

I Programmi didattici 1985 per la Scuola elementare sono innovativi in quanto danno un posto eminente all'insegnamento delle scienze, ma nel contempo non forniscono indicazioni su come realizzare un investimento educativo a lungo termine, approfondito e soprattutto integrato. Il discorso vale anche per la Scuola materna e per la Scuola media inferiore.

La collana si propone principalmente di colmare questa lacuna e, insieme, di evitare l'indottrinamento disciplinare, di offrire un'alternativa alla disseminazione di unità didattiche preconfezionate e non coordinate, di contribuire fattivamente alla riconversione dei docenti della Scuola di base.

Dal progetto iniziale, alla realizzazione e alle operazioni di verifica, ogni itinerario di lavoro è frutto di una stretta collaborazione tra esperti universitari e docenti delle scuole materne, elementari e medie.

Gli Autori fanno parte di gruppi di ricerca didattica costituiti presso diversi istituti universitari di fisica e tutti hanno partecipato o partecipano, a diverso titolo, a ricerche e a sperimentazioni sotto l'egida del CNR (Progetto T.I.D.: Tecnologia e innovazione didattica).

Le linee di lavoro proposte dalle "Guide alla cultura scientifica di base" sono realizzabili nel contesto normale delle classi e con costi contenuti e comunque sempre sopportabili dai Consigli di Circolo e di Istituto.

ENRICA GIORDANO è ricercatore confermato presso l'Istituto di Fisica Generale Applicata dell'Università degli Studi di Milano. Si è occupata di storia della fisica. È attualmente impegnata in progetti di ricerca sulla didattica delle scienze per la scuola di base.

CLAUDIO LONGO insegna botanica all'Università degli Studi di Milano. Si interessa da molti anni di problemi didattici.

PAOLA MAJORINO BONELLI è insegnante di scienze nella scuola media. Da oltre dieci anni è impegnata nella ricerca in didattica della matematica e delle scienze.

QL 51009

L. 12.000

Questo volume sprovvisto del talloncino a fronte è da considerarsi copia di SAGGIO CAMPIONE GRATUITO, fuori commercio.
Esente da Bolla di Accompagnamento ed escluso dal campo di applicazione dell'IVA ai sensi della L. n. 67 del 25.2.87.

CALORE E TEMPERATURA

EMME EDIZIONI

strumenti
guida per la cultura
scientifica di base

E. Giordano, C. Longo, P. Majorino Bonelli

CALORE E TEMPERATURA

Fisica e biologia: un'introduzione allo studio dei fenomeni termici
nella scuola dell'obbligo



CUCCHIAIO DI LEGNO



CUCCHIAIO DI METALLO



EMME EDIZIONI

strumenti

guida per la cultura
scientifica di base

E. Giordano, C. Longo, P. Majorino Bonelli

CALORE E TEMPERATURA

Fisica e biologia: un'introduzione
allo studio dei fenomeni termici
nella scuola dell'obbligo



EMME EDIZIONI

EMME EDIZIONI

della Petrini Junior S.p.A.
Via Bardonecchia, 63 - Torino

Direttore editoriale: Sergio Bosonetto
Coordinamento scientifico: Paolo Guidoni

Redazione: Sylvia Guglielmi
Ufficio Tecnico: Mario Anesi
Disegni: Claudio Ruffino
Fotocomposizione: Puntografica - Torino
Stampa: Istituto Grafico Bertello - Borgo San Dalmazzo (CN)

Progetto grafico di copertina: Anna Maria Talanti

Proprietà letteraria e scientifica riservata
© 1988 EMME EDIZIONI
Petrini Junior S.p.A. - Torino
1ª edizione: febbraio 1988

TUTTI I DIRITTI RISERVATI

I diritti di traduzione, di riproduzione e di adattamento totale o parziale e con qualsiasi mezzo (compresi le copie fotostatiche, i film didattici e i microfilm) sono riservati per tutti i Paesi.

Presentazione

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.

I nuovi programmi della scuola elementare, per esempio, hanno posto l'Italia in una posizione che sulla carta è d'avanguardia, anche rispetto a molti paesi europei (basta fare un confronto con i quasi contemporanei programmi francesi): l'educazione "scientifica", cioè l'imparare a pensare e agire sui fatti del mondo, costituisce uno dei cinque poli, fondamentali e culturalmente autonomi, della formazione elementare. D'altra parte, si sente il bisogno di raccordare seriamente i nuovissimi programmi elementari con i pur recenti programmi della scuola media: anch'essi carichi, a loro tempo, di potenzialità innovative che ora vediamo generalmente disattese; anch'essi al loro interno mancanti di una "integrazione" (p. es. fra scienze e matematica) invocata solo a parole, e poi nella pratica demandata alla buona volontà di insegnanti che si trovano a dover risolvere problemi sproporzionati alle forze e progettualità individuali. Ma sia nei programmi della scuola elementare che in quelli della media sembra mancare l'indicazione forse più necessaria, emersa con evidenza crescente anche dalle ricerche dell'ultimo decennio: come realizzare un investimento educativo a lungo termine (progettato e programmato su scala di anni), approfondito (privilegiando alcuni argomenti, su cui capire anche "cosa vuol dire capire"), fortemente integrato (non si possono "applicare" competenze linguistiche, o matematiche, ad argomenti di scienze, né viceversa; conoscenze fenomenologiche diverse, conoscenze disciplinari e conoscenze formali possono solo formarsi, e precisarsi, in stretta interazione reciproca).

Di fatto, 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.

Contemporaneamente, si è venuta sempre più esplicitando la consapevolezza della difficoltà ed enormità di quel compito di "aggiornamento — riconversione" di buona parte degli insegnanti che sempre più appare come la principale strozzatura a monte di qualunque reale cambiamento.

Questa raccolta di "guide per la cultura scientifica di base" vuole mettere a disposizione degli insegnanti della scuola dell'obbligo alcune proposte di lavoro, sviluppate e sperimentate negli anni passati nell'ambito di vari gruppi di ricerca italiani. Si spera così di sollecitare e appoggiare un processo di rinnovamento che oltrepassi sia l'aggiornamento — indottrinamento disciplinare lontano dalla dinamica operativa e cognitiva che è necessario innescare in classe, sia la pura disseminazione di unità didattiche preconfezionate e reciprocamente non coordinate.

Come è facile verificare anche attraverso una superficiale esplorazione, le guide presentate sono fra loro molto diverse; prima di commentarne le differenze, e il loro significato, è tuttavia opportuno sottolineare alcuni caratteri comuni.

□ 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, e 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 sanno (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, ri-costruire 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.

□ Tutte le guide si riferiscono, nell'esemplificazione scelta, a una fascia di età-scolarità larga, ma abbastanza definita (grosso modo scuola materna/primo ciclo elementare; secondo ciclo elementare/inizio di scuola media; scuola media/inizio biennio secondaria). Tuttavia, in quanto rivolte a formare una consapevolezza professionale su problemi di insegnamento che sono largamente indipendenti dall'età di chi apprende, e che comunque

coinvolgono itinerari a lungo termine (da distendere, talvolta, nell'arco di più anni) tutte le proposte si ritengono rivolte ad insegnanti della scuola dell'obbligo, dalla materna alle medie. Come è naturale, ci si aspetta che questo possa provocare alcuni ostacoli, e sollevare alcuni problemi, prevalentemente di tipo disciplinare. La bibliografia citata al termine di ogni volume può forse aiutare a superarne alcuni; resta importante che, a ogni livello della scuola di base, non se ne perda di vista l'essenziale continuità di itinerario cognitivo (DAL PUNTO DI VISTA DEL RAGAZZO): riguardo a quello che si potrà/dovrà imparare "dopo", come a quello che si sarebbe potuto/dovuto imparare "prima".

Restano da dire alcune parole sulle differenze fra le varie proposte presentate in queste guide. Saranno evidenti a chi ne confronterà più di una: dal modo di "tagliare" e strutturare l'argomento, al modo di proporre l'organizzazione didattica, al modo di affrontarne i legami con il pensiero "formale" (linguaggio, matematica, rappresentazione ... ecc.) e con quello "concreto"; fino alle diverse interpretazioni — ideologiche, teoriche e pragmatiche — dei modi e degli scopi dello spiegare e del capire, implicite nelle diverse proposte.

Queste differenze corrispondono a un dato di fatto: gli itinerari di lavoro sono stati costruiti e verificati negli anni passati, all'interno di gruppi diversi, in condizioni e con ipotesi di ricerca diverse. Un reciproco confronto e coordinamento è avvenuto all'interno del Progetto T.I.D. del C.N.R. che ha condotto a un insieme più coerente di proposte. Ma, nell'offrire agli insegnanti questo materiale, non reso artificialmente omogeneo in un unico stile secondo un unico schema, pensiamo che indicazioni utili possano venire anche dalla constatazione, ed esemplificazione, che ci sono modi diversi per fare le cose: e che, probabilmente, da ciascuno di essi c'è qualcosa da imparare.

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: ed 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

Indice

	Presentazione
	Indice
9	Premessa
11	Introduzione
13	Una mappa
17	Riflessioni disciplinari
31	La metodologia
33	La proposta di lavoro
35	Proposta 1 - Un primo lavoro di osservazione
36	Proposta 2 - Che cosa osservare. Per quale scopo Possibili alternative all'approccio sull'osservazione
42	Proposta 3 - Prime esperienze qualitative: dalla complessità del reale a una prima "semplificazione"
47	Proposta 4 - Un'esperienza più circoscritta: come riscaldare l'acqua contenuta in un barattolo?
51	Proposta 5 - Osservazioni su un fenomeno particolare: l'appannamento
55	Proposta 6 - Il termometro: riflessioni su un corretto uso dello strumento
58	Proposta 7 - L'esperienza della moneta: un primo approccio al concetto di sorgente di calore
60	Proposta 8 - Elenchiamo, classifichiamo e discutiamo le sorgenti di calore
61	Proposta 9 - Un esperimento di laboratorio: l'azoto liquido
68	Proposta 10 - "La lana scalda?". Una puntualizzazione su: sorgenti di calore - materiali isolanti
71	Proposta 11 - Materiali e oggetti isolanti: riflessioni su situazioni della vita quotidiana
72	Proposta 12 - Una verifica sul grado di costruzione di alcuni concetti
73	Proposta 13 - L'ambiente e la "sua" temperatura
74	Proposta 14 - Misura di temperatura in uno stesso ambiente
76	Proposta 15 - Isolanti e conduttori: un esperimento qualitativo e prima individuazione delle variabili
78	Proposta 16 - Un esperimento di conducibilità
79	Proposta 17 - La temperatura del nostro corpo
84	Proposta 18 - La generazione di calore nell'organismo
89	Conclusioni
91	Elaborati
115	Bibliografia

Premessa

Questo volume è nato nel contesto del progetto strategico T.I.D. (Tecnologie e Innovazioni Didattiche) del C.N.R.

