta verso ciò che è conosciuto (il riferimento, la copia, l'immagine, il simbolo). Il modello si presenta quindi come un "oggetto di transizione", come un "mediato" tra il reale ed i sistemi di rappresentazione della realtà, tra i fenomeni e la teoria. Poiché il termine ed il concetto di "modello" si trovano anche nel linguaggio e nel sapere comune, è opportuno distinguere i significati attribuiti al modello nei due registri di conoscenza: quello del "comune buon senso" e quello "scientifico".

### 2.1 - Il modello nel sapere comune

Sul piano del sapere comune, il concetto di modello presenta un'ambiguità notevole, in quanto può indicare sia l'ideale da raggiungere, l'originale che si deve imitare, sia la copia, l'imitazione. Fondamentalmente si possono distinguere tre significati: 1) il "modello da imitare", che entra in gioco quando si parla di comportamenti (è un ragazzo modello, è un modello di ragazzo, è un modello di virtù, ecc...), oppure quando ci si riferisce alla persona che posa per un artista, oppure ancora ai vari modelli di scrittura (gotico, corsivo, stampatello, ecc.); 2) il "modello da copiare" che è un esemplare, un oggetto che rappresenta un tipo: per esempio, il modello di domanda per il rilascio del passaporto; 3) il "modello categoria" che si incontra, per esempio, nel settore dell'abbigliamento, dove un modello rappresenta una categoria di oggetti simili: per esempio, il modello "mocassino" per le calzature, il modello "polo" per gli indumenti, ecc. Questi sono i significati principali che il termine "modello" assume nel linguaggio quoti-

diano, significati che è opportuno segnalare anche solo al fine di evitare possibili confusioni con quelli che gli vengono attribuiti in ambito scientifico, sui quali porteremo ora la nostra attenzione.

## 2.2 - Il modello nel sapere scientifico: L'approccio sistemico

Anche in campo scientifico, il concetto di modello presenta uno spettro molto ampio di significati: si passa infatti dagli oggetti concreti, quali plastici e calchi, ai formalismi matematici. Secondo Walliser [5], "nella sua accezione più ampia, la nozione di modello rimanda a qualsiasi rappresentazione di un sistema reale, sia questa astratta o concreta, espressa in forma verbale, grafica o matematica". La nozione di "modello" è dunque legata a quella di "sistema", dal momento che il modello è concepito come "sistema rappresentativo di un sistema concreto" (5). Se consideriamo il mondo che ci circonda, sappiamo che questo comprende l'insieme degli "oggetti" naturali o tecnici (le rocce, le nuvole, una lampadina, ecc.) e dei "fenomeni" osservabili, anch'essi di origine naturale o tecnica (la pioggia, l'eclisse, la produzione di energia elettrica, ecc.). Gli scienziati non studiano il mondo nella sua globalità, ma soltanto "per parti limitate", isolandole dal resto nell'ambito di un esperimento o di un ragionamento. Ognuna di queste parti limitate costituisce un "sistema".

### 2.2.1 - Il concetto di sistema

Il concetto moderno di sistema si è sviluppato tra il 1940 ed il 1970. Un sistema viene definito facendo ricorso ai concetti fondamentali di "interazione", "globalità", "organizzazione" e "complessità". Un sistema può quindi essere definito come "una unità globale, complessa ed organizzata di elementi in interazione dinamica, legati tra di loro da un insieme di relazioni". Un sistema può essere descritto dal punto di vista "strutturale" oppure dal punto di vista "funzionale". [1]

A) Il punto di vista strutturale

Dal punto di vista strutturale, quattro sono i componenti di un sistema: - le superfici delimitanti (fisiche o ideali); - gli elementi costitutivi; - le relazioni tra elementi; - i depositi o serbatoi.

i) Le "superfici delimitanti" separano il

sistema considerato dall'ambiente che lo circonda. Per esempio, la membrana di una cellula, la pelle del corpo di un animale, il muro di cinta di una fabbrica, ecc.

ii) Gli "elementi" possono essere identificati, contati, classificati. Sono più o meno eterogenei a seconda dei sistemi: ad esempio, gli elementi costitutivi di un sistema-impresa sono i capitali, le macchine, gli edifici, i dipendenti.

iii) Le "relazioni" di trasporto e/o di comunicazione costituiscono una rete che consente la circolazione di corpi in diversi stati fisici, di energia, di informazioni all'interno del sistema.

iv) I "depositi" servono per immagazzinare materiali, energia, informazioni, denaro, prodotti, ecc... Si tratta di componenti essenziali per il buon funzionamento di un sistema, in quanto gli consentono di adattare il proprio comportamento alle esigenze contingenti.

