

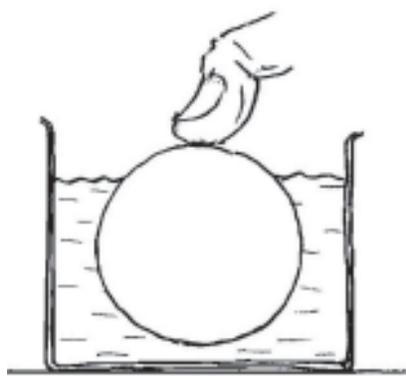


Per una educazione scientifica di base

Collana di testi e strumenti di lavoro  
per l'insegnamento scientifico  
dalla scuola elementare al biennio della superiore

Maria Arcà, Paolo Guidoni

## Guardare per sistemi, guardare per variabili



AIF Editore  
Contributo della legge 6/2000

Maria Arcà, Paolo Guidoni *Guardare per sistemi, guardare per variabili*  
supplemento al Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della  
Fisica n. 2, aprile-giugno 2008

*Direttore Responsabile*

Rita Serafini

*Gruppo redazionale*

Rita Serafini (*Caporedattore*)

Germano Bellisola, Brunella Danesi, Riccardo Govoni, Anna Maria Mancini,  
Vincenzo Terreni

*Direzione*

Dipartimento di Fisica dell'Università - 41100 Modena

Periodico trimestrale registrato dal Tribunale di Modena con atto n. 540 del 29-1-1973

*Stampa*

Monotipia Cremonese s.n.c. - Via Costone di Mezzo, 19 - 26100 Cremona

*Tariffa Associazione Senza Fini di Lucro*

“Poste Italiane s.p.a. - Spedizione in abbonamento postale -

D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1, comma 2, DCB (Cremona)”

*In copertina*

L'immagine è tratta dalle illustrazioni di corredo al testo



Per una educazione scientifica di base

*Costo*

Per l'Italia 10,00 euro; per l'estero 15,00 euro più spese di spedizione

Tutti i diritti sono riservati, nessuna parte di questa pubblicazione può essere tradotta,  
riprodotta, copiata o trasmessa senza l'autorizzazione dell'Editore.

Periodico iscritto all'Unione Stampa Periodica Italiana

Notizie sull'attività dell'AIF si possono trovare in rete all'indirizzo: [www.aif.it](http://www.aif.it)

# Indice

4	<b>Indice</b>
7	<b>Prefazione</b>
9	<b>Presentazione</b>
12	<b>Introduzione</b>
15	<b>Capitolo 1 Sistemi, classi, variabili</b>
15	1.1. Sistemi e variabili
16	1.2. I modi di guardare
17	1.3. I nomi degli oggetti e dei fenomeni
20	1.4. Schematizzare per riconoscere
21	1.5. L'ombra nella nebbia
21	1.6. Fenomeni e processi
24	1.7. I sistemi
26	1.8. Relazioni tra sistemi
27	1.9. Forme di sistemi
28	1.10. Caratteristiche per classificare e variabili per ordinare
30	1.11. Differenze e cambiamenti
33	1.12. Le variabili
34	1.13. Confronti per variabili
35	1.14. Variabili intensive e variabili estensive
37	1.15. Variabili complesse e classificazione
38	1.16. Strategie per interpretare il cambiamento
43	1.17. Come si impara a capire
44	<b>Capitolo 2 I primi discorsi di Biologia</b>
44	2.1. Il mondo dei viventi
45	2.2. Sviluppo, crescita, cambiamento
46	2.3. Interazioni tra sistemi
47	2.4. Adattamenti e invarianze
48	2.5. In classe
49	Il tronchetto della felicità: ma da dove usciranno le foglie?
50	I topi neri e i topi grigi: chi sono, che fanno?
52	La pala di fico d'India secca
52	Il cordone delle uova di rospo: cosa è?
53	Come sono cambiate le uova
53	La storia del girino
55	L'insetto che si vede sulla finestra
56	Lo sviluppo e il cambiamento: aspettando i pulcini
57	Nell'uovo
58	Siamo sicuri che è Cipi?

<b>59</b>	<b>Capitolo 3 La logica della misura</b>
59	3.1. La logica del confronto
60	3.2. Numeri e variabili
61	3.3. Le variabili estensive
64	3.4. Le variabili intensive; scale e trasduzioni
65	3.5. Trasduzione e linearità
67	3.6. Variabili complesse
<b>68</b>	<b>Capitolo 4 Stare in equilibrio: il galleggiamento</b>
68	4.1. Galleggiare e andare a fondo: i sistemi liquidi
70	4.2. A galla e a fondo: modi per classificare e per ordinare
72	4.3. Una variabile per spiegare
73	4.4. Costruendo la proporzione
75	4.5. Pesì con un volume, volumi con un peso
81	4.6. Un modello a contrappesi
83	4.7. I giochi del galleggiamento: come cominciare
84	La mano nell'acqua
84	Chi va su e chi va giù
85	Tappi e bulloni
87	Tappi e chiodi
88	Bocchette e chiodi
90	4.8. Ma cosa fa l'aria?
<b>91</b>	<b>Capitolo 5 Regole per gli equilibri statici: pesi e tavolette</b>
91	5.1. Le regole dello star pari
93	5.2. Equilibrio e simmetria
94	5.3. Dall'effetto del peso alle variabili per l'equilibrio
95	5.4. Strategie di numeri interi
96	5.5. Il punto di appoggio
97	5.6. Costruendo la proporzione
103	5.7. L'equilibrio come "zero"
105	5.8. Strumenti per pesare
107	5.9. Osservazioni sul peso
108	5.10. Effetto del volume - effetto del peso
111	5.11. Equilibri tra volumi
113	5.12. La strategia dei fattori di correzione
115	5.13. Ancora il peso specifico
<b>117</b>	<b>Capitolo 6 La ricostruzione cognitiva dei fatti</b>
<b>121</b>	<b>Capitolo 7 Sistemi in equilibrio e variabili di equilibrio.</b>
	<b>Gli equilibri stazionari</b>
121	7.1. Classi di stati
121	7.2. Cosa succede a una pentola sul fuoco?

123	7.3. I cambiamenti nel tempo
125	7.4. Le variabili
127	7.5. Relazioni tra variabili
130	7.6. I grafici
137	7.7. Riscaldamento e ebollizione
138	7.8. Il confronto fra gli stati stazionari
140	7.9. Gli equilibri: osservazioni conclusive

## **146   Capitolo 8   La complessità dei sistemi**

146	8.1. Guardare per sistemi
147	8.2. Scambi, flussi, equilibri
148	8.3. Macchine, organismi e ambienti
149	8.4. Interazioni specifiche
150	8.5. Individui e specie, sviluppo e evoluzione: una parentesi
153	8.6. Strutture e funzioni di interfaccia e controllo
156	8.7. Una caratteristica del sistema vivente: l'omeostasi
159	8.8. Meccanismi di segnalazione, elaborazione e controllo
161	8.9. Recettori, trasduttori e controllori di variabili
163	Il corpo, il cervello, gli occhi...
164	8.10. Modalità di controllo: soglie e saturazioni
165	8.11. Feedback e correlazioni
169	8.12. I modi della trasduzione e del controllo
171	8.13. Per insegnare biologia