La ricerca e la sperimentazione didattica sono state fatte negli anni scolastici tra il 1983/84 e il 1985/86 nell'ambito di programmi di ricerca sull'«Educazione scientifica nella scuola di base» finanziati dal M.P.I. (fondi 40% e 60%) e dal C.N.R.

Tali progetti sono coordinati su base nazionale dal prof. Paolo Guidoni che ci ha dato molteplici stimoli e consigli nel corso della ricerca, della sperimentazione in classe e anche di questa stesura. A lui vanno i nostri ringraziamenti, come pure a tutti i ricercatori e colleghi con cui abbiamo avuto scambi in questi anni, in particolare: quelli delle unità del G.N.D.F. (Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica) del C.N.R. di Bologna, Milano, Napoli, Pisa.

Naturalmente la responsabilità del lavoro resta agli autori e in particolare le parti specifiche di biologia sono dovute al prof. Claudio Longo, quelle di fisica alla dott. Enrica Giordano, la parte di proposta di lavoro alla prof. Paola Majorino (dalla pag. 33 alla pag. 73).

Introduzione

Nella vita di tutti i giorni viviamo molteplici esperienze in cui l'aspetto termico è determinante: fa caldo, fa freddo, ci sono molti sbalzi di temperatura, siamo a temperatura normale o abbiamo la febbre, scaldiamo e cuociamo i cibi, scaldiamo o raffreddiamo bevande, paghiamo per il riscaldamento o il condizionamento delle nostre case, laviamo con acqua calda o fredda, facciamo asciugare, stiriamo... l'elenco potrebbe essere ancora molto lungo. Nelle scienze i vari aspetti delle esperienze della vita quotidiana possono essere studiati da discipline scientifiche diverse.

Prendiamo ad esempio la cottura degli spinaci: una sequenza di azioni sicuramente abituale per molti. Si riempie d'acqua una pentola, si accende il fornello, si mette al fuoco la pentola, si attende che l'acqua bolla, si aggiunge il sale, si immergono gli spinaci, si lasciano cuocere per un tempo sufficiente...

L'accensione del fuoco, la fiamma, lo scioglimento del sale nell'acqua sono fenomeni studiati dalla chimica. Il riscaldamento dell'acqua a contatto con la sorgente di calore, l'evaporazione e l'ebollizione... sono fenomeni descritti dalla fisica.

I cambiamenti subiti dagli spinaci (si afflosciano, il colore verde si trasmette in parte all'acqua di cottura, ...) sono aspetti biologici.

Così quando si tratta di interpretare e spiegare esperienze quotidiane dal punto di vista scientifico si devono chiamare in causa discipline diverse.

In generale però le varie discipline interpretano aspetti selezionati di realtà, ne danno visioni parziali e raramente i diversi punti di vista biologici, chimici e fisici vengono coordinati a dare visioni *di insieme*. Così accade sia nelle comunità degli scienziati, sia in generale nei libri di testo più o meno specialistici.

Con questo scritto vogliamo proporre agli insegnanti una traccia di lavoro sui fenomeni termici che parte dalla osservazione della realtà e permette

di costruirsi via via alcune delle chiavi interpretative fondamentali tipiche della fisica e della biologia.

Per limiti di tempo e di nostre competenze abbiamo per ora lasciato da parte la chimica pur nella consapevolezza della sua importanza; ci ripromettiamo però di affrontarla almeno in parte in un lavoro successivo.

Dietro la proposta di lavoro ci sono state precise scelte che si ritrovano nella prima parte di questo volume: una mappa sintetica del lavoro, alcune riflessioni disciplinari (di fisica e di biologia), alcune riflessioni metodologiche. La proposta vera e propria è descritta nella seconda parte e risente fortemente delle scelte teoriche iniziali sia disciplinari che metodologiche.

D'altra parte, proprio nella proposta didattica, si esplicita la costruzione di alcuni concetti e idee che sono già introdotti nei capitoli iniziali, ma, per ovvi limiti di spazio, non sufficientemente approfonditi.

È opportuno quindi leggere i diversi capitoli tutti di seguito.

Una successiva rilettura delle riflessioni disciplinari iniziali sarà quindi fondamentale per una acquisizione più profonda della rete di concetti sottesa al lavoro.

Come si vedrà questo lavoro è proposto ed esemplificato in dettaglio per la scuola media, ma nella stesura del volume sono stati tenuti presenti anche gli insegnanti elementari. Abbiamo infatti dato ampio spazio alle attività che noi abbiamo sperimentato in classi di prima media come primo approccio alle scienze, e che potrebbero essere utilmente anticipate nel secondo ciclo della scuola elementare. Inoltre questa proposta di riflessione sull'insegnamento delle scienze nella scuola di base può essere di supporto per gli insegnanti elementari che in questi anni affrontano il piano di aggiornamento sui Nuovi Programmi.

Una mappa

Qui di seguito schematizziamo i passaggi concettuali fondamentali di tutta la nostra proposta di lavoro.

Si parte dalla osservazione/descrizione di alcuni aspetti della realtà di tutti i giorni (un pranzo, il percorso da casa a scuola, cuociamo gli spaghetti...) e si comincia a restringere il campo di interesse agli aspetti del reale che solitamente descriviamo con la parola caldo, freddo, riscaldare, raffreddare.

Attraverso prime esperienze con materiale quale contenitori, acqua e cubetti di ghiaccio, si riproducono situazioni varie di riscaldamento, raffreddamento, scioglimento, appannamento ecc. Si focalizza quindi l'attenzione su una sola di queste situazioni, ad esempio il riscaldare.

Con queste prime fasi del lavoro si introduce la problematica e si comincia a sollecitare da parte dei ragazzi una interpretazione dei fenomeni termici.

In particolare così facendo si incomincia a far emergere la necessità di introdurre e controllare grandezze e variabili diverse quali: temperatura, calore, massa, peso, volume, tempo, ruolo del materiale...

Con questo non intendiamo che i ragazzi abbiano o debbano già avere i concetti scientificamente corretti, né tantomeno che noi li definiamo esplicitamente a questo stadio. Usano però le parole temperatura, calore...

A questo punto si lascia che ognuno le usi come vuole, come sa, come pensa giusto (noi però cercheremo di usarle sempre nel modo corretto).

Ci sono in particolare delle espressioni ricorrenti nelle frasi dei ragazzi, quali «sorgente di calore» e «temperatura ambiente».

Si cerca di capire come i ragazzi le usano inizialmente e solo poco per volta li si porterà ad approfondire e precisare questi concetti e quindi a utilizzarli in modo scientificamente corretto.

Così si lavora a lungo sulle «sorgenti di calore». Inizialmente con tale espressione i ragazzi intendono «corpi che hanno una elevata temperatura, che danno calore ma non si raffreddano», citano infatti fuoco, lampadina, vulcano

Noi cerchiamo con esperienze e riflessioni su situazioni di vita quotidiana di estendere questo concetto di sorgente di calore fino ad arrivare a designare con sorgente di calore «qualcosa che dà calore». Ne segue allora che qualunque corpo può essere sorgente di calore per corpi più freddi.

Questo permette di unificare nella stessa categoria, «sorgenti di calore», cose molto diverse, addirittura fuoco e ghiaccio.

Ma pur nell'unificazione conviene distinguere le sorgenti di calore nei due tipi:

- con produzione (riscaldano ma non si raffreddano);

- senza produzione (riscaldano oggetti più freddi di loro, ma si raffreddano).

Usare come chiave di lettura e di interpretazione quella detta finora (sorgenti di calore con e senza produzione) non vuol dire trascurare gli altri aspetti.

Così oltre che di calore, si parla di temperatura, di peso, di tempo, di materiale, di chi ha una sua temperatura e di chi invece «la prende dall'ambiente», di chi (come i nostri corpi) tende a mantenere la sua temperatura...

Le parole hanno un potere evocativo e quindi, anche senza dare definizioni, parlare di sorgenti di calore aiuta a costruirsi la caratteristica fondamentale del calore, il fatto che venga ceduto, trasmesso, che passi da un oggetto a un altro.

I ragazzi parleranno anche (scorrettamente) di oggetti che hanno un calore, di calori che si sommano; ma anche (giustamente) di oggetti che hanno una temperatura, di temperatura ambiente, di temperature intermedie a cui due oggetti, inizialmente uno molto più caldo dell'altro, si portano se messi a contatto.

Sottolineiamo che non consigliamo a questo punto né le definizioni (operative o meno) né singoli esperimenti cruciali (che mettono in crisi) che spesso apparentemente hanno effetto, ma non aiutano a ristrutturare e possono venire rifiutati.

Riteniamo che attraverso diverse e molteplici esperienze, esperimenti, discussioni si arrivi a distinguere queste grandezze tra loro in modo «concreto» molto più efficace di molte definizioni.

Meglio poi se queste situazioni non sono solo di tipo «fisico», ma anche «biologico».

Questa Guida si propone di tentare un raccordo tra fisica e biologia. È un'impresa difficile e non garantiamo sulla sua riuscita. Bisogna però tener conto che si tratta di una novità: normalmente fisica e biologia procedono rigorosamente separate. I lodevoli tentativi di raccordare le due discipline che si trovano in qualche libro di testo (per esempio quello del Mezzetti) hanno probabilmente avuto poco seguito nella prassi scolastica per la mancanza di indicazioni concrete. Il nostro argomento si presta benissimo a una simile operazione perché consente molte occasioni di contatto tra le due discipline.

Si possono individuare in biologia tre filoni principali in cui entrano temperatura e calore.

1. Dipendenza di tutte le attività vitali dalla temperatura.
2. Percezione del caldo e del freddo.
3. Generazione di calore e suo rapporto con l'alimentazione; mantenimento di una temperatura corporea costante.

Si possono trovare maggiori particolari su questi argomenti nella parte disciplinare. In pratica non esploreremo tutte le possibilità di raccordo tra fisica e biologia che abbiamo elencato, ma ci limiteremo a illustrare il terzo filone, cioè la produzione di calore.

Non è l'unica soluzione possibile e forse neanche la migliore, ma è l'unica sulla quale possediamo un'esperienza concreta.

I ragazzi rilevano sistematicamente la loro temperatura corporea, tabulano i dati, ci ragionano su, li confrontano con quelli dei compagni. Si introducono in tal modo le idee seguenti:

- a) in ogni individuo la temperatura oscilla entro limiti ristretti;
- b) il limite superiore e quello inferiore non sono esattamente identici da una persona all'altra;
- c) la temperatura può superare il limite normale in seguito a condizioni patologiche (febbre), ma anche in seguito a sforzi intensi o emozioni.