B) Il punto di vista funzionale

Se invece si considera un sistema dal punto di vista funzionale, si trovano in esso: - dei flussi; - dei centri di decisione; - dei cicli di retroazione; - dei tempi di risposta.

i) I "flussi" riguardano corpi in diversi stati fisici, materiali, energia, informazioni, capitali, ecc. Questi circolano nelle diverse reti di trasporto e transitano nei depositi del sistema.

ii) I "centri di decisione" regolano la portata dei flussi in base alle informazioni che ricevono; si comportano quindi come paratoie che regolano la portata di un corso d'acqua.

iii) I "cicli di retroazione" consentono di avviare a monte di un deposito informazioni relative a quanto avviene a valle di questo. In tale modo, i responsabili sono in grado di prendere decisioni "a monte" sulla base di informazioni pertinenti.

iv) I "tempi di risposta" consentono di procedere alle regolazioni nei tempi richiesti dal buon funzionamento del sistema.

A questi componenti si devono aggiungere le "entrate" (inputs) e le "uscite" (outputs) grazie alle quali il sistema è in relazione con l'ambiente che lo circonda. Qualsiasi essere vivente, qualsiasi meccanismo fisico e chimico, qualsiasi organismo animale, qualsiasi organismo sociale può essere considerato e studiato come un sistema. Ma occorre tenere presente che un sistema non si identifica con

l'essere, il meccanismo, l'oggetto reale, in quanto viene sempre definito in base alle scelte del ricercatore. Quest'ultimo non prende in considerazione tutti i componenti dell'oggetto reale e tutte le variabili che possono entrare in gioco, ma opera una scelta. In questo modo, il ricercatore definisce il proprio "campo empirico di riferimento", limitando la complessità del sistema sul quale deve operare a livello sperimentale o mentale. Quindi, i sistemi sui quali i ricercatori conducono i loro studi non corrispondono a realtà empiriche naturali; si tratta piuttosto di realtà ricostruite in base agli interessi specifici degli studiosi e quindi sono il risultato di un processo di semplificazione e di schematizzazione. Di conseguenza, un sistema è un oggetto formale, un prodotto del pensiero ed è in questo senso che si può parlare di "approccio sistemico" alla realtà.

### 2.3 - Teoria, modello e realtà

La definizione più semplice di sistema è dunque quella di "insieme di elementi in interazione" ed il miglior modello sarà quello che consente di rappresentare sia gli elementi del sistema che le loro relazioni: in questo modo, mediante il modello, è possibile studiare il funzionamento del sistema e prevederne nuove proprietà. Per costruire i modelli, i ricercatori ricorrono a "linguaggi" di varia natura: grafica (schemi e disegni), matematica, discorsiva (proposizioni costituite da parole). Tra questi, il linguaggio discorsivo è senz'altro il meno utilizzato nella modellizzazione dei sistemi reali e questo per due motivi: perché non consente di darne una buona rappresentazione spaziale e di metterne in evidenza le interazioni; per la mancanza di rigore dei termini e della sintassi (a differenza del linguaggio matematico). Il linguaggio grafico è largamente usato nelle attività di modellizzazione sistemica nell'ambito delle scienze sperimentali.

E' evidente che un modello ed il sistema concreto, empirico al quale si riferisce presentano somiglianze, anche se gli elementi che li costituiscono sono diversi, ed è questa la ragione per cui si dice che un modello è un sistema "isomorfo" di un determinato sistema empirico, o che le strutture del modello e del sistema empirico sono isomorfe. Il termine "isomorfo" sta ad indicare che i due sistemi hanno struttura simile, ma non uguale (sarebbero allora "omomorfi"), in quanto

un modello sarà sempre un sistema più semplice di quello rappresentato (empirico) del quale si limita a riprodurre la struttura.

Possiamo quindi dare la seguente definizione di modello:

un "modello" è uno strumento teorico funzionale che consente di rappresentare, mediante un determinato linguaggio, un sistema reale, cioè una porzione limitata del mondo quale è vista da un ricercatore che se ne sta interessando, nonché di studiarne e prevederne il comportamento.