## **175   Capitolo 9   La formalizzazione**

175	9.1. Date forma al mondo
177	9.2. Le rappresentazioni
180	9.3. Variabili e spazio
180	9.4. Una variabile - una linea
182	9.5. I problemi della metafora spaziale
184	9.6. Due variabili - due linee
187	9.7. Punto, linea, superficie
192	9.8. Lo spazio geometrico
196	9.9. Lo spazio astratto
202	9.10. Se c'è di mezzo il tempo
205	9.11. Intrecci fra variabili

## **208   Pubblicazioni degli Autori**

**209   Maria Arcà, Paolo Guidoni**

**210   Bibliografia ragionata**

## Prefazione

Il nostro sembra essere un Paese senza memoria, un Paese in cui periodicamente si riaffacciano all'attenzione problemi non risolti che, per il solo fatto di parlarne, sembra si avvicinino a trovare una soluzione che però anno dopo anno non arriva. Una riflessione su dove sta andando il nostro sistema formativo, dalla scuola per l'infanzia all'Università, è indispensabile e urgente perché la formazione culturale delle nuove generazioni è il tema che precede ogni altro. In assenza di un sistema formativo solido ed omogeneo nella sua efficacia e diffusione non è possibile programmare un futuro di sviluppo per l'Italia. In questi anni la scuola e l'Università hanno attraversato un periodo particolarmente convulso a causa di interventi riformatori non sempre lineari e compiuti. Questo ha generato disorientamento e sconforto non solo nei giovani che hanno iniziato i loro studi, ma anche nelle famiglie, nei cittadini e negli stessi insegnanti della scuola e dell'Università. L'aspetto che colpisce di più del nostro sistema formativo è la difficoltà ad insegnare ed apprendere le Scienze sperimentali.

Questa difficoltà si incontra al primo ingresso nella scuola anche a causa della formazione dei docenti della scuola primaria di tipo prevalentemente pedagogico lasciando la costruzione e il consolidamento delle competenze scientifiche di base in una posizione di scarso rilievo. Da questo scaturisce un progressivo allontanamento dalle Scienze da parte di molti studenti che pur avevano iniziato il loro cammino scolastico manifestando curiosità e interesse per le Scienze.

Il lavoro che proponiamo, *Guardare per sistemi, guardare per variabili*, ha una storia lunga, è stato pubblicato dalle Edizioni Emme della Petrini Junior per la prima volta nel 1987 insieme ad altri titoli rivolti a docenti di Scienze sperimentali di ogni scuola, con una attenzione particolare a quelli della scuola elementare. Il testo ha avuto una buona diffusione fino all'esaurimento delle scorte, ma l'Editore non ha manifestato l'intenzione di procedere alla ristampa. Crediamo di fare un servizio alla cultura e alla scuola rimettendo a disposizione dei docenti italiani questa pubblicazione che rappresenta in modo esemplare non solo un percorso di conoscenza rigoroso e approfondito, ma un esempio concreto di come si possa far scuola e insegnare Scienze in modo diretto ed efficace senza bisogno di attrezzature complicate e costose, partendo dall'osservazione e dalla sperimentazione diretta. Per insegnare ed imparare le Scienze occorre partire dalla Natura con scolari e studenti protagonisti di una avventura di ricerca che non dovrà mai essere noiosa né deludente. Il tentativo di riempire la testa dei giovani con risposte a domande che non si sarebbero mai posti è ormai chiaramente fallito: non si acquista conoscenza e si favorisce l'allontanamento dalla Scienza.

Dobbiamo ringraziare proprio i risultati negativi ottenuti dai nostri giovani nelle prove internazionali a cui sono stati sottoposti nei test OCSE - PISA che hanno posto sotto gli occhi di tutti la difficile situazione in cui versa l'insegnamento nella nostra scuola. Gli stessi dati tuttavia mostrano anche che il livello qualitativo dei nostri studenti presenta situazioni di grave ritardo insieme ad aree in cui si riescono ad ottenere stabilmente risultati incoraggianti. Da alcuni anni inoltre sono partite varie iniziative dal Ministero, sollecitate dalle Associazioni professionali dei docenti e dalla Confin-

dustria, volte a potenziare l'insegnamento delle Scienze sperimentali e della Matematica e a rendere più appetibili gli studi universitari di tipo scientifico.

Con questo primo volume intendiamo iniziare una operazione che ci auguriamo serva a fornire ai docenti di Scienze sperimentali -dalla scuola elementare al biennio delle superiori- degli strumenti di studio e di lavoro altamente selezionati che li aiutino nel lavoro di ogni giorno senza perdere di vista gli obiettivi formativi di lungo periodo.

Il Gruppo promotore di questa iniziativa ha intenzione di procedere annualmente alla pubblicazione di tre o quattro volumi che propongano percorsi didattici coerenti e motivati e/o riflessioni teoriche; vuole inoltre mettere a disposizione dei colleghi spazi di discussione per fare il punto sulla situazione ed esaminare novità e proposte che emergono nel nostro Paese e nel Mondo. Questa iniziativa nasce dalla speranza di far partire una riflessione di grande respiro che coinvolga i molti docenti impegnati nella ricerca, spesso solitaria e faticosa, di trovare la strada giusta per mantenere alta l'attenzione e interesse dei loro allievi per guidarli alla conoscenza dei fenomeni naturali.

Vogliamo contribuire ad avviare un processo di lungo periodo che consenta ai docenti di sviluppare la propria professionalità utilizzando strumenti messi a punto dalla ricerca didattica ormai da lungo tempo.

È certo che si tratta di un percorso senz'altro difficile e rischioso ma è anche l'unico.

*Comitato per l'Educazione Scientifica di Base*

## Presentazione <sup>1</sup>

L'educazione scientifica di base, cioè la formazione e l'organizzazione delle conoscenze e dei modi di pensare sui fatti di realtà nell'ambito della scuola dell'obbligo, ha assunto nel corso degli ultimi anni un ruolo sempre più centrale nella progettazione e nella pratica educativa. Ci si rende sempre più conto, infatti, di quanto la capacità di mobilitare, coordinare e sviluppare le dimensioni cognitive necessarie alla comprensione dei fatti naturali di ogni tipo, costituisca da un lato una componente culturale autonoma e insostituibile; da un altro, un potente e continuo stimolo e supporto alla costruzione di conoscenza individuale; e, infine, un urgente obiettivo sociale nel rendere le persone più capaci di gestire operativamente, piuttosto che subire, la complessità e variabilità del mondo reale. Espressioni diverse di questa crescente consapevolezza non sono mancate in Italia: anche se, più volte, la carenza di una cultura scientifica di base nella maggioranza dei cittadini, e quindi degli insegnanti e dei legislatori, ha portato (e porta) a sviluppi e sbocchi ambigui e contraddittori.

...

...l'educazione scientifica di base è da tempo caratterizzata, da una notevole quantità di sforzi sul piano sia della sperimentazione autonoma (da parte di insegnanti, singoli o a gruppi) sia della ricerca, per lo più appoggiata a piccoli gruppi di universitari. Molti di questi sforzi possono essere accomunati dalla ricchezza dei risultati ottenuti; dalla loro sostanziale episodicità (temporale, spaziale, di argomento); dalla mancanza di efficace comunicazione e scambio (aggiornamenti, incontri e convegni di ogni tipo non sono risultati adatti né sufficienti ad innescare processi di sviluppo coerente); da una sistematica ostilità da parte della struttura burocratico-organizzativa (scolastica e universitaria), che a lungo si è rifiutata sia di sostenere adeguatamente tali sforzi (selezionandoli, indirizzandoli, finanziandoli), sia di diffonderne le acquisizioni, e utilizzarne le indicazioni.