Viene poi introdotto il concetto che la produzione di calore è legata all'ossidazione degli alimenti. Il nostro organismo può essere dunque considerato una sorgente di calore con produzione e con una propria temperatura caratteristica.

Dopo aver lavorato su situazioni più tipicamente biologiche si ritornerà a situazioni più fisiche per cercare di arrivare a una prima sistemazione dei concetti di temperatura e calore.*

Si arriverà così a capire che temperatura e calore sono diversi perché ci sono situazioni in cui si continua a fornire calore ad un corpo ma la sua temperatura non cambia (passaggi di stato); ci sono corpi (come l'organismo umano) che continuano a funzionare, a produrre calore, ma lo eliminano anche e restano a una temperatura circa costante; ci sono situazioni in cui si fornisce lo stesso calore a due corpi di materiale e/o di massa

diversi e si ottengono incrementi di temperatura diversi.

Sottolineiamo che per noi è molto importante:

- che i ragazzi arrivino a *costruirsi* la differenza tra temperatura e calore attraverso esperienze, discussioni, spiegazioni... che riguardino sia situazioni di tipo «fisico» che di tipo «biologico»;
- che capiscano che sono due grandezze diverse, nel senso suddetto, perché bisogna tener conto anche di altre cose: quantità, materiale, tempo ecc. Ad esempio due corpi di ugual peso e con la stessa temperatura iniziale, ma di diverso materiale ricevendo la stessa quantità di calore *non* si portano alla stessa temperatura finale.

Questo ruolo del materiale è stato cruciale nella differenziazione storica dei due concetti temperatura e calore (che si noti è avvenuta nel XVIII secolo, relativamente di recente!) ed è alla fine, nella fisica formalizzata, rappresentato dal parametro calore specifico.

Infatti due corpi diversi per massa, materiale, temperatura iniziale, se messi a contatto si portano a una temperatura finale che dipende da tutte e tre le variabili suddette (il materiale attraverso il calore specifico). Questo si capisce da tante esperienze e *alla fine* si può anche dare la formula per calcolare la temperatura finale.

Ma questo è *uno* degli stadi da capire, né l'unico né il primo.

Così non si arriverà a parlare di conducibilità nel senso di arrivare a dare una formula in cui compaia il parametro *K* conducibilità (nella fisica formalizzata si tratta di un'equazione differenziale). Eppure si può lavorare a lungo su conduttori e isolanti.

Anzi la problematica di isolante/connettore emerge prestissimo e proprio in contrapposizione alle sorgenti di calore.

La lana, il legno, gli isolanti in genere non sono sorgenti di calore con produzione, come si è portati a pensare dal linguaggio comune o da esperienze della vita di tutti i giorni (diciamo che la lana scalda, le gambe di metallo del tavolo le sentiamo più fredde del piano di plastica o di legno...). Infatti non scaldano l'acqua, non fanno sciogliere i cubetti di ghiaccio più rapidamente, ma rallentano il passaggio di calore dall'esterno all'oggetto con-

tenuto nell'isolante o viceversa. E se l'oggetto contenuto nell'isolante è una sorgente di calore con produzione, come il corpo umano, gli isolanti gli sottraggono calore meno rapidamente dei conduttori e quindi li sentiamo più caldi. Gli isolanti gli permettono di disperdere calore più lentamente in un ambiente freddo e quindi ci vestiamo di lana.

Mentre lavoriamo sulle sorgenti di calore e su conduttori e isolanti abbiamo detto che non possiamo trascurare, lasciare da parte altre idee, concetti, grandezze. Così possiamo far vedere che un corpo che riceve calore cambia la sua temperatura ma anche il suo volume (dilatazione). A questo punto si potrà costruire un termometro, tararlo, entrare nel problema dei punti fissi (e quindi dei passaggi di stato) delle scale termometriche. Si definirà in modo operativo la temperatura e si definirà la sua unità di misura, il grado. D'ora in poi il lavoro sarà più codificato, tradizionale. Partendo da ghiaccio tritato, riscaldandolo su un fornello fino a portare in ebollizione l'acqua di scioglimento si arriverà a costruire il grafico temperatura in funzione del tempo per l'acqua, si vedrà che curva si ottiene, si noteranno i plateau per i passaggi di stato, si considererà che il tempo può dare una misura del calore fornito dal fornello all'acqua, si vedrà da cosa dipende la pendenza della retta e cosa cambia cambiando quantità e quindi sostanza fino ad arrivare a parlare di calore specifico e a definire il calore, darne la formula e la relativa unità di misura.

Si possono fare lavori di mescolanze di masse diverse di sostanze uguali (o diverse) e dare la legge di «conservazione del calore» e così via. Noi ci siamo fermati qui.

* La parte di lavoro in classe corrispondente all'approfondimento e alla formalizzazione dei concetti fisici che viene proposta da qui in avanti non ha trovato spazio in questo volume e viene rimandata ad un lavoro seguente.

N.B. Nel testo usiamo sia massa che peso, con i ragazzi la distinzione non è mai stata fatta, l'unità di misura il Kg è comune. A nostro avviso la distinzione è affrontabile ma richiederebbe un lavoro analogo a quello qui proposto per distinguere temperatura e calore. Analogamente bisogna lavorare a lungo per distinguere capacità, volume, peso, peso specifico. Anche questa problematica qui non viene affrontata. Lo è stata però con i ragazzi della nostra esperienza.

Riflessioni disciplinari

L'aspetto fisico

Non vogliamo rifare qui trattazioni di termologia e termodinamica che si possono trovare su tutti i libri di fisica. Facciamo tuttavia alcune considerazioni.

In gran parte di questi testi il riferimento alla realtà quotidiana non esiste per nulla o quasi. La prima cosa che si incontra è la definizione delle grandezze fisiche del campo termico. In particolare vengono definite le grandezze temperatura e calore (e viene sottolineata la necessità di non confonderle) e poi via via si tratta la capacità termica, il calore specifico, la conducibilità, il calore latente, l'energia interna, l'entropia, l'entalpia...

A volte inframmezzata e a volte a parte rispetto a questa descrizione macroscopica ce n'è una microscopica in termini di atomi e molecole in movimento che però in generale viene fatta per i gas e prende il nome di teoria cinetica dei gas.

La proposta che abbiamo tracciato nella mappa sottintende un approccio alla fisica che si discosta da quello «classico» appena schematizzato.

La nostra impostazione confluisce poi in quella classica, ma prevede prima di tutto una parte di descrizione e analisi della esperienza quotidiana dalla quale costruire «idee» di fisica che non sono solo le definizioni delle grandezze sopra citate.

Qui di seguito esponiamo queste «idee» di fisica che poi si troveranno anche esemplificate nella loro costruzione didattica e cognitiva nella proposta e nella parte di resoconto della esperienza effettuata dai ragazzi in classe.

Va poi precisato che dato che gli aspetti fisici e biologici sono molto intrecciati (oltre all'esempio degli spinaci citato nell'introduzione si pensi ad esempio all'utilizzo delle mani per sentire se un oggetto è caldo o freddo), le «idee» in questione riguardano anche la biologia.

Purtroppo la chimica, nonostante sia coinvolta in pieno (il fuoco, il bruciare...) non è stata per ora affrontata. Alcune considerazioni, esperienze ed attività si troveranno in un futuro lavoro.

Per arrivare a capire l'interpretazione che la fisica dà dei fenomeni termici, ancor prima di definire sia in modo operativo (cioè tramite operazioni di misura) sia in termini matematici (formule) le grandezze fisiche, occorrono a nostro avviso altri passaggi, altre idee e schemi interpretativi.

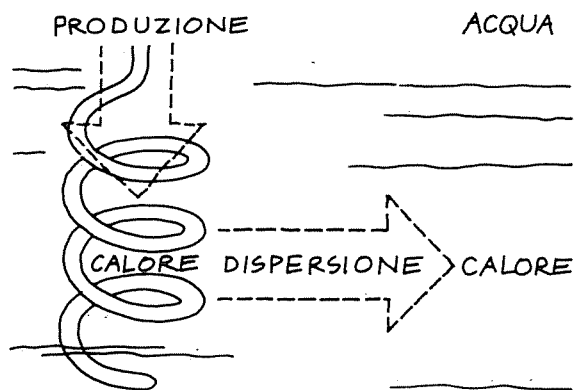
Vogliamo sottolinearne alcuni che si ritroveranno poi come obiettivi didattici disciplinari nel lavoro proposto per le classi.

Il primo è l'*idea di sorgente di calore*. In fisica si usa questa espressione in senso molto generale: un fornello, un becco di Bunsen, sono sorgenti di calore così come un recipiente pieno di acqua lo è per un cubetto di ghiaccio oppure per un oggetto più freddo che siano immersi in essa.

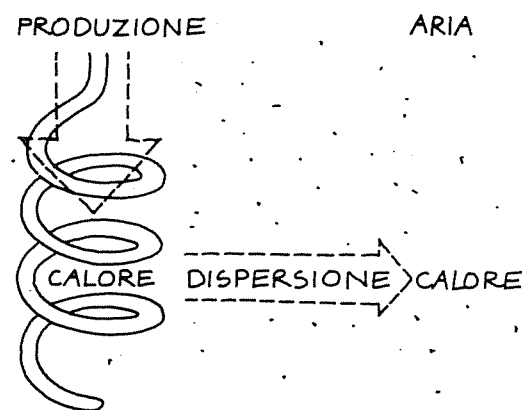
Definire questi corpi come «sorgenti di calore» è una generalizzazione fisica motivata dal fatto che in tutti i casi citati avviene un passaggio di calore da un corpo definito sorgente ad un altro o più altri corpi.

In realtà, comunque, si deve prender coscienza che le due «sorgenti» sono di tipo diverso: le prime (come fornelli, sole, l'uomo, ...) sono sorgenti di calore che chiameremo *con produzione di calore*, cioè che hanno un meccanismo interno di produzione di calore, riscaldano ma non si raffreddano.

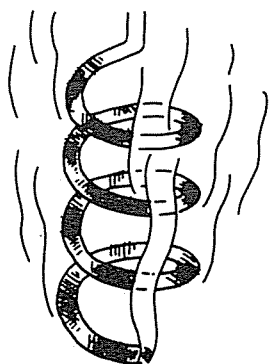
Le seconde sono *senza produzione di calore*; tra due oggetti inizialmente a temperatura diversa, quello a temperatura maggiore è sorgente per quello a temperatura minore, ma cedendo calore si raffredda e per ritornare alla temperatura iniziale deve essere riscaldato da una sorgente con produzione.



PRODUZIONE E DISPERSIONE DI CALORE SI EQUIVALGONO. LA TEMPERATURA DEL RISCALDATORE RESTA COSTANTE.