Due sono gli aspetti del modello che dobbiamo tenere ben presenti:

1) La sua "natura eterogenea" rispetto alla situazione sperimentale considerata: una cosa è la porzione di realtà oggetto di studio ed un'altra cosa è la rappresentazione di questa mediante il modello.

2) Il suo "carattere locale", legato al fatto che il modello si riferisce ad una porzione limitata della realtà, ad una serie circoscritta di fenomeni: è questo carattere locale che distingue il modello dalla teoria.

Nella fig. 1 sono schematizzate le relazioni tra teoria, modello e realtà.

essere in contraddizione con la teoria, ma può arrestarsi ad un livello di formulazione meno complesso, più semplice. La conoscenza scientifica è dunque il prodotto di un'attività mentale che si esplica attraverso tre livelli che sono tra loro in relazione: teoria, modello e campo empirico o sperimentale. Di norma si pensa che la teoria sia ricavata per induzione dai fatti sperimentali, ma gli epistemologi contemporanei hanno definitivamente messo in crisi questa concezione empirista della conoscenza scientifica. I fatti sperimentali vengono scelti in funzione dell'interesse del ricercatore e quindi degli scopi che questi persegue, in base ai quali delimita il proprio campo empirico di riferimento. La teoria è di natura congetturale, ipotetica in quanto è un'invenzione, un prodotto dell'intelletto nel tentativo di interpretare e comprendere la realtà e quindi deve essere validata, valutando il suo potere interpretativo (fatti già noti) e predittivo (fatti non ancora noti, costruibili in laboratorio). Del modello viene valutata l'adeguatezza al campo empirico di riferimento fissato, per cui si possono avere modelli più o meno complessi a seconda delle situazioni

e dei fenomeni che il modello deve rappresentare e/o interpretare.

### 3 - TIPI DI MODELLI

Walliser [5] propone di distinguere due tipi di modelli: "fisici"; "simbolici" o "formalizzati".

#### 3.1 - Modelli fisici

Appartengono ai modelli di tipo fisico tutte le figurazioni o riproduzioni di sistemi concreti o empirici (parti limitate della realtà), usate in genere per

acquisire o affinare la conoscenza di questi. Tali modelli possono essere distinti in "omotetici" e "analogici".

i) Modelli omotetici

Si dicono omotetici quei modelli nei

quali esiste una corrispondenza biunivoca tra gli elementi costitutivi del sistema empirico e quelli del modello, disposti in modo da occupare la stessa posizione nel primo e nel secondo. Tali modelli vengono distinti in "modelli descrittivi" e "modelli immagine". Un tipico modello descrittivo è un "plastico": oggetto concreto che riproduce, in modo semplificato ed in dimensioni ridotte, un sistema materiale, cioè un oggetto o un processo (meccanico, termodinamico, acustico, ecc.). Il plastico deve essere fisicamente simile al sistema che riproduce, mentre non è sempre necessario che ne sia una riproduzione in scala.

Nella categoria dei modelli omotetici troviamo anche i "modelli immagine". Si tratta, in genere, di modelli di oggetti non percettibili dei quali danno una "rappresentazione" che è ben lungi dall'essere una "descrizione", anche se si presenta come una copia fortemente ingrandita del sistema che si suppone sia reale. Un esempio classico di modello immagine è il modello planetario dell'atomo che è la rappresentazione del sistema "atomo quantico" di Bohr.

Accanto ai modelli che sono descrizioni o rappresentazioni della realtà, esistono quelli che ne sono trascrizioni astratte, come i modelli "analogici" e quelli "simbolici".

ii) Modelli analogici

Il modello analogico è completamente diverso dal sistema modellizzato (per esempio, il modello idraulico di un sistema elettrico), tale però da riprodurre le stesse relazioni che definiscono il comportamento di quest'ultimo. Si ricercano allora corrispondenze analogiche (ossia somiglianze) tra due sistemi reali, dei quali l'uno sia conosciuto, al fine di comprendere (ricerca) o di far comprendere (insegnamento) le proprietà di un certo settore della realtà accostandolo ad un altro, con il quale il primo presenta una somiglianza parziale.