...

La costruzione iniziale di ogni proposta di lavoro, la sua sperimentazione in classe, la sua riorganizzazione e presentazione finale è sempre appoggiata ad una stretta collaborazione fra "esperti" universitari di vari settori disciplinari ed insegnanti, gli uni e gli altri impegnati in un lavoro di ricerca sulla comprensione e la didattica di argomenti di scienze. Questo significa che, da un lato, le varie proposte sono state messe a punto attraverso un'interazione pluriennale -spesso difficile, sempre feconda- fra ragazzi, insegnanti e ricercatori: dall'altro, che si è cercato di renderne la presentazione il più possibile autonoma dal contesto particolare in cui esse si sono sviluppate, e quindi più facilmente utilizzabile da altri insegnanti impegnati nel cambiamento didattico.

Tutte le proposte investono un'area di esperienza fenomenologica, conoscenza scientifica, rappresentazione ed espressione abbastanza vasta; tutte cercano di mostrare, al loro interno, tracce e modalità di percorsi possibili, con livelli di specificità e generalità assai diversi. In ogni caso, tuttavia, rimane la necessità che tali percorsi vengano specificamente definiti e concretizzati attraverso il lavoro quotidiano degli insegnanti, diventando così reali percorsi di crescita di conoscenza per ragazzi di

condizioni culturali e ambientali differenti. Per questo motivo tutte le proposte sono rivolte agli insegnanti, e ne sollecitano e investono la professionalità di mediatori creativi di trasmissione culturale. In particolare, tutte le proposte sottolineano (ciascuna in modi diversi, più o meno diretti o impliciti) quattro aspetti dell'insegnamento la cui integrazione sembra indispensabile perché si possa insegnare, e si possa imparare, con significato:

Competenza pedagogica differenziata: è necessario non solo saper "stare" con i ragazzi -o, più banalmente, saperli "tenere"- è necessario imparare a farlo in modi che siano adatti a definire e chiarire cosa si sta facendo, e perché, e come lo si può fare. Non può esistere una pedagogia (né una programmazione, né una valutazione...) indifferenziata: servono modi di gestire l'interazione fra le persone, e fra le persone e le cose, adatti agli obiettivi che di volta in volta ci si propone di conseguire; non si può "fare" la biologia come la fisica, la fisica come la matematica, le scienze come la grammatica, e così via; non si può gestire allo stesso modo con i ragazzi un argomento da iniziare o un argomento da approfondire.

Competenza disciplinare differenziata e integrata: è necessario, per costruire nei ragazzi atteggiamenti positivi riguardo alla conoscenza del mondo (alle scienze), che l'insegnante abbia, e soprattutto sia disponibile ad acquisire, una "conoscenza del mondo" riguardo agli argomenti trattati che abbia spessore e significato culturale anche al di là delle immediate utilizzazioni in classe. Questo non implica (soltanto) conoscenza di schemi disciplinari garantiti da un manuale (spesso incapaci di presa su come di fatto "vanno le cose"); né (soltanto) padronanza di schemi di attività, garantiti da successo sul piano della motivazione (spesso incapaci di far vedere cosa c'è di generale "dietro" le sequenze di fatti e operazioni; né infine (soltanto) analisi statistica di test oggettivi (al posto di attività, discussioni, interpretazioni). Significa, nello spirito in cui queste guide sono scritte, porsi in posizione di mediazione attiva sostanzialmente unitaria nei modi e negli scopi per tutta la scuola di base -fra come vanno le cose, come le pensa e le vede il ragazzo, come le ristruttura operativamente e concettualmente la cultura adulta.

Competenza di programmazione e strutturazione dell'intervento didattico e dell'attività di classe: sulla base di quanto detto nei punti precedenti, i percorsi di crescita di conoscenza attraverso l'interazione (adulto - ragazzo - mondo dei fatti - mondo delle spiegazioni) devono materializzarsi in strutture e sequenze di cose da dire, da far succedere, da vedere ... da ricordare. Anche in questo caso, se vengono suggeriti vari modi possibili di organizzare l'iter didattico, resta ineliminabile la responsabilità dell'insegnante nel progettare, sulla base delle condizioni oggettive in cui si trova, cosa e come fare per realizzare il percorso suggerito; nell'aggiustare continuamente il progetto sulla base di quello che, di fatto, in classe succede.

Competenza di "ascolto" -in senso lato- nei confronti dei ragazzi: la ricerca, l'esperienza indicano questo aspetto come determinante per l'esito dell'intervento didattico. È infatti indispensabile per l'insegnante sapere quali sono le perplessità, i dubbi, le sicurezze evocate dall'argomento intorno a cui si lavora; sapere cosa i ragazzi pensano e fanno (ciascuno a suo modo) e come essi cambiano (o non cambiano - ciascuno a

suo modo) il loro sapere nel corso del tempo. Ed è altrettanto indispensabile per i ragazzi poter constatare (ascoltare ... vedere ...) che gli altri ragazzi non “sanno” esattamente le stesse cose, e che la discussione e il cambiamento a partire dalle diversità sono possibili, e utili.

(Naturalmente, gli esempi più o meno ampi di cose dette e fatte dai ragazzi riportati nelle proposte non sono da intendersi come modelli da riprodurre, ma come suggerimenti per interpretare e valorizzare quello che normalmente accade in classe). Tutte le proposte di lavoro si riferiscono, deliberatamente, a tipi di fatti e fenomeni molto comuni nella vita quotidiana di ognuno: tutte concordano nel sottolineare che l'educazione scientifica, responsabile non solo di porre le basi della conoscenza del mondo ma anche di costruirne i significati, non può che partire da una analisi di evidenze dirette. D'altra parte è ovvio che non si può, a scuola, ricostruire collettivamente e razionalmente la conoscenza su “tutto”: perciò le proposte, tutte, possono acquistare nella loro realizzazione un valore emblematico - approdando, sostanzialmente, non solo a sapere meglio certe determinate cose, ma anche a sapere “cosa vuol dire sapere le cose”. Se un approccio di questo genere ha successo, deve diventare possibile acquisire molte altre conoscenze in maniera assai più rapida (dalla semplice lettura e discussione di libri, per esempio) ma altrettanto significativa.

...