LA PRODUZIONE È MAGGIORE DELLA DISPERSIONE. LA TEMPERATURA DEL RISCALDATORE AUMENTA. ED ECCO QUELLO CHE SUCCEDDE



Le sorgenti del primo tipo, per loro costituzione e per essere quello che sono, devono non solo produrre calore, ma anche poterlo eliminare o dissipare. Un riscaldatore elettrico, di quelli ad immersione ad esempio, una volta collegato alla rete elettrica incomincia a scaldarsi e a scaldare la sostanza entro la quale è immerso. Se tuttavia questa dispersione non avviene in quantità sufficiente, il riscaldatore si può fondere (ed è per questo che tali apparecchi non vanno lasciati accesi in aria).

Questo delle sorgenti è ovviamente un modello, un tipo di interpretazione della realtà in termini di flusso, di passaggio di qualcosa (che chiamiamo ad esempio calore) da una sorgente ad altri corpi. Come tutti i modelli è parziale, anche se molto potente e interessante, interpreta bene particolari aspetti dei fenomeni ed è carente in altri. Inoltre non è l'unico approccio. Così si potrebbe analizzare tutto l'aspetto energetico e vedere la «sorgente con produzione» come un «trasformatore» di energia da una forma a un'altra; si potrebbe parlare di energia interna di un corpo e considerare il calore come energia termica.

Inoltre si potrebbe introdurre l'interpretazione microscopica di cosa è il calore, del ruolo del materiale, della dilatazione, dell'evaporazione... Ma la nostra proposta riguarda una fase iniziale di approccio allo studio dei fenomeni termici e questi aspetti nel nostro lavoro in classe non sono stati affrontati, ci siamo fermati prima. Pertanto non verranno trattati in dettaglio neanche in questo capitolo; per essi si rimanda ai testi in bibliografia.

Altra idea fondamentale è quella di *equilibrio termico*. Anche in questo caso si devono distinguere due casi.

1. Il caso di un oggetto a contatto con una sorgente di calore con produzione (o la sorgente con produzione stessa).
2. Il caso di due oggetti a diverse temperature messi a contatto.

Nel primo caso la sorgente di calore con produzione fornisce calore all'oggetto (e all'ambiente) e l'oggetto acquista calore, ma ne perde anche cedendolo a sua volta. Può accadere che, dopo un periodo transitorio, si raggiunga una situazione detta di *equilibrio stazionario*, in cui l'oggetto cede

all'esterno tanto calore quanto ne prende dalla sorgente. La temperatura dell'oggetto non aumenta né diminuisce.

Vediamone alcuni esempi. Si consideri una stanza in cui al mattino, in inverno, venga acceso il calorifero. Passato un periodo iniziale in cui la temperatura della stanza aumenta, durante la giornata essa resterà pressoché costante ($T-20^{\circ}\text{C}$) pur col calorifero acceso ($T-50^{\circ}\text{C}$). Il calorifero infatti continua a cedere calore alla stanza che però a sua volta ne cede all'ambiente esterno.

Un'altra situazione di equilibrio stazionario che si può realizzare anche in laboratorio è quella di una pentola che venga riempita d'acqua e messa sul fuoco (non troppo alto). Passato un primo periodo in cui la temperatura dell'acqua aumenta può accadere che, senza raggiungere l'ebollizione, l'acqua resti a temperatura pressoché costante (evaporando!). L'acqua riceve infatti calore dal fornello, ma a sua volta ne cede all'ambiente intorno.

Infine è la stessa «sorgente di calore con produzione» che in generale si porta all'equilibrio stazionario. Si pensi ad esempio a un fornello elettrico a piastra, che trasforma energia elettrica in energia termica, cioè in calore, che viene in parte trattenuto (la temperatura della piastra aumenta, per un certo periodo, e poi non diminuisce) e in parte disperso nell'ambiente. Da un certo punto in poi la temperatura della piastra resta costante, quando cioè il bilancio tra calore trattenuto e disperso è tale che la sua temperatura resti costante.

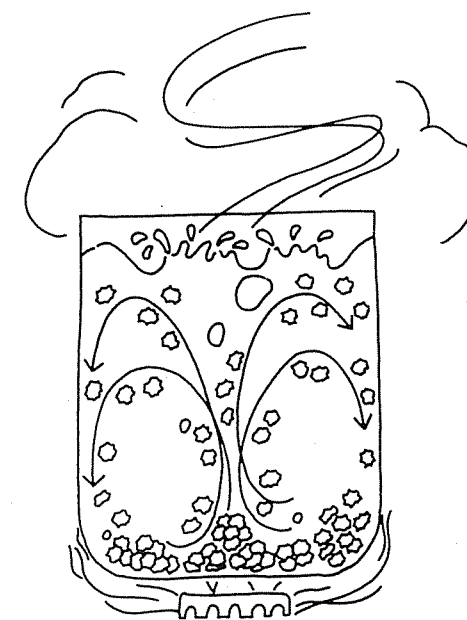
Nel secondo caso, quello del contatto tra due corpi di cui uno a temperatura maggiore dell'altro e quindi per lui «sorgente di calore senza produzione», dopo un periodo di tempo durante il quale il corpo a temperatura maggiore cede calore a quello a temperatura minore, si ha una situazione di equilibrio detto *equilibrio statico* per cui non c'è più passaggio di calore tra i due oggetti (e però c'è tra i due corpi e l'ambiente) e i due oggetti sono alla stessa temperatura.

Per interpretare i fatti, non è però sufficiente utilizzare solo i concetti di temperatura e calore: oltre a grandezze non specificamente termiche come massa, peso, volume, densità, peso specifico, tempo ecc., occorrono anche altri elementi, in particolare va studiato in dettaglio il ruolo che può

avere il materiale. Per chiarire questo punto, torniamo al caso esposto sopra in cui abbiamo una sorgente di calore con produzione ed un oggetto in contatto con essa (o meglio, con una sua parte). A seconda del tipo di materiale — conduttore o isolante — che costituisce l'oggetto in questione e del suo stato di aggregazione — solido, liquido, aeriforme — succedono cose diverse.

In generale vengono detti conduttori quei materiali che ricevendo calore in un punto, lo trasmettono rapidamente agli altri punti (o eventualmente ad altri corpi con cui sono a contatto). Si pensi ai metalli: vi sono innumerevoli esperienze quotidiane che sono il risultato della loro buona conducibilità di calore. Ad esempio ci conviene, cucinando il risotto, mescolare con un cucchiaino di legno e non con uno di metallo altrimenti, dopo un po', quest'ultimo ci trasmette calore che arriva dal risotto e ci scottiamo. Viceversa sono detti isolanti termici quei materiali che si lasciano attraversare dal calore con molta meno rapidità.

Questo tipo di trasmissione del calore viene detto *trasmissione per conduzione*, e la proprietà dei materiali di consentire che il passaggio di calore avvenga in modo più o meno rapido, viene detta *conducibilità*.



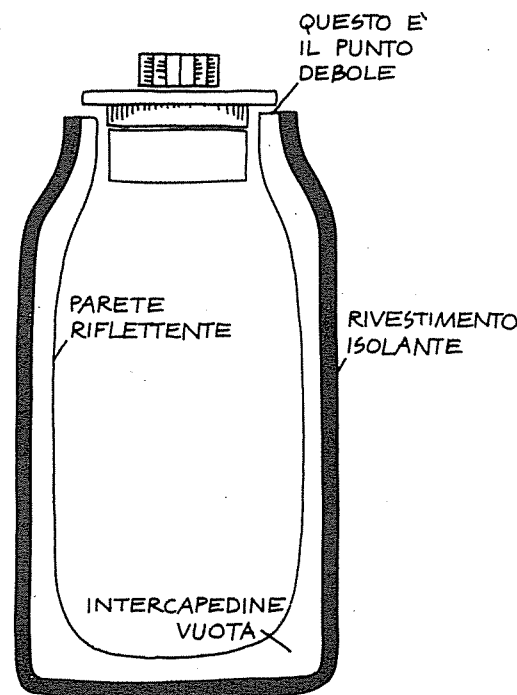
Un esempio di convezione: la pasta sale e scende nella pentola trasportata dalle correnti che si formano nell'acqua bollente.

Nel caso di liquidi e di gas, il trasporto di calore da un punto ad un altro avviene per la maggior parte con il meccanismo della *convezione*, cioè tramite trasporto di materia (l'aria calda ha un peso specifico minore di quella fredda, quindi tende a salire, mentre quella più fredda scende...). Per questo motivo l'aria costretta a star ferma è un buon isolante (aria racchiusa tra doppi vetri, aria trattenuta tra i peli degli animali...).

Vi è infine la *trasmissione di calore per irraggiamento* che avviene tra superfici a temperatura diversa. Per questo tipo di trasmissione non c'è contatto tra corpo emittente e corpo ricevente, né c'è trasporto di materia, si tratta di emissione di onde elettromagnetiche.

In generale tutto l'insieme di questi concetti viene classificato sotto il titolo «trasporto del calore». In alcuni testi questo tema non viene neppure trattato. Tuttavia per noi è un tema irrinunciabile, dato che è assolutamente indispensabile per capire la realtà quotidiana sia fisica che biologica.

Vediamone un esempio dal campo fisico: il thermos. Si pensi a come è fatto un thermos (in fisica è chiamato «vaso dewar»).



Schema di un thermos.

Le pareti sono solitamente sottili e di materiale a bassa conducibilità per diminuire il passaggio di calore per conduzione. Tra le pareti c'è il vuoto per evitare il passaggio di calore per convezione. In generale le pareti sono riflettenti per ridurre l'irraggiamento.

Si può infine considerare il ruolo del materiale ai fini del raggiungimento dell'equilibrio statico.

Se si mettono a contatto due corpi inizialmente a temperature diverse e di cui nessuno sia sorgente di calore con produzione, quello a temperatura maggiore T_1 cede calore a quello a temperatura minore T_2 finché viene raggiunta una situazione di equilibrio statico con entrambi i corpi alla stessa temperatura T . Se non c'è dispersione di calore nell'ambiente esterno, ad esempio i due corpi sono in un isolante, tutto il calore ceduto dal corpo più caldo viene assorbito da quello più freddo. In formula:

$$Q_{ceduto} = Q_{assorbito}$$

$$C_1 (T - T_1) = -C_2 (T - T_2)$$

dove C_1 e C_2 vengono dette *capacità termiche* dei corpi. Se si usano in particolare corpi diversi fatti tutti della stessa sostanza si trova che:

$$C = c m$$

dove m è la massa e c dipende solo dalla sostanza di cui è fatto il corpo e prende il nome di *calore specifico*.

Questo permette di interpretare il fatto che, cedendo la stessa quantità di calore a masse uguali di sostanze diverse, si ottengono variazioni di temperatura che dipendono dalla sostanza di cui sono fatte e precisamente sono inversamente proporzionali ai calori specifici delle sostanze.