#### 3.2 - Modelli simbolici

Il modello simbolico traduce un sistema reale in un linguaggio formalizzato più o meno astratto che può essere definito un sistema coerente e strutturato di concetti legati tra di loro da un insieme di regole organizzative chiamate "regole sintattiche" che sono proprie e caratteristiche di ogni linguaggio. Come già abbiamo ri-

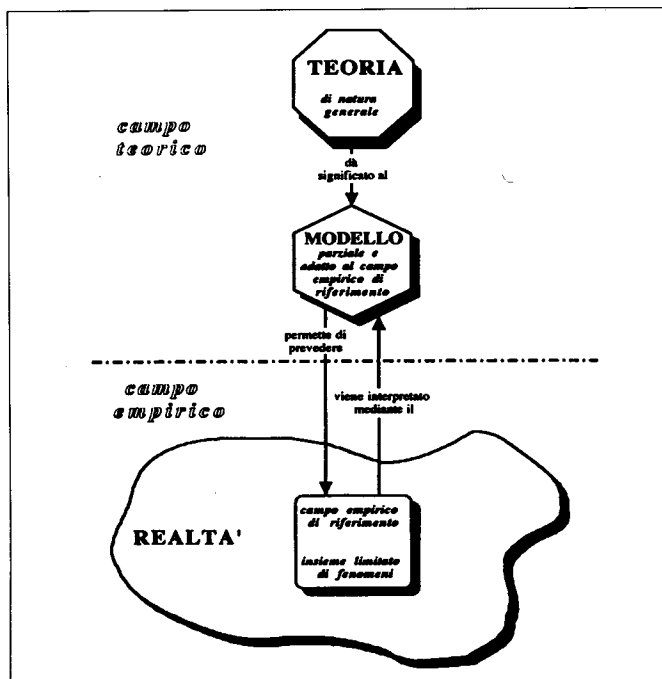


Fig. 1 - Il modello come confronto fra teoria e dati empirici

Come si vede, mentre la teoria ha un carattere molto generale, il modello copre un campo empirico limitato. Possiamo dire che il modello si presenta come uno strumento teorico-figurativo che consente di mettere a confronto dati empirici e teoria. Naturalmente il modello non deve

cordato, la modellizzazione ricorre a tre tipi di linguaggio (7):

- Il linguaggio discorsivo che può essere letterario (le lingue nazionali e locali), tecnico o informatico.

- Il linguaggio grafico che ricorre a simboli iconici per produrre strutture tipo tabelle, curve, diagrammi, disegni, schemi, ecc...

- Il linguaggio logico-matematico costituito da simboli astratti.

Tra i modelli simbolici costruiti usando linguaggi grafici troviamo le curve (per esempio, le curve di titolazione) ed i diagrammi (per esempio, i diagrammi di stato) di cui un esempio, il diagramma di stato dell'acqua, è riportato in fig. 2. E' un modello simbolico anche quello matematico, costituito da relazioni quantitative che descrivono in modo formale un gruppo di fenomeni. Queste relazioni sono le "leggi" nelle quali figurano gli elementi quantificabili del modello. L'elaborazione di un modello matematico consente di porre in relazione certi fattori ai quali i ricercatori possono far assumere valori differenti nel corso delle sperimentazioni. In questo modo, è possibile mettere in luce l'eventuale influenza di nuovi fattori (nuove variabili) che possono portare a modificare il modello. E' dall'arricchimento che si produce in questo passaggio continuo dall'astratto al concreto che si giudica la validità di un modello matematico.

E' evidente che un modello, in quanto costruzione concettuale riferita ad un sistema reale o supposto reale, non può essere né vero né falso; può essere più o meno adeguato, in relazione agli scopi per i quali viene elaborato.

#### 4 - LE ATTIVITA' DI MODELLIZZAZIONE

Un modello deve essere costruito e validato. Ciò avviene nell'ambito di un pro-

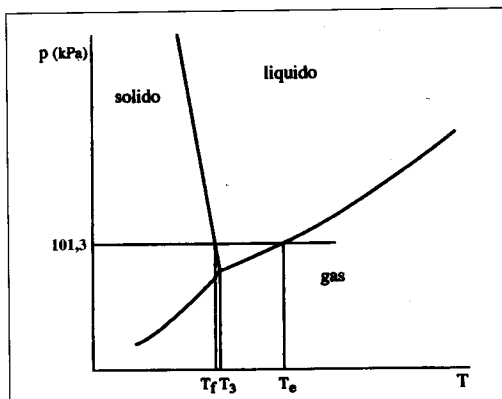


Fig. 2 - Diagramma di stato dell'acqua

cesso progressivo nel corso del quale si procede prima all'elaborazione del modello nel campo teorico, a partire dalle conoscenze disponibili, e quindi anche quelle di senso comune; in seguito si passa al campo empirico dove si cerca la validazione del modello. In altre parole, si verifica se le previsioni avanzate in base alle caratteristiche del modello ipotizzato, trovano riscontro nei fenomeni empirici. A questo punto, può risultare necessario modificare il primo modello ed allora si riprende il procedimento. Si tratta quindi di un procedimento iterativo che, secondo Walliser, comprende quattro fasi (fig. 3):