Resterebbe da affrontare il complesso problema della “valutazione”: come giudicare la validità delle proposte, della loro gestione da parte dell'insegnante, delle sollecitazioni al lavoro di classe che ne possono derivare, della loro appropriazione e rielaborazione individuale. A questo aspetto gli insegnanti sono giustamente sensibili e su di esso ricercatori con diversa competenza ed esperienza sono, non a caso, discordi. Sembra tuttavia che si possa trarre dall'insieme di queste proposte una indicazione comune: che la valutazione, in tutti i suoi aspetti, non può che essere strettamente intrecciata alla progettazione e allo sviluppo del lavoro, organizzata, nello scopo nel modo e nei mezzi, in connessione a quello che giorno per giorno, anno per anno, in classe si cerca di far succedere, e di fatto succede. Se però non può esistere una prassi universale di valutazione, buona per tutti i contenuti e metodi di lavoro didattico, certamente servono criteri per capire l'efficacia di quello che si fa, e si potrebbe fare. È possibile, determinando obiettivi complessivi da raggiungere attraverso percorsi a lungo termine, scandire obiettivi parziali di comprensione, di conoscenza, di attivazione di abilità che possono essere realizzati e verificati lungo il percorso, tenendo conto dei fatti come sono, e dei ragazzi come sono.

Forse, è troppo poco come indicazione concreta, ma anche questo, come tutti gli altri, è solo un discorso per cominciare.

Ottobre 1986

*Paolo Guidoni*

<sup>1</sup> Riproponiamo la Prefazione originale, pur eliminando alcuni passaggi, nella convinzione che alcune questioni affrontate siano ancora attuali e, purtroppo, irrisolte. [N.d.R.]

# Introduzione

## **Insegnare**

*Insegnare*, gradualmente, sta cambiando significato: da forma di comunicazione che va in una sola direzione -chi sa spiega o fa vedere a chi non sa- si sta culturalmente trasformando in una forma dialettica di relazione e si considera compito essenziale dell'insegnamento non solo trasmettere contenuti e abilità, ma anche fare in modo che chi impara si appropri del loro significato. Perché *insegnare* acquisti un senso, bisogna dunque cominciare col capire come si fa a capire: per quali strade, con quali connessioni gli eventi e le loro spiegazioni, le evidenze dell'esperienza e le loro rappresentazioni si organizzano in strutture "con significato". In ogni caso l'insegnamento, buono o cattivo che sia, modifica le persone che imparano: ogni "sapere", come ogni modo di sapere, rende diversi; ogni cambiamento delle conoscenze influenza sia ciò che si potrà imparare in seguito sia, a volte, i modi stessi in cui capire diventa possibile. In un certo senso però anche insegnare rende diversi. In particolare, insegnare scienza rende più consapevoli della complessità dei fatti e della difficoltà della loro comprensione; mette in evidenza come quello che si cerca di spiegare a tutti prenda ogni volta, e in ciascuno, una forma diversa: le tante forme di quello che i ragazzi capiscono. E mentre si costruisce conoscenza negli altri, ci si accorge che anche le proprie conoscenze si trasformano e cambiano nello spiegare e nello spiegarsi le cose, nel cercare i modi che incidono più profondamente sulla formazione di chi apprende. E si impara che quello che sembra evidente non è evidente per tutti, che ogni nuova informazione si trasforma entrando a far parte dei diversi patrimoni individuali, che ogni padronanza di nuovi significati è condizionata da precedenti esperienze, che la comunicazione e il linguaggio sono spesso ambigui, che le interpretazioni dei fatti non sempre sono coerentemente organizzate né si trovano facilmente parole adatte a esprimerle.

## **Le conoscenze dei ragazzi**

Insegnare scienza diventa allora una sistematica interazione culturale, che impone un continuo riscontro del capire fra persone diverse, una continua progettazione e preparazione del capire stesso. Bisogna saper immaginare quali sono le difficoltà profonde che i ragazzi incontrano nell'organizzare coerentemente il proprio pensiero e che implicitamente generano molti cattivi apprendimenti. Se insegnare non è facile, capire è difficile: anche perché non esiste un unico modo giusto di conoscere il mondo. Ognuno, di volta in volta, tenta percorsi diversi, capaci di mettere in evidenza particolari aspetti della realtà: finché, in una comprensione più ampia, vari modi si intrecciano e si integrano in una ricostruzione più coerente, più efficacemente finalizzata a uno scopo, comunque sempre suscettibile di essere migliorata. E sempre, in ogni capire, confluiscono approcci analitici e sintetici, per analogia o per inferenza, per continuità o per discretizzazione, per organizzazione numerica o per organizzazione spaziale, spesso difficili da specificare e da gestire soprattutto

davanti a proposte di insegnamento che tendono a cambiare il modo di capire e quindi a rimettere in questione le complesse reti di significato finora costruito.

### **La conoscenza dei fatti**

D'altra parte per insegnare scienza è necessaria una buona conoscenza dei fatti di realtà: bisogna saperli vedere nella forma concreta del loro svolgersi "naturale", e nelle loro potenzialità di ricostruzione astratta; bisogna portare i ragazzi a vederli allo stesso modo e a padroneggiare gli strumenti formali adatti ad interpretarli secondo la cultura adulta. Allo stesso tempo bisogna selezionare, dalla complessità del reale, quello che meglio si presta didatticamente per avviare chi impara ad una autonomia di conoscenza, al piacere di capire, alla soddisfazione di fare un lavoro intelligente e produttivo, motivante e gratificante insieme. Si devono scegliere fatti "emblematici" che permettano di capirne altri ad essi simili, che siano di sostegno per la schematizzazione e la interpretazione di altre situazioni, che si prestino ad aprire problemi e interessi su cui si possa lavorare e discutere in classe. Per insegnare scienze si scelgono così fatti "naturali" adatti ad essere trasformati in fatti "artificiali", riproducibili in laboratorio, in esperimenti, in attività concrete: perché i ragazzi si cimentino con le regole del mondo anche attraverso le difficoltà delle "vere ricostruzioni artificiali", anche attraverso la complessa relazione che lega ogni schematizzazione ai fenomeni rispetto a cui deve risultare significativa.

### **Il curriculum**

La conoscenza del mondo prende lentamente forma nelle persone, si organizza nei diversi "capire" individuali; e attraverso sempre nuove esperienze cambia forma, per accogliere -comprendere- nuovi aspetti di realtà. Ogni modo di insegnare si propone perciò di sviluppare nei ragazzi la conoscenza dei fatti insieme alla capacità di capirne altri. La strada da percorrere è abitualmente indicata dal curriculum didattico che, rivolgendosi di anno in anno a diversi aspetti del reale, propone vari argomenti in un programma strutturato. D'altra parte la traduzione del curricolo in insegnamento richiede di volta in volta un profondo ripensamento sulle attività suggerite: per vederne le potenzialità e i collegamenti, interni e esterni, nella situazione concreta; per strutturare la didattica in maniera né chiusa né ripetitiva. La riflessione sui contenuti curriculari propone quindi ogni volta all'insegnante la necessaria scelta di un proprio piano di lavoro ed è importante saper guardare come in trasparenza i diversi argomenti per immaginarne le trame e gli sviluppi, la ricchezza o i limiti.