Concludendo: di un materiale si considera la conducibilità quando si studia il fenomeno del trasporto più o meno rapido di calore, si considera invece il calore specifico ad esempio quando si passa dalla situazione iniziale di due corpi a temperature diverse messi a contatto, alla situazione finale di equilibrio statico.

Nelle situazioni del 1° tipo (si veda lo schema della pagina seguente) interessa la velocità con cui il calore è trasmesso, in quelle del 2° tipo quanto ne è stato trasferito per arrivare all'equilibrio.

SCHEMA	
Situazioni del 1° tipo	Situazioni del 2° tipo
Sorgente di calore con produzione	Sorgente di calore senza produzione
Equilibrio stazionario	Equilibrio statico
Velocità di trasmissione	Quantità
Conducibilità	Calore specifico

Questa distinzione tra quantità di calore trasferito e velocità del trasferimento non è semplice da effettuare e utilizzare nella interpretazione di realtà sperimentali. (I ragazzi tenderanno a confondere le due cose fino alla fine del lavoro).

Si potrebbe infine considerare il ruolo del materiale nei passaggi di stato. Supponiamo infatti che continuando a fornire calore a un corpo fatto tutto di uno stesso materiale se ne provochi la transizione dallo stato solido a quello liquido. Questo passaggio non avverrà istantaneamente ma richiederà un certo tempo, che dipenderà dalla massa del corpo e dal materiale di cui è costituito. Precisamente si chiama *calore latente* la quantità di calore che occorre per provocare il passaggio di stato (e bisogna specificare quale) di un grammo di una determinata sostanza a una certa temperatura e pressione. Consideriamo ad esempio l'acqua. Occorre fornire 80 calorie per far fondere un grammo di ghiaccio mentre occorrono circa 540 calorie per far evaporare un grammo d'acqua.

Potremmo aggiungere ancora tante idee, considerazioni, concetti della fisica. Tuttavia non si deve pretendere di insegnare tutto sulla fisica dei fenomeni termici entro la terza media.

Oltre a dover lasciare aperti problemi del tipo citato a proposito del ruolo del materiale, che richiederanno tempi lunghi di risoluzione, senz'altro non si potrà arrivare ad approfondire tutti gli aspetti: ad esempio l'interpretazione microscopica o i concetti di energia interna, di entropia ecc. Sarà possibile solo arrivare a un certo punto, che abbia senso sia dal punto di vista della fisica che per i ragazzi, da cui poi si potrà proseguire in tempi successivi.

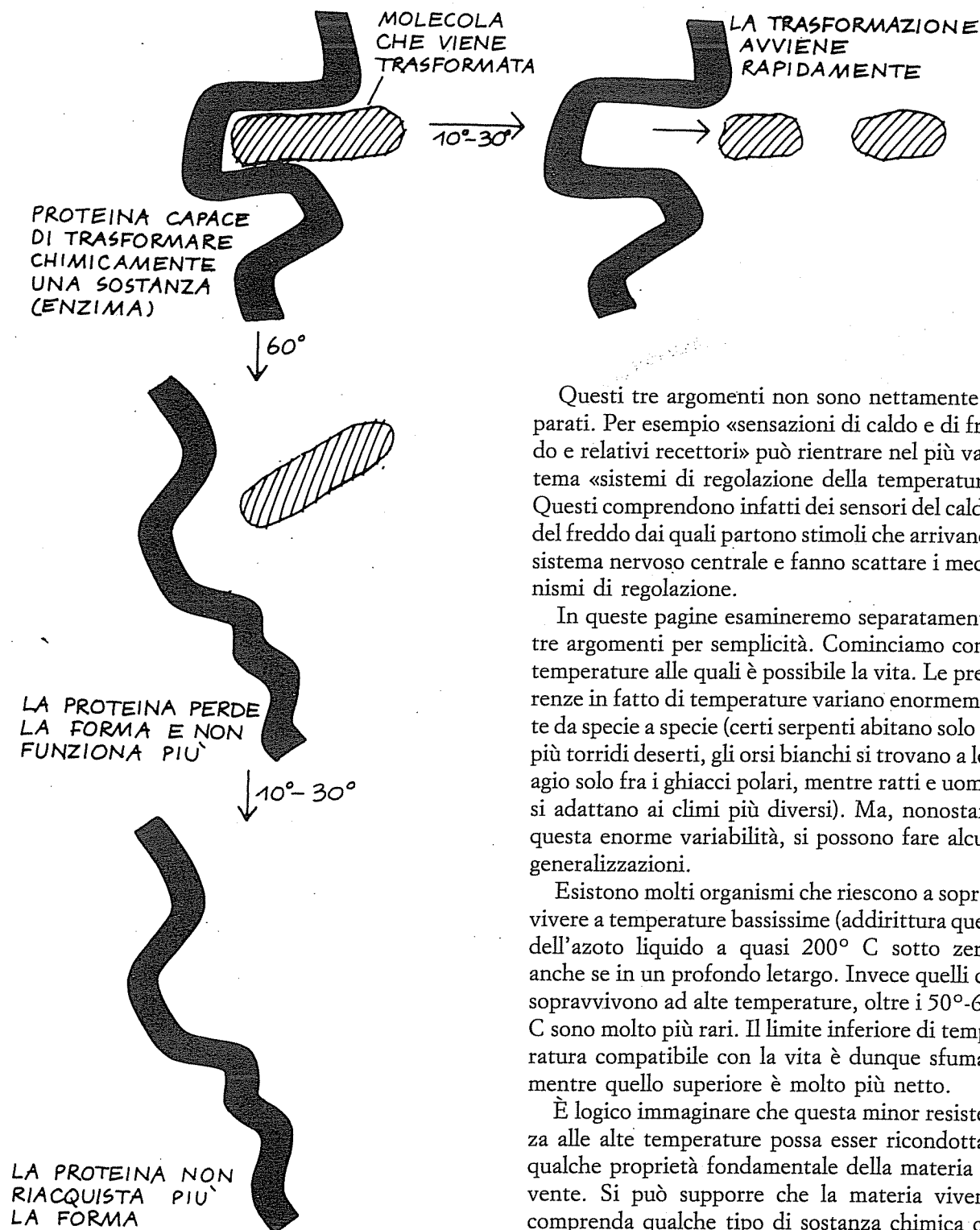
Abbiamo già detto che gli aspetti fisici e quelli biologici dei fenomeni termici sono profondamente intrecciati, ma in questo capitolo preferiamo separare i due campi disciplinari. Del resto fisica e biologia vengono insegnate come discipline distinte e la loro conoscenza separata da parte dell'insegnante deve necessariamente precedere l'operazione di fusione da fare in classe.

L'aspetto biologico

Calore e temperatura entrano in tutti gli aspetti della vita — non esiste una sola funzione vitale che non sia sensibile alla temperatura — ma in certi argomenti della biologia essi hanno addirittura un peso predominante. Ecco alcuni di questi argomenti:

- vita e temperatura (intervallo di temperature alle quali è possibile la vita; differenza nelle temperature ottimali per la vita di varie specie viventi; adattamenti di piante o animali a climi molto caldi o molto freddi...);
- regolazione della temperatura negli organismi omeotermi (come viene prodotto il calore del corpo, come viene disperso; in che modo produzione e dispersione si bilanciano tra loro in modo da mantenere costante la temperatura interna anche se quella dell'ambiente varia...);
- percezione degli stimoli termici (recettori per il caldo e per il freddo, caratteristiche che deve avere un oggetto per dare una sensazione di caldo o di freddo...).

Alle alte temperature gli esseri viventi perdono la proprietà di trasformare rapidamente sostanze chimiche di tutti i tipi perché le proteine si inattivano.



Questi tre argomenti non sono nettamente separati. Per esempio «sensazioni di caldo e di freddo e relativi recettori» può rientrare nel più vasto tema «sistemi di regolazione della temperatura». Questi comprendono infatti dei sensori del caldo e del freddo dai quali partono stimoli che arrivano al sistema nervoso centrale e fanno scattare i meccanismi di regolazione.

In queste pagine esamineremo separatamente i tre argomenti per semplicità. Cominciamo con le temperature alle quali è possibile la vita. Le preferenze in fatto di temperature variano enormemente da specie a specie (certi serpenti abitano solo nei più torridi deserti, gli orsi bianchi si trovano a loro agio solo fra i ghiacci polari, mentre ratti e uomini si adattano ai climi più diversi). Ma, nonostante questa enorme variabilità, si possono fare alcune generalizzazioni.

Esistono molti organismi che riescono a sopravvivere a temperature bassissime (addirittura quella dell'azoto liquido a quasi 200° C sotto zero), anche se in un profondo letargo. Invece quelli che sopravvivono ad alte temperature, oltre i 50°-60° C sono molto più rari. Il limite inferiore di temperatura compatibile con la vita è dunque sfumato mentre quello superiore è molto più netto.

È logico immaginare che questa minor resistenza alle alte temperature possa esser ricondotta a qualche proprietà fondamentale della materia vivente. Si può supporre che la materia vivente comprenda qualche tipo di sostanza chimica che «teme il caldo». E così è infatti.

I componenti della materia vivente che temono il caldo sono essenzialmente le proteine. Basta una temperatura di 50° C per rovinarne irrimediabilmente la maggior parte. E se si rovinano le proteine si blocca tutto perché tutte le più importanti funzioni vitali dipendono da loro: respirare, muoversi, crescere, introdurre sostanze utili, espellere sostanze dannose ecc.

Possiamo immaginare una proteina come una catena fatta da moltissimi atomi, ripiegata in modo complicato. Ogni proteina ha la sua forma particolare (a cordicella, a gomito ecc.) e la sua particolare funzione. La funzione dipende dalla forma, proprio come negli utensili fatti dall'uomo.

Intorno ai 50° le proteine si denaturano: la catena si srotola, perde la sua forma e la sua funzione e non le riacquista più col raffreddamento (vedi figura pagina precedente). La denaturazione è dunque un fenomeno irreversibile, proprio come la perdita della forma in una figura di cera che viene fusa: quando la cera risolidifica la forma originaria non si ripristina più. Se la denaturazione fosse reversibile l'uovo sodo tornerebbe crudo una volta raffreddato e magari potrebbe venirne fuori un pulcino.

Concludendo: gli esseri viventi non possono vivere a temperature superiori a 40°-50° C perché a queste temperature le loro proteine si denaturano. Questo è un bellissimo esempio di riduzionismo. Una proprietà di un sistema immensamente complesso come l'essere vivente può essere ricondotta a una proprietà di un suo componente enormemente più semplice.