1 - "DEDUZIONE": dalla teoria disponibile (anche di senso comune) si deduce un modello ipotetico, riferito ad un certo campo empirico, quello delimitato dai fenomeni che si vogliono prendere in considerazione.

2 - "PREVISIONE": basandosi sul modello ipotetico, si prevede che un certo fenomeno si produca in un certo modo e/o che una certa variabile assuma un certo valore.

3 - "INTEGRAZIONE": le osservazioni e/o le misure effettuate a livello empirico vengono integrate nel (al?) modello ipotetico, in modo di pervenire ad un modello "validato".

"4 - "INDUZIONE": l'analisi delle eventuali discordanze tra previsioni e dati sperimentali porta a inferire le modifiche da apportare al modello oppure alla teoria sulla quale si innesta il modello ipotetico, oppure ancora mette in evidenza la necessità di elaborare una nuova teoria.

"La costruzione e la validazione di un modello avviene con procedimento ciclico di questo tipo, il cui punto di partenza è arbitrario e che consiste in una serie di va e vieni tra due livelli: quello ipotetico del modello e quello empirico dei test di validazione. Esistono quindi delle regole di corrispondenza, alle quali si dà il nome di dizionario o di relazioni semantiche: il primo nome è stato scelto per analogia con le regole di traduzione tra lingue diverse. Esistono poi anche delle regole sintattiche che sono interne al modello, come una sintassi è interna ad una certa lingua.

"Si deve sottolineare che le attività di modellizzazione non sono necessariamente indirizzate a costruire

modelli che siano pertinenti con le teorie scientifiche accettate dalla comunità dei ricercatori. Nella scuola dell'obbligo, le attività di costruzione e di validazione di modelli devono essere attività intellettuali vere e proprie, anche se parziali, messe in atto dagli allievi per dare risposta a situazioni problematiche, unendo osservazione critica e sperimentazione a ragionamenti logici. Nulla vieta di costruire modelli semplici, approssimati, a volte coincidenti con quelli che effettivamente gli scienziati hanno utilizzato nel processo storico di sviluppo di un particolare settore scientifico. Mettere a punto un modello adeguato per un certo tipo di referente empirico e poi modificarlo, senza contraddirlo, per adeguarlo a sistemi più complessi è un'attività altamente educativa. Essa infatti rende concretamente conto della natura dei modelli in quanto oggetti costruiti dalla mente per "mettere ordine" nei sistemi empirici.

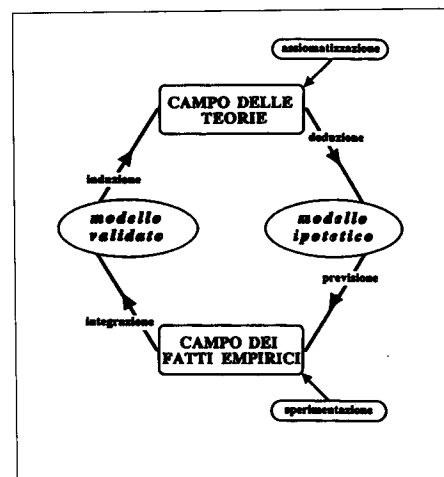


Fig. 3 - Le fasi della modellizzazione

Lavoro eseguito con il contributo finanziario del MURST (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica). Fondi 40%, progetto: Insegnamento e apprendimento della chimica.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Durand, La systemique, PUF, Paris, 1979.
- [2] P. Rossi, I ragni e le formiche, Il Mulino, Bologna, 1986.
- [3] A. Duro, Immagini e ritmi - Elementi di stilistica e metrica, Perrella, Roma, 1953.
- [4] C. Tarsitani, Le immagini ed i significati, Epsilon, n.15, 1993.
- [5] B. Walliser, Systèmes et modèles, Seuil, Paris, 1977.