### **Questa proposta**

I diversi aspetti di *insegnare*, conoscitivi didattici e curriculari, vorrebbero essere contemporaneamente presenti in questo libro, attraverso l'articolazione dei diversi temi. Si è cercato infatti di individuare in ogni argomento proposto le potenzialità di sviluppo di conoscenza che vi sono implicite, le radici sotterranee con cui affonda nella esperienza comune, le tracce per una rielaborazione curricolare; si è cercato di discutere gli aspetti di evidenza fenomenologica (i fatti come vanno, gli esperimenti

che si fanno per capirli) alla luce sia delle spiegazioni che comunemente si sentono dare dai ragazzi sia delle possibilità di rielaborazione formalizzata dei fatti stessi. Non proponiamo quindi una serie di itinerari didattici sistematici; piuttosto, un invito ad affrontare a fondo difficoltà e problemi connessi alla comprensione di alcuni argomenti di Fisica, di Biologia e di Matematica che fanno parte dell'abituale curriculum di scienze nella scuola di base, dalla scuola dell'infanzia alla scuola media. I modi di guardare e spiegare caratteristici delle varie discipline fanno da necessario sfondo: ognuno con sue specificità e suoi strumenti particolari. Tuttavia i diversi saperi specializzati si differenziano gradualmente a partire da strutture di conoscenza profonde che ne costituiscono la base comune: e iniziano a prendere forma, per ciascuno, anche nei modi in cui bambini piccoli discutono tra loro e con i loro insegnanti mentre pensano e parlano sulle cose che succedono e che si fanno succedere. Questo libro, dunque, riguarda i modi di organizzare, attraverso i vari argomenti trattati, un significato delle conoscenze; è un tentativo di contribuire a un capire consapevole che renda più vivi, meno episodici, meglio correlati i diversi aspetti del mondo reale. Abbiamo così cercato di mettere in evidenza, a volte più minuziosamente a volte meno, i processi attraverso cui si può giungere dai fatti a una loro ricostruzione "scientifica" schematica simbolica e formale: i processi secondo cui le cose accadono, insieme a quelli secondo cui le cose si possono capire. Facendo questo emergono percorsi possibili, non itinerari rigidi, suggerimenti di cose da fare, uniti a suggerimenti per interpretare quello che avviene in classe. Non abbiamo indicato specifici obiettivi da raggiungere, né prodotti-risultato per i diversi intervalli di età: la conoscenza "scientifica" del mondo è in sé un processo aperto, in cui ognuno trova, secondo i propri scopi e le proprie possibilità, il limite della propria ricerca; e ogni fatto conosciuto sempre invita a nuove domande, a nuove modellizzazioni, a nuove analogie, a nuove correlazioni con altri fatti. E se certe cose si possono cominciare a capire anche molto presto (a scuola dell'infanzia o, relativamente tardi, nella scuola media) sembra importante non dimenticare la necessità e il diritto dei bambini di arrivare a capire; sembra importante che a qualunque livello della scuola di base un insegnante padroneggi nella loro completezza alcuni degli itinerari attraverso cui si può costruire conoscenza fra 4 e 14 anni. Questo libro si rivolge quindi ad insegnanti a cui piace insegnare nonostante le difficoltà del lavoro quotidiano, ad insegnanti che considerano indispensabile per la propria professionalità evitare a sé e ai ragazzi il condizionamento delle linee di lavoro costrittive, a chi ha piacere ad esplorare, in autonomia, la ricchezza di conoscenza e di significato che le cose che succedono offrono a chi le guarda con interesse.

## Capitolo 1

### Sistemi, classi, variabili

#### 1.1. Sistemi e variabili

I giorni passano, l'uno uguale all'altro e tutti diversi... si fanno sempre le stesse cose e mai le stesse.... si cresce, si invecchia, si cambia... (si vive), si cambia posto (si va), si cambia tempo (si aspetta), si cambia modo (si prova)... si imparano cose nuove che qualcun altro sapeva già... si fanno nuove esperienze su cose che sono sempre andate allo stesso modo.

Viviamo totalmente immersi in un flusso di eventi: di alcuni sentiamo parlare, altri ci succedono intorno, succedono a noi, vi partecipiamo; eventi che a volte si ripetono più o meno uguali, che altre volte sono per noi più o meno “nuovi”.

Gli oggetti, gli spazi, le persone costituiscono lo sfondo multiforme contro cui si stagliano le nostre azioni, la nostra stessa esistenza: ma nello svolgersi della nostra vita nel tempo ogni situazione, ogni gesto sono per noi sempre nuovi; poiché ogni presente non è ancora mai stato vissuto, poiché situazioni di vita, semplici o complesse, non si ripetono mai identiche nel tempo e nello spazio.

Su questo sfondo, nel continuo addentrarci nel futuro avendo memoria del passato, sappiamo tuttavia riconoscere forme di spazi e di eventi, configurazioni e atteggiamenti di cui abbiamo già avuto esperienza; ci troviamo continuamente in situazioni simili ad altre già vissute, ne riconosciamo o ne progettiamo le variazioni.

Costruiamo dunque nuove azioni, nuovi comportamenti, nuove interpretazioni, sulla base di quanto abbiamo via via imparato in innumerevoli altre occasioni e sappiamo prevedere, talvolta, come le cose andranno a finire: perché sappiamo *confrontare* continuamente *aspetti* delle esperienze attuali con il *ricordo* di altri che appartengono ad esperienze passate, affrontate in altri momenti nella loro contingente specificità. Aspetti del nuovo e ricordi parziali del già vissuto si sovrappongono e si integrano mentre viviamo; appaiono le differenze, appaiono le somiglianze: alcune ora trascurabili, altre ora rilevanti.

continua

## Capitolo 2

### I primi discorsi di Biologia

#### 2.1. Il mondo dei viventi

In un contesto di apprendimento, a scuola, si può cominciare a guardare alla complessità dei sistemi viventi (degli individui macroscopici o microscopici, per esempio, dei gruppi o delle specie) attraverso l'osservazione e la descrizione dei loro modi di essere, delle loro trasformazioni caratteristiche, delle loro interazioni reciproche, delle relazioni con i loro ambienti: per parlarne insieme, per costruirne modelli più o meno semplici e schematizzati, per cercare di spiegare quello che succede immaginando strutture, processi, funzioni che non si possono “vedere”. Gli esseri viventi nascono, crescono e si trasformano nel tempo “quasi da soli” e riflettere fin dall'inizio con i ragazzi sulle poche cure di cui hanno bisogno può aiutare a mettere in evidenza *la specificità delle relazioni* che connettono la complessità di ogni vivente alla complessità del mondo esterno. Per comprendere meglio il significato di queste relazioni, bisogna imparare a cogliere, nei processi e fenomeni della vita, aspetti diversi e talvolta contraddittori: per esempio, caratteristiche di permanenza che si conservano attraverso variazioni e variabilità; forme e configurazioni stabili che si trasformano seguendo tempi e percorsi definiti; processi che si ripetono con modalità simili nel tempo e nei diversi individui; cambiamenti complessivi e correlazioni tra cambiamenti. Queste diverse dinamiche possono essere identificate e descritte talvolta, attraverso le variazioni delle variabili e degli intrecci di variabili scelti come significativi per rappresentarle.

continua

## Capitolo 3

### La logica della misura

#### 3.1. La logica del confronto

Abbiamo visto che una strategia per ricostruire cognitivamente differenze e cambiamenti delle strutture di realtà consiste nel selezionare modi di guardare e di operare che identificano in esse *proprietà variabili* ed analizzare così attraverso le *loro relazioni* configurazioni e andamenti, stati e trasformazioni, strutture e interazioni.