Possiamo camminare per un altro tratto lungo questa strada riduzionistica. La maggior parte degli esseri viventi muore miseramente quando la temperatura si avvicina ai 40°-50° C, ma al disotto di questo limite sta meglio al caldo che al freddo. Infatti tutti i processi vitali si basano su reazioni chimiche e tutte le reazioni chimiche sono più veloci quanto più alta è la temperatura. Ma nel caso degli esseri viventi c'è un limite a questa tendenza: alta temperatura - reazione veloce. Infatti le reazioni chimiche dei viventi procedono con sufficiente velocità solo se accelerate da particolari proteine: gli enzimi. Anche le reazioni accelerate da enzimi vanno più veloci se la temperatura aumenta, ma superato il fatidico limite di 40°-50°

C, gli enzimi cominciano a denaturarsi e non sono più in grado di svolgere la loro funzione. L'inattivazione degli enzimi compensa larghissimamente il beneficio delle alte temperature: di conseguenza le reazioni chimiche di un essere vivente rallentano a 50° C anziché accelerare.

Se guardiamo la nostra temperatura corporea di 37° C alla luce di queste nozioni dobbiamo concludere che essa è il risultato di un astuto compromesso tra due opposte esigenze: accelerare le reazioni aumentando la temperatura il più possibile, ma senza rischiare l'inattivazione degli enzimi.

Ricorrendo alle proteine si possono dunque spiegare molte cose sull'argomento «vita e temperatura». A questo punto un insegnante della scuola dell'obbligo potrà chiedersi: «Come devo utilizzare queste conoscenze? Devo parlare delle proteine in classe e quindi aprire un discorso chimico?».

Questo è possibile, almeno nelle medie, ma non è strettamente necessario. L'importante è che l'insegnante sappia che cosa si nasconde dietro a tanti fenomeni che a noi sembrano banali. Questo dà molto maggiore sicurezza nel rispondere a domande impreviste e permette di programmare con maggior consapevolezza il lavoro in classe.

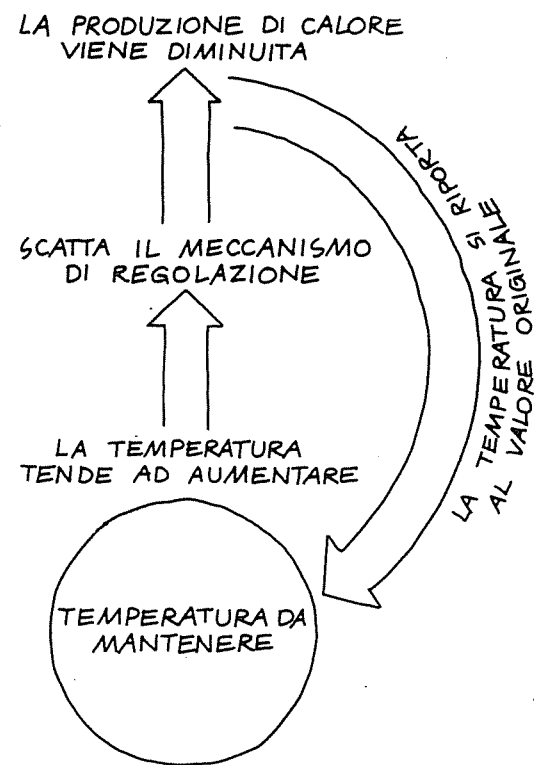
La chimica entra largamente anche nella generazione di calore da parte degli esseri viventi. Consideriamo per semplicità il caso del nostro organismo. Gli alimenti assorbiti dall'intestino vengono trasportati dal sangue a tutte le parti del corpo dove si combinano con l'ossigeno, trasportato anch'esso dal sangue. Questo processo può essere chiamato «ossidazione» se riferito al tipo di reazione chimica o più specificamente «respirazione» riferendosi solo alle ossidazioni che avvengono negli esseri viventi.

L'ossidazione degli alimenti produce energia che viene sfruttata dall'organismo per molti usi: fabbricare nuovi materiali per la crescita, muoversi, trasmettere impulsi nervosi... Ma non tutta l'energia prodotta viene utilizzata per questi scopi: una parte si libera come calore e si disperde nell'ambiente.

Le trasformazioni energetiche che accompagnano l'utilizzazione degli alimenti rappresentano un altro larghissimo ponte che collega biologia e fisica. Ma non possiamo parlarne qui: ci limitiamo a segnalarne l'esistenza. Quando l'utilizzazione del-

l'energia sta al centro dell'interesse il calore prodotto dalla respirazione viene visto, giustamente, come un sottoprodotto di secondaria importanza. Ma se l'interesse è spostato sulla produzione di calore si rischia di far credere ai ragazzi che le ossidazioni nell'organismo servano soprattutto a questo scopo. Invece il calore va considerato come una forma di energia che compare inevitabilmente durante qualunque trasformazione energetica. Visto che c'è e non si può eliminarlo, il nostro corpo ha trovato il modo di sfruttarlo ingegnosamente per aumentare la sua temperatura. Qualche cosa di simile succede in un'automobile in cui il calore, sottoprodotto indesiderato della combustione della benzina, viene usato per riscaldare la vettura.

Il paragone con l'automobile ci suggerisce un'osservazione più generale. Certe conoscenze tecnologiche sono una base utilissima per la biologia. Esse permettono di fare paragoni spesso notevolmente esatti (quanti organi non somigliano a macchine anche nei dettagli!) e permettono addi-



Schema di una regolazione auto-analitica della temperatura basato sulla retroazione. Un simile schema può essere valido sia per un termostato sia per un essere vivente.

rittura di introdurre concetti importanti di cui ecco un esempio. Moltissime caratteristiche del nostro corpo (temperatura, pressione del sangue ecc.) sono regolate molto precisamente e in modo completamente automatico. Questa regolazione è sempre basata sul principio della retroazione che si può capire nel modo più facile riferendosi al termostato dello scaldabagno o all'umile sciacquone del water.

Purtroppo, almeno nella nostra esperienza, la tecnologia è completamente ignorata dai ragazzi. I tempi in cui si usava dire: «I ragazzi di oggi sanno tutto di motori e di razzi interplanetari» sembrano preistorici. (Ma anche un tempo le conoscenze tecnologiche erano un privilegio esclusivamente maschile). Conseguenza: non si può dire in classe: «Pensate all'automobile in cui succede questo e questo come nel nostro organismo...». Anche l'automobile va spiegata.

Un'altra uscita verso la fisica connessa con questo argomento può essere quella del rendimento di una trasformazione energetica. Un organismo vivente o un motore possono essere considerati delle macchine che trasformano l'energia chimica contenuta negli alimenti o nel carburante in altre forme di energia. Abbiamo visto che in entrambi i casi una parte di questa energia viene trasformata in calore, anche se questo non era negli scopi della macchina. Ma quale percentuale dell'energia chimica si recupera in forma utile e quale va dispersa in calore? Il rendimento di una trasformazione energetica può essere immensamente variabile a seconda della macchina impiegata, ma, per caso quello di un muscolo e quello di un motore a benzina sono abbastanza vicini. In ambedue la percentuale di energia trasformata in calore è molto più grossa di quella trasformata in movimento. Questa fortunata coincidenza può rafforzare l'idea che le stesse leggi fisiche valgono per il muscolo e per il motore.

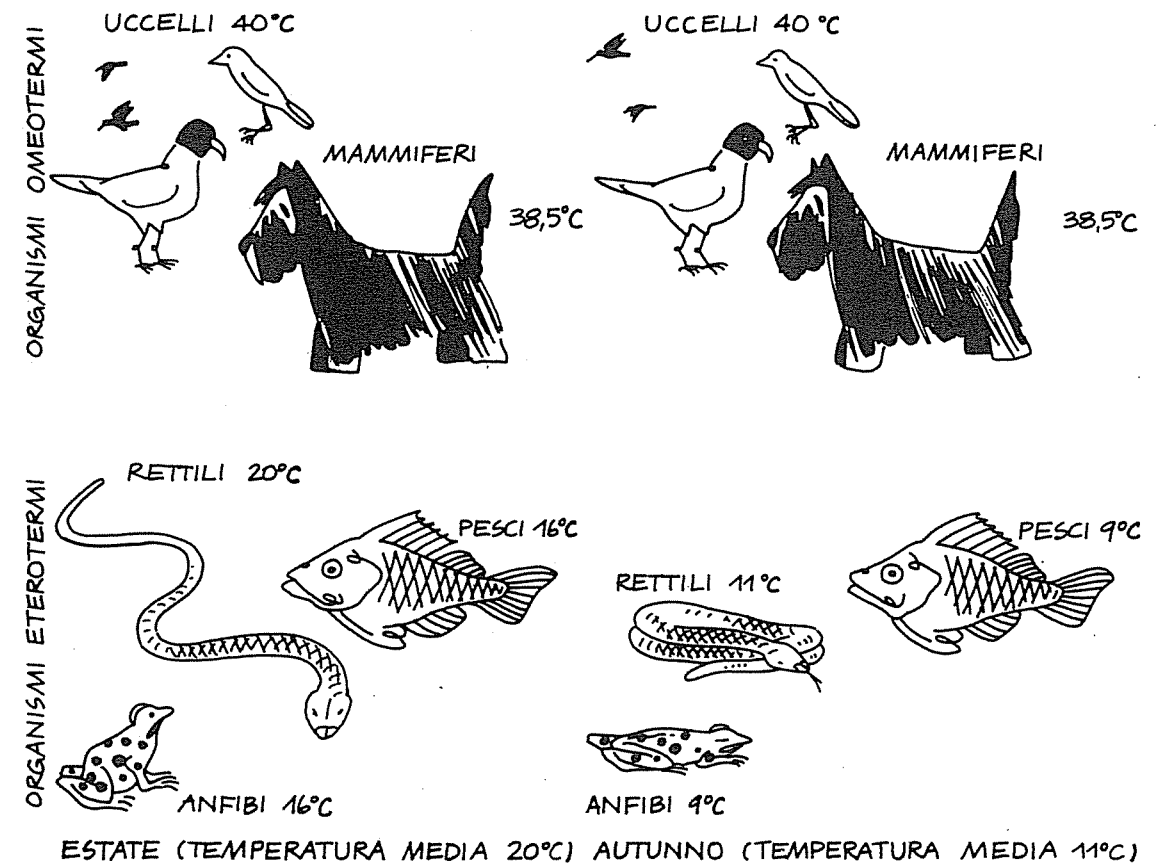
Ancora un argomento a favore della tecnologia. Quando paragoniamo l'organismo umano a una macchina lo facciamo solo per rendere più facile la comprensione, ma il paragone è qualche cosa di più di un'analogia didattica. Infatti dal punto di vista fisico è perfettamente lecito considerare gli organismi viventi come macchine trasformatrici di energia.