Per arrivare a gestire secondo questa strategia la complessità delle situazioni è necessario passare attraverso due livelli di competenza formale, distinti anche se correlati. Ad un primo livello, serve una chiara comprensione del modo in cui può essere identificata e controllata una singola variabile e la costruzione di questa padronanza passa anche attraverso capacità di schematizzare e semplificare (*ad hoc*) i sistemi che costituiscono di volta in volta lo sfondo su cui si individua la variabile considerata. Ad un secondo livello è possibile, una volta definite variabili singole (almeno due), studiare e rappresentare le relazioni che, all'interno del sistema o fenomeno considerato, vincolano le variabili stesse le une alle altre. Nel prossimo Capitolo 9 il problema della rappresentazione formale di singole variabili e delle loro relazioni verrà discusso in termini generali; in questo capitolo affronteremo invece un aspetto particolare, quello relativo alla *misura* di una singola variabile operativamente individuata.

continua

## Capitolo 4

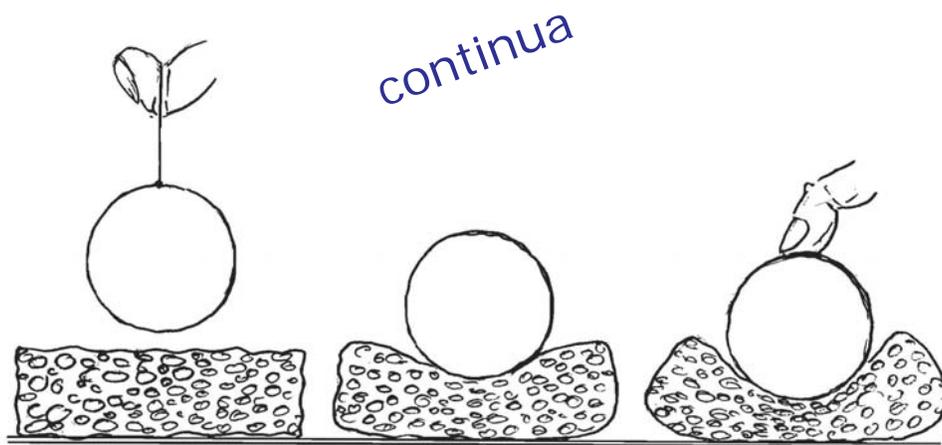
### Stare in equilibrio: il galleggiamento

In questo e nel prossimo capitolo discuteremo situazioni semplici di equilibrio statico a partire da esempi di galleggiamento e di bilanciamento tra pesi.

Non verranno presentate sequenze particolareggiate di lavoro in classe perché, attraverso queste riflessioni, vorremmo soltanto sollecitare in chi legge una ricostruzione critica, consapevole e attenta, di aspetti di realtà che tutti comunque già conoscono e di cui tutti in numerose occasioni hanno già fatto esperienza.

Dunque, quanto segue non si vuole proporre come itinerario didattico: le attività necessarie per sviluppare con i ragazzi questi argomenti sono certamente assai articolate e complesse e variano con l'età e la situazione cognitiva in cui vengono realizzate. Vorremmo piuttosto esemplificare come il *modo di guardare* per sistemi e variabili possa guidare alla formalizzazione di aspetti definiti di realtà: in questo caso, alla schematizzazione e rappresentazione, attraverso equivalenze, uguaglianze e disuguaglianze, della fenomenologia di differenti specie di equilibrio.

Alcuni aspetti dei discorsi che seguono possono apparire molto semplici, altri più complicati: tuttavia per gli adulti che hanno la responsabilità di indirizzare i ragazzi, anche piccolissimi, alla costruzione di conoscenza è importante saper padroneggiare, almeno per grandi linee, le strutture logiche più o meno complesse dei problemi che via via si vanno affrontando. In primo luogo per saper vedere, ascoltare e interpretare quello che i ragazzi fanno, osservano e dicono, ma soprattutto per poter avviare quello che si fa e quello che si dice in direzioni efficaci nei confronti dello sviluppo cognitivo di lungo termine.



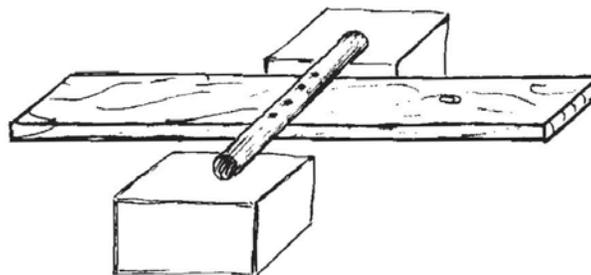
## Capitolo 5

### Regole per gli equilibri statici: pesi e tavolette

#### 5.1. Le regole dello star pari

Facciamo ancora un esempio di un modo per sviluppare la ricerca di variabili significative e di relazioni tra variabili adatte a descrivere il comportamento di un sistema. Consideriamo un'altra forma di equilibrio statico: un equilibrio tra pesi, mediato da un sistema rigido. Costruiamo allora una "bilancia a bracci": per esempio una tavoletta omogenea (più o meno lunga, più o meno larga, più o meno pesante, più o meno flessibile...) solidale con un bastone cilindrico fissato trasversalmente lungo la sua linea di mezzo (cfr. figura 1). Gli estremi del bastone sporgono dalla tavoletta e si possono appoggiare su due sostegni alla stessa altezza (due banchi, due pile di libri...). Per avere un sistema in equilibrio stabile bisogna che il piano della tavoletta si trovi in basso rispetto al bastone stesso, anche se è bene che le posizioni possibili del sistema-tavoletta siano tutte esplorate, notando le differenze nelle loro caratteristiche di stabilità/instabilità. Così appoggiata la tavoletta può dunque ruotare, anche completamente, o oscillare o stare ferma in una posizione di equilibrio: in classe si può cominciare col discutere il significato della stessa parola "equilibrio", che i bambini usano comunemente, associandola ad altre parole in cui il termine "equi-" porta l'attenzione su una uguaglianza-equivalenza tra due situazioni.

continua



## Capitolo 6

### La ricostruzione cognitiva dei fatti

Nei due capitoli precedenti abbiamo svolto alcune riflessioni sui modi di capire il galleggiare o l'andare a fondo di liquidi e solidi e lo star pari di una tavoletta caricata con materiali pesanti. Sembra utile esplicitare schematicamente i criteri di interpretazione dei fatti e le ipotesi sulle strategie di conoscenza che hanno guidato queste discussioni.

- I nostri *modi di interagire* con i fatti esterni (modi di guardarli, di descriverli, di modificarli, di dare loro forma comprensibile e manipolabile) corrispondono e sono adatti all'esigenza di ricostruire operativamente e cognitivamente, in maniera selettiva e schematizzata, i modi di essere dei fatti stessi. Non si può vedere/pensare/fare tutto contemporaneamente, né contemporaneamente avere conoscenza della realtà in tutti i suoi aspetti: si sceglie quindi, di volta in volta, un aspetto (una particolare "proiezione") di quello che succede; lo si analizza nelle sue componenti individuabili; lo si formalizza, mettendone in evidenza le relazioni interne; si integra il risultato di questa analisi a quelli ottenuti con altre analisi, con altre formalizzazioni parziali. In questa scelta si scartano via via gli aspetti che sembrano poco dominabili o singolari o poco riproducibili, considerandoli poco importanti; si cerca di trovare innanzitutto regole per le schematizzazioni più elementari e più semplici, magari pensando a come arricchirle in seguito.

- A questo proposito è importante tener sempre presente che alcuni modi di guardare fondamentali strutturano le radici stesse di ogni esperienza e conoscenza individuale e che essi trovano la loro naturale organizzazione attraverso le forme della cultura collettiva (dal linguaggio comune alla conoscenza comune dei fatti della vita, alla scienza). Per esempio, si può guardare ai fatti *per organizzazione formale (grammatica e sintassi)*. In particolare, si può guardare ai fatti *per organizzazione formale discreta*: ci si serve, allora, dei nomi e dei numeri, degli attributi e delle caratteristiche, delle immagini e dei gesti, delle classi e dei campioni. Si può guardare ai fatti *per organizzazione formale continua*: ci si serve, allora, delle graduazioni e delle modulazioni, delle sfumature e delle trasformazioni progressive, delle mescolanze e delle sovrapposizioni, dei cambiamenti di attributi e variabili, dei movimenti e delle prospettive. Si può, ancora, guardare ai fatti *per organizzazione dei significati (semantica)*, *per regole o regolarità* che legano tra loro frammenti diversi dell'accadere (in forma discreta e/o continua) fino a caratterizzare quello di cui ci importa.

continua

## Capitolo 7

### Sistemi in equilibrio e variabili di equilibrio. Gli equilibri stazionari

#### 7.1. Classi di stati

Attraverso l'analisi dei modi del galleggiare e dell'andare a fondo, dello star pari o no di una tavoletta, ci si accorge che *condizioni di equilibrio di/tra sistemi* possono essere rappresentate attraverso *relazioni di uguaglianza tra variabili*. La variabile complessa peso-per-distanza assume così valori uguali per ciascuno dei due bracci quando la tavoletta sta pari; la variabile peso-dell'acqua-spostata è uguale alla variabile peso-dell'oggetto quando questo galleggia, mentre le disuguaglianze della variabile complessa peso-specifico controllano l'andare a galla e l'andare a fondo dei sistemi.

Nel linguaggio comune, come in quello scientifico, si è altrettanto disposti a dire che *siccome* si verifica la tale relazione tra variabili, *allora* si deve verificare l'equilibrio fra i sistemi; quanto si è disposti a dire che dall'equilibrio fra i sistemi *consegue* una certa relazione fra le variabili che li descrivono.

D'altra parte sembra naturale che, considerando per esempio una tavoletta in equilibrio con tutti i suoi pesi come un unico sistema, la relazione fra pesi e distanze che caratterizza l'equilibrio stesso appaia come descrizione di una particolare classe di *stati* (di un tipo particolare di *modi di essere*) fra tutti quelli che sarebbero possibili. «Per tutti gli equilibri immaginabili, deve essere  $P_A \times D_A = P_B \times D_B$ ...»: si tratta di una affermazione sulla configurazione complessiva di una *classe di situazioni sulla tavoletta*, dopo tutto non molto diversa da una affermazione del tipo «per tutti i parallelogrammi immaginabili, gli angoli opposti devono essere uguali». La differenza è che nel primo caso la geometrizzazione del sistema, cioè la sua rappresentazione attraverso variabili in uno spazio astratto (cfr. Capitolo 9) è meno diretta che nel secondo.

continua

R(°C/min)	V (cm <sup>3</sup> )	F	H(≈cm/min)	t <sub>e</sub> (min)	sit
10,6	300	basso	0,088	11	A
17,2	300	alto	0,14	6	B
17,5	200	basso	-----	6	C
24,7	200	alto	-----	4,5	D
6,5	500	basso	-----	20	E
10,0	500	alto	-----	10,5	F

## Capitolo 8

# La complessità dei sistemi

### 8.1. Guardare per sistemi

Guardare per sistemi corrisponde a un atteggiamento cognitivo fondamentale ed efficace, capace di strutturare coerentemente competenze disciplinari anche molto diverse (cosmologia, economia, psicologia, sociologia, informatica, scienze cognitive, didattica...). Noi possiamo, qui, affrontarne solo gli aspetti più elementari e generali: per brevità, per chiarezza e per gli scopi di questo libro ci limiteremo ad esemplificare alcuni concetti di base, riferendoci preferenzialmente ad una interpretazione dei sistemi biologici. Sarebbe importante che chi legge (e insegna) facesse personalmente l'esperienza di trasferire gli stessi concetti, e modi di guardare, ad altre aree di sua esperienza e conoscenza; eventualmente servendosi come metafora per interpretare anche le complesse dinamiche dell'insegnare e dell'apprendere.

Capire per sistemi implica, come vedremo sempre meglio, la possibilità di analizzare strutture di realtà secondo molti aspetti parziali, unita alla necessità di tenerne sempre presente l'aspetto complessivo. Questa permanente ambiguità porta, quasi inevitabilmente, ad una discussione e ad una comprensione non "lineare": molte delle ripetizioni che caratterizzano l'esposizione che segue hanno appunto lo scopo di mettere in evidenza l'intrinseca natura "circolare" di ogni interpretazione sistemica.

Le strategie analitiche di conoscenza permettono di spiegare aspetti di realtà risolvendoli in relazioni elementari, dis-intrecciandone le componenti variabili e studiando separatamente il comportamento di ciascuna di esse in relazione ad altre. Ma nuove strategie sono necessarie, quando si vuole affrontare la comprensione della complessità in quanto tale. Si guardano allora fenomeni e sistemi nella loro organizzazione, mettendo in evidenza le interazioni, dinamiche e funzionali, che consentono alle parti connesse in configurazioni strutturate di presentare comportamenti<sup>1</sup> diversi da quelli che avrebbero se fossero isolate.

continua

## Capitolo 9 La formalizzazione

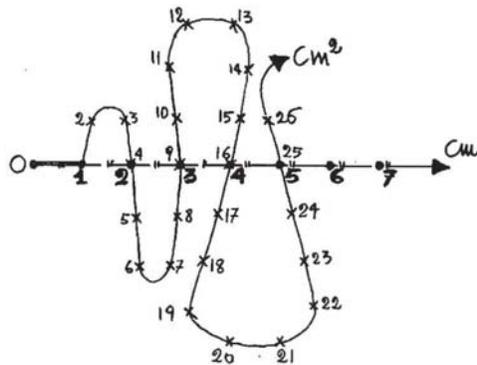
### 9.1. Date forma al mondo

*Formalizzare* è un verbo e descrive un'azione deliberata, finalizzata, molteplice, ambigua, come ogni azione umana. Formalizzare significa molte cose. Al livello più elementare vuol dire *dare una forma*, definita e schematizzata, a qualcosa: significa *vedere* qualcosa, *operare* su qualcosa secondo le proprietà e le regole di un intreccio di forme che già si conoscono in quanto tali, che si precisano e si organizzano ulteriormente nell'atto stesso del formalizzare. In questo modo le cose *acquistano* una forma, che corrisponde alla forma data: questa, in qualche modo sovra-imposta a una "forma primaria" più o meno incerta o a una apparente assenza di forma, a sua volta *acquista* proprietà precise di struttura (sintassi) e di significato (semantica).