Impostando il problema in questo modo eliminiamo l'idea del calore come scopo principale dell'ossidazione degli alimenti, ma rischiamo di cadere nell'eccesso opposto, cioè di vederlo come un sottoprodotto dannoso che conviene eliminare il più possibile perché abbassa il rendimento. Ma le cose non stanno proprio così. I processi con alto rendimento hanno infatti lo svantaggio di essere molto lenti, sempre vicinissimi allo stato di equilibrio, cioè quasi fermi. Alta velocità e alto rendimento sono incompatibili. Un immaginario ghepardo che riuscisse a sfruttare il 99% dell'energia contenuta negli alimenti non riuscirebbe a inseguire neanche le lumache!

Purtroppo una spiegazione scientifica di questo fatto implica nozioni di termodinamica che sono decisamente fuori dalla portata dei ragazzi di una scuola media. Ma vale ugualmente la pena di ac-

cennare al dilemma rendimento/velocità per trasmettere, almeno a livello intuitivo, il messaggio fondamentale della termodinamica: non si può avere nulla gratis a questo mondo. Se vuoi alto rendimento lo paghi con la lentezza, se vuoi velocità la paghi col basso rendimento.

Veniamo alla regolazione della temperatura corporea. Agli organismi omeotermi si possono applicare molto bene alcuni dei concetti fisici di cui si è parlato prima. Gli omeotermi (anzi, tutti gli esseri viventi) possono essere considerati tipiche sorgenti di calore con produzione. La regolazione della temperatura corporea è un tipico caso di equilibrio stazionario. La temperatura resta infatti costante perché la quantità di calore prodotta durante un certo tempo è esattamente bilanciata dalla quantità di calore dispersa nello stesso intervallo.



Alcuni animali variano la temperatura a seconda della stagione, altri no.

Il punto su cui bisogna insistere per far capire la particolarità degli omeotermi è la loro capacità di mantenere una temperatura interna sempre costante nonostante le variazioni della temperatura esterna. L'organismo omeotermo contrasta queste variazioni: quando la temperatura scende produce più calore o ne disperde di meno; quando la temperatura sale fa viceversa. In altre parole l'organismo omeotermo sposta l'equilibrio tra produzione e dispersione di calore in risposta a variazioni di temperatura esterne.

Per ottenere una temperatura costante in condizioni esterne variabili l'organismo omeotermo può dunque lavorare sulla produzione di calore o sulla sua dispersione. Tra i due meccanismi ha un maggiore interesse fisico quello basato sulla velocità di dispersione. Vediamone alcuni aspetti.

La dispersione di calore può essere rallentata attraverso rivestimenti isolanti: il grasso che sta sotto la pelle, peli, piume. Naturalmente questi dispositivi non sono fatti per adattarsi a una rapida variazione di temperatura: nessun animale può farsi crescere una folta pelliccia in un'ora. Solo l'uomo ha questo privilegio: basta pensare al golf che si mette e si toglie dieci volte durante una capricciosa giornata primaverile.

L'organismo può regolare la sua temperatura facilitando o ostacolando il trasporto del calore dall'interno alla periferia. Questo meccanismo implica sia la conduzione che la convezione.

Alcune parti del corpo (muscoli, fegato) producono con le loro ossidazioni una gran quantità di calore. Il sangue che circola attraverso questi organi «porta via» il calore da essi prodotto: questo è un fenomeno di convezione molto simile a quello che avviene nelle tubazioni dei caloriferi. Attraverso il sangue il calore viene portato sino ai tessuti più superficiali che lo disperdono nell'ambiente sia per conduzione che per irraggiamento. I vasi sanguigni superficiali possono essere dilatati o contratti. Quando sono dilatati una gran quantità di sangue arriva alla superficie del corpo e la dispersione di calore è facilitata. La pelle appare rossa e calda: rossa perché lascia intravedere il sangue che scorre molto in superficie, calda perché il sangue trasporta calore. Quando invece i vasi superficiali sono contratti, i tessuti esterni scarsamente percorsi dal sangue fanno da isolante che si

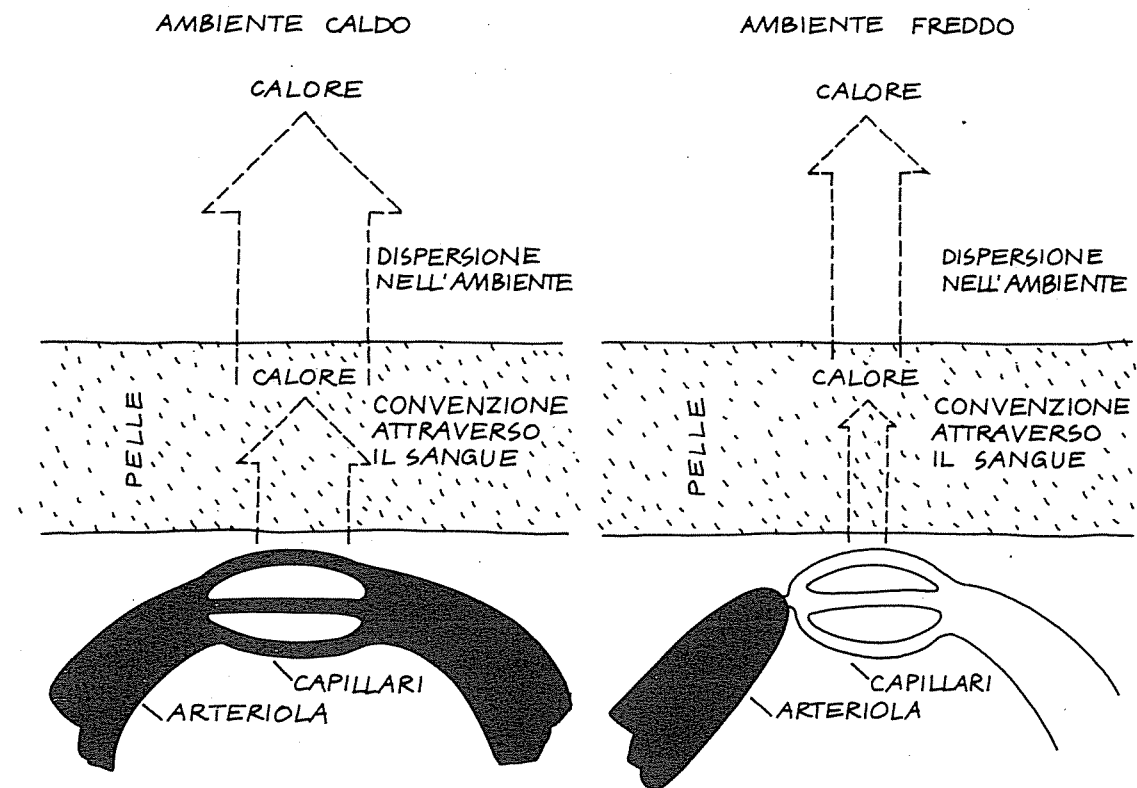
interpone tra la zona interna del corpo, più calda, e l'aria esterna. La pelle appare pallida e fredda.

Ribadiamo dunque quanto detto prima: l'argomento «trasporto del calore» è importante anche sotto l'aspetto biologico nonostante che certi testi di fisica gli diano poca importanza.

Un altro importante meccanismo per disperdere calore è la sudorazione. Qui entra il concetto fisico di calore latente: l'evaporazione dell'acqua «consuma» una certa quantità di calore che altrimenti provocherebbe un aumento di temperatura dell'organismo. Qui la tecnologia può nuovamente aiutare: un paragone con l'automobile fa capire più facilmente come è regolata la temperatura nel nostro corpo. Il motore ha un funzionamento ottimale a una certa temperatura che risulta da un equilibrio stazionario fra produzione e dispersione di calore: questo equilibrio è ottenuto mediante una regolazione automatica. Il calore prodotto dal motore è ceduto al liquido di raffreddamento (analogia col sangue) che lo disperde passando attraverso il radiatore. Questo ha una grande superficie a contatto con l'aria esterna che accelera gli scambi termici (analogia con i vasi sanguigni della pelle). Il flusso attraverso il radiatore è regolato da un termostato il quale apre più o meno il passaggio in base alla temperatura del liquido di raffreddamento (analogia col meccanismo di dilatazione e contrazione dei vasi superficiali).

Una volta spiegati i meccanismi essenziali della termoregolazione bisogna far capire ai ragazzi che essi non servono solo per compensare variazioni della temperatura esterna, ma anche per adattarsi a particolari condizioni interne, per esempio la generazione di una quantità di calore più grande del normale in seguito a uno sforzo muscolare. Le osservazioni che i ragazzi possono fare su se stessi dopo una corsa sono un riassunto di questi meccanismi. Il respiro è più frequente e il cuore batte più veloce perché i muscoli hanno bisogno di una maggiore quantità di ossigeno. Fra un po' la richiesta di ossigeno calerà perché la corsa è finita e il ritmo del cuore e del respiro tornerà normale. La pelle è rossa, calda e sudata: vengono infatti attivati tutti i meccanismi di dispersione per far fronte alla produzione extra di calore da parte dei muscoli. Si fa sentire la sete (l'acqua persa per mantenere la temperatura attraverso l'evaporazio-

La dispersione di calore può essere variata regolando l'afflusso di sangue alla pelle.



ne deve essere reintegrata) e la fame (i muscoli hanno consumato del combustibile e c'è bisogno di un nuovo rifornimento).

Subito dopo una corsa la temperatura del corpo può salire oltre i 38° C: in questo caso la termoregolazione funziona ancora, ma il termostato è tarato su una temperatura più alta.

Qualche cosa di simile vale anche per la febbre: la temperatura sale a 38°-40° C, ma arrivata a questo livello si mantiene costante sinché il termostato non viene nuovamente regolato su una temperatura più bassa.

Bisogna stare attenti a un trabocchetto psicologico contenuto nel concetto di regolazione. È logico immaginare che esista un'unica temperatura «giusta» del corpo: di conseguenza un cambiamento di questa temperatura viene interpretato come un guasto del meccanismo di regolazione. Invece il termostato non fa altro che spostarsi su una nuova regolazione: la temperatura non viene mantenuta costante solo durante questo spostamento che rap-

presenta un passaggio tra due stati di equilibrio diversi. Nell'organismo questo non è immediatamente evidente perché esiste una temperatura normale che viene mantenuta quasi sempre salvo condizioni eccezionali. La febbre è vissuta come malattia e quindi malfunzionamento, l'aumento di temperatura dopo sforzi è ignorato. Tutto risulta molto più chiaro facendo il paragone con l'impianto di riscaldamento regolato da un termostato che può essere posizionato a diverse temperature. (Notate nuovamente la potenza dell'analogia che può chiarire tutte le fasi del processo sia nella macchina che nell'essere vivente anche se i meccanismi sono diversi). Quando la temperatura di una stanza è regolata a 18° C esiste un determinato equilibrio fra produzione e dispersione di calore il cui risultato è questa temperatura. Se spostato il termostato a 20° C abbiamo una breve fase di squilibrio durante la quale la produzione di calore è maggiore della dispersione. Una volta raggiunti i 20° C si stabilisce un nuovo equilibrio.