In particolare, diamo forma alle cose (stati e trasformazioni del mondo) per poterle riconoscere, modificare e progettare; le forme che "scopriamo" nelle cose sono talvolta molteplici, come i vari aspetti attraverso cui le cose, per noi, esistono. Ma le forme, per essere "giuste", non devono soltanto essere *imposte* alle cose, devono anche essere *adatte* alle cose e alle loro relazioni: possono rappresentarle schematicamente solo in quanto vengono suggerite e selezionate, nella loro efficacia, dall'essere complessivo delle cose stesse.

Così l'aritmetica e la geometria elementari sono adatte a dare forma alle nostre percezioni e conoscenze su fondamentali aspetti spaziali e fisici della realtà: nessuno confonde il numero, che dà forma alle molteplicità degli oggetti, con gli oggetti; né le forme degli oggetti, e le loro relazioni, con gli oggetti stessi. Diciamo, per questo, che aritmetica e geometria elementare descrivono sistemi di forme, e di relazioni tra forme, "astratte" dal concreto secondo certi criteri: sistemi che, per ogni bambino che cresce e impara, già esistono (a priori) nella cultura; sistemi che, tuttavia, sono stati costruiti a partire dai fatti (a posteriori quindi) nel lungo cammino culturale dell'uomo.

continua



## Pubblicazioni degli Autori

*Scienza e scuola di base: problemi di didattica delle scienze* a cura di C. Pontecorvo e P. Guidoni, Roma, Istituto dell'Enciclopedia Italiana fondata da G. Treccani, 1979

*Lavorando con gli insegnanti* Gruppo Università-Scuola; a cura di M. Arcà *et al.*  
Firenze, La nuova Italia, 1980

*Insegnare scienza: come cominciare. Riflessioni e proposte per una educazione scientifica di base*, M. Arcà, P. Guidoni, P. Mazzoli, Milano, Franco Angeli, 1982 e 1990

*Non vivere copia*, di Alberto Manzi; con la collaborazione di M. Arcà *et al.*, Roma, Rai Home Video, 1982

*L'educazione scientifica di base*, Gruppo Università-Scuola; a cura di M. Arcà *et al.*  
Firenze, La nuova Italia, 1983

*Insegnare scienze con i nuovi programmi nella scuola elementare*, P. Mazzoli, a cura di M. Arcà e P. Guidoni, Milano, Fabbri, 1986

Consiglio nazionale delle ricerche: Progetto strategico Tecnologie e innovazione didattica, Sottoprogetto Innovazione curricolare e formazione dei docenti, Guida per la cultura scientifica di base, coordinata da P. Guidoni, Roma, CNR, 1986

*Rapporto sull'insegnamento scientifico nella scuola secondaria negli Stati Uniti*, M. Arcà *et al.*; con la collaborazione di E. Ferrero Mortara *et al.*; a cura di F. Emiliani Zauli, N. Grimellini Tomasini, B. Pecori Balandi, Firenze, COASSI, 1987

*Forze e pesi: itinerari di lavoro per fare scienze nella scuola dell'infanzia e nella scuola elementare* P. Mazzoli, M. Arcà, P. Guidoni, Torino, Emme Edizioni, 1987

*Organismi viventi: forme, trasformazioni e sviluppo: itinerari di lavoro per le classi prima, seconda e terza elementare* M. Arcà, P. Mazzoli, N. Sucasane, Torino, Emme Edizioni, 1988

*Esperienze di luce: itinerari di lavoro per la scuola dell'infanzia e il primo ciclo della scuola elementare*, M. Arcà *et al.*, Torino, Emme, 1989

*Cominciare da tre: la nuova scuola del bambino*, M. Arcà *et al.*; a cura di B. Astorino *et al.*, Milano, F. Angeli, 1990

*La cultura scientifica a scuola: percorsi nell'insegnamento della fisica e della biologia*, M. Arcà  
Milano, F. Angeli, 1993

*Il senso di fare scienze: un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, Torino, Bollati Boringhieri, 1995

*Lo sviluppo psicologico dell'età evolutiva*, M. Arcà *et al.*; a cura del prof. Giuseppe Spata, 1996 (Caltagirone)

*I modi di fare scienze: come programmare, gestire, verificare*, F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, Torino, Bollati Boringhieri, 2000

*Una scuola per l'ambiente: dallo spazio dell'aula allo spazio del mondo. Percorsi verso la sostenibilità*, a cura di Milena Bertacci; con contributi di M. Arcà e P. Tamburini  
Bologna, Cappelli, 2002

*Il corpo umano*, M. Arcà, Roma, Carocci Faber, 2005

*Dentro la materia: una storia di atomi, molecole, particelle*, M. Arcà, L. Bassino, E. Degiorgi, Roma, Carocci Faber, 2006

## Maria Arcà

Laureata in Scienze Biologiche, ha svolto per alcuni anni ricerche in Biologia Molecolare presso la Cattedra di Fisiologia Generale dell'Università di Roma e, successivamente, presso il Centro di Studio degli Acidi Nucleici del CNR.

A partire dagli anni '70, i suoi interessi si sono rivolti alla ricerca di individuare e risolvere i problemi cognitivi ed epistemologici incontrati dai bambini e dagli adolescenti della scuola di base.

In questa veste, collabora con vari Dipartimenti Universitari di Scienze dell'Educazione a Roma, Milano, Torino e con l'INDIRE. È responsabile da circa quindici anni del Progetto *Per una educazione alla conoscenza*, promosso dal Comune di Modena per le insegnanti di Scuola dell'Infanzia; dal 1990 al 1998 ha collaborato al Progetto *Il Laboratorio di scienze nella scuola elementare*, coordinato da F. Alfieri.

È membro del Consiglio Scientifico di Legambiente - scuola, membro del *Comité de lecture* della rivista ASTER (INRP - Parigi), membro del Consiglio scientifico della rivista *École Valdôtaine*. Collabora a numerose riviste rivolte ad insegnanti della scuola materna ed elementare, ha tenuto rubriche mensili sulla rivista L'EDUCATORE (Ed. Fabbri, Mi) e INSEGNARE (Ed. Riuniti, Roma) e con NATURALMENTE.

## Paolo Guidoni

Si è laureato in fisica nel 1959, ha svolto attività di ricerca in fisica delle particelle elementari (camere a bolle, elettronica) fino alla fine degli anni '70; ha lavorato al CERN, Brookhaven, partecipando alla scoperta di particelle fondamentali, fra cui l'Ùe i mesoni strani neutri. Ha ottenuto la cattedra in Fisica Generale nel 1977.

Dalla fine degli anni '70 si occupa di ricerca sperimentale e teorica sui modelli cognitivi della comprensione scientifica, e sulla definizione di interventi scolastici in Fisica e Matematica che siano in sintonia con le capacità cognitive di base.

È stato più volte responsabile di progetti nazionali di ricerca tra cui ricordiamo: *Spiegare e Capire in Fisica* e *Fisica per la Formazione Culturale* entrambi voluti dal Murst.

Il Ministero dell'Istruzione ha invece accolto i progetti *Capire Si Può* e varie attività nell'ambito del SeT (*Scienza e Tecnologia*). Nel luglio 2003 è stato l'unico docente italiano a tenere una relazione su invito alla scuola internazionale in didattica della Fisica di Varenna. Partecipa attualmente ai lavori per la definizione dei nuovi curricula di Fisica in Italia e coordina il Piano Insegnare Scienze Sperimentali.