Un meccanismo di regolazione, naturale o artificiale che sia, deve necessariamente comprendere dei sensori i quali avvertono la temperatura e, se questa è variata, mettono in moto il meccanismo di regolazione. Nel nostro corpo esistono due tipi di sensori: quelli della temperatura del sangue nell'ipotalamo alla base del cervello e quelli della temperatura esterna nella pelle. Dei primi non avvertiamo la presenza: si può accennare alla loro esistenza in uno schema del nostro meccanismo di regolazione della temperatura, ma senza insistere a lungo. Conviene invece concentrare l'attenzione sui recettori termici della nostra pelle che si prestano bene all'esperienza diretta.

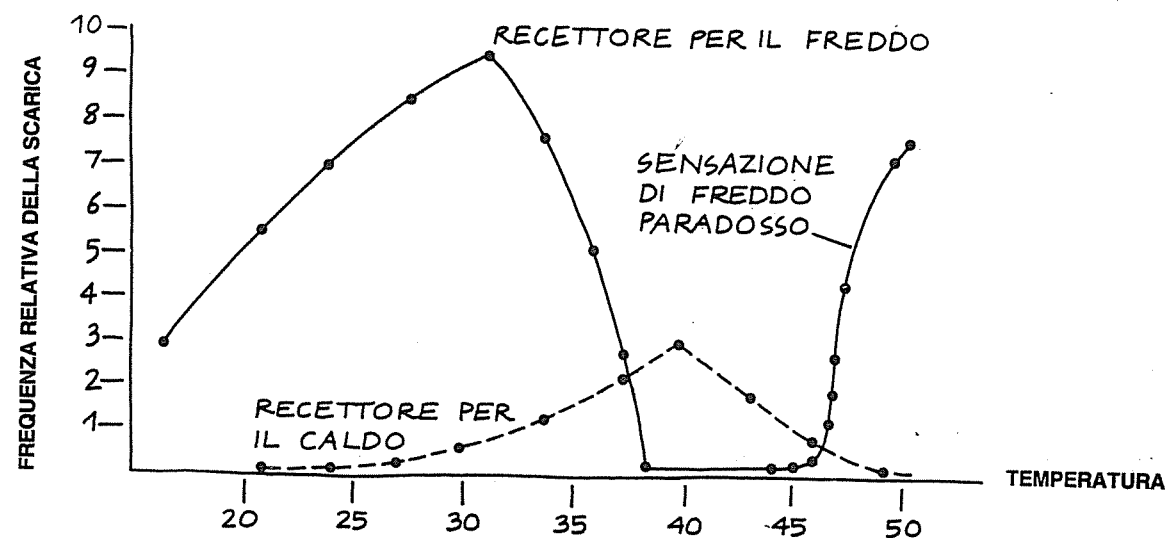
Esistono nella nostra pelle dei recettori distinti per il caldo e per il freddo. Si arriva così al paradosso che un'idea falsa per la fisica è vera per la biologia. Infatti per la fisica la distinzione tra «caldo» e «freddo» come entità indipendenti e contrapposte è assurda. In fisica «caldo» e «freddo» sono solo concetti relativi; 1106°C è caldo rispetto a 984°C e freddo rispetto a 1169°C . Invece in biologia 5°C è «freddo» senza nessun bisogno di riferimento ad altre temperature perché il riferimento implicito è una temperatura ottimale (20°C - 25°C) alla quale il nostro organismo deve

fare il minimo sforzo per mantenere costante la propria temperatura.

Il concetto biologico di «freddo» come entità a sé stante arriva sino al linguaggio comune che è strettamente legato all'esperienza dei nostri sensi. Non si dice: «sento il calore del mio corpo che sfugge», ma si dice: «sento il freddo penetrarmi nelle ossa». Non è il calore che esce, è il freddo che entra.

Ci troviamo davanti a una situazione paradossale. Per far capire ai ragazzi che non esistono «caldo» e «freddo», ma solo «più caldo» e «meno caldo», bisogna fare un lungo lavoro in classe demolendo con fatica preconconcetti profondamente radicati. Quando si arriva alla biologia si scopre che questi preconconcetti avevano un certo fondamento. Questo fondamento biologico spiega probabilmente la loro esistenza nel linguaggio di tutti i giorni e nel senso comune.

Un'altra particolarità dei nostri recettori termici è quella di essere più sensibili al passaggio di calore che alla temperatura in assoluto. Se si toccano un righello di legno e uno di metallo ambedue alla temperatura di 20°C si sente più freddo quello di metallo perché il passaggio di calore dal nostro corpo è più rapido essendo il metallo un



Andamento della scarica di due fibre nervose una delle quali innerva un recettore del freddo, l'altra un recettore del caldo, in funzione della temperatura.

miglior conduttore del legno. (Ecco che c'entra di nuovo la conduzione!). Questo fenomeno è chiaramente avvertibile in una ristretta fascia di temperature, ma è importante perché porta nuovamente a un contrasto tra biologia e fisica: legno e metallo sembrano avere temperature diverse, ma il termometro dice che sono uguali.

Le nostre sensazioni termiche possono dipendere fortemente da sensazioni precedenti. Se si im-

merge una mano in acqua fredda e poi in acqua tiepida questa sembra calda, mentre sembra fredda se la mano era stata immersa in acqua calda. Questa memoria degli eventi precedenti è più spiccata nei recettori biologici che negli strumenti di misura fisici, ma essa può essere utilizzata per aprire un discorso fisico. Partendo da questa situazione si può infatti far sentire l'esigenza di un metodo «obiettivo» per misurare la temperatura.

Fisica e biologia: un confronto

Chi ha avuto la pazienza di leggere queste pagine avrà certamente notato la diversa impostazione della parte fisica da quella biologica.

Nella parte fisica si è cercato di costruire un sapere minimo, ma coerente sull'argomento cercando di collegare il più possibile un'idea all'altra in una progressione continua. La parte biologica è molto più slegata: l'unico filo conduttore è quello dell'aspetto termico che però viene applicato a fenomeni molto diversi. Questo non dipende solo dal fatto che le due parti sono state scritte da due persone diverse, ma dipende da una profonda diversità fra le due discipline.

In fisica l'argomento «temperatura e calore» è centrale, in biologia invece no. Per convincersene basta paragonare gli indici di un libro di fisica e di uno di biologia generale. Nel libro di fisica almeno un capitolo sarà dedicato interamente agli aspetti termici, nel libro di biologia no.

«Temperatura» e «calore» c'entrano dappertutto in biologia (ne abbiamo dato qualche esempio in queste pagine), ma i concetti portanti della biologia sono diversi. Nell'indice del testo di biologia troveremo fra gli argomenti fondamentali: evoluzione, livelli di grandezza e organizzazione, regolazione delle funzioni e dello sviluppo, trasmissione dei caratteri ereditari... Il calore c'è sempre e può entrare in ognuno di questi argomenti, ma sta

sullo sfondo, proprio perché non si tratta di una proprietà tipica degli esseri viventi. È giusto di conseguenza che l'argomento «fenomeni termici» sia organizzato secondo uno schema prevalentemente fisico. La biologia può servire all'inizio per polarizzare l'interesse sull'argomento (sensazioni di caldo e freddo) e più avanti per ampliare l'orizzonte, per far vedere che la fisica offre una chiave di interpretazione applicabile anche agli esseri viventi.

Per dirla in breve: le leggi della fisica sono più universali di quelle della biologia. Gli esseri viventi sottostanno a tutte le leggi della fisica, ma in più hanno una serie di principi organizzativi che valgono solo per essi. Studiando la realtà sotto l'aspetto fisico si possono considerare anche gli esseri viventi come applicazione particolare di certi principi molto generali, ma se ci limitiamo al solo aspetto fisico i caratteri più tipici degli esseri viventi ci sfuggono.

È giusto di conseguenza che fisica e biologia vengano insegnate come discipline separate dato che i loro problemi e il loro linguaggio sono profondamente diversi, ma è altrettanto giusto che si mettano in evidenza i numerosi punti di contatto tra le due discipline come abbiamo tentato di fare in questo libro.

La metodologia

Il metodo di lavoro che abbiamo utilizzato nelle nostre classi e che proponiamo di applicare nell'articolazione della nostra proposta è stato messo a punto nel corso degli anni in base a numerose considerazioni pedagogiche, psicologiche e cognitive. Non è possibile in queste pagine approfondire tali tematiche per le quali si rimanda alle opere in bibliografia. Qui di seguito schematizziamo per punti gli elementi fondamentali che guidano la nostra proposta di lavoro in classe e che verranno ripresi ed esemplificati nel seguito.

a) La conoscenza scientifica non viene data in blocchi preconfezionati che i ragazzi devono ascoltare, eventualmente vedere applicati in esperienze dimostrative, e quindi riprodurre o ripetere. Viene invece stimolata una costruzione di conoscenza per portare i ragazzi dai punti di partenza differenziati cui ognuno di essi si trova prima dell'intervento didattico, a punti di arrivo, che non saranno già definitivi, ma comunque più vicini alla conoscenza accreditata.

b) Il processo descritto in *a)* in generale avviene in tempi e modi differenziati nei diversi ragazzi, in quanto ciascuno di essi ha diversi tempi e modi di apprendimento.

c) Viene sollecitata l'interazione tra alunni e tra alunni e insegnante attraverso:

- discussioni a piccoli gruppi;
- discussione con tutta la classe;
- lavoro sperimentale individuale;
- lavoro sperimentale a piccoli gruppi;
- lezione dalla cattedra;
- eventuali esperimenti dimostrativi.

d) Si lasciano liberi e anzi, soprattutto nelle fasi iniziali, si sollecitano i ragazzi ad usare tutti i canali espressivi a loro disposizione:

- scritto;
- parlato;
- disegno;
- gesto.

e) Il lavoro sperimentale è articolato a vari livelli: si parte generalmente da esperienze qualitative che in una fase iniziale sono integralmente tratte (o quasi) dalla esperienza comune. Successivamente esse vengono via via raffinate e selezionate fino a diventare esperienze con rilevazioni quantitative e anche veri e propri esperimenti di laboratorio. Sottolineiamo che questi ultimi non vengono mai introdotti né come prima, né come unica componente sperimentale.

f) L'effettiva sequenza di lavoro da realizzare in classe, non può essere decisa tutta a priori (così come è nello stile delle unità didattiche), a meno di non rinunciare al metodo esposto nei punti precedenti.

In pratica si devono avere molto chiari in mente gli obiettivi fondamentali, circa i contenuti e circa le abilità operative e di formalizzazione che si intendono incrementare, ma tuttavia non si deve pretendere di vincolare a priori il percorso, tralasciando gli spunti e le sollecitazioni preziose che provengono dall'interazione con la classe.

Nel lavoro con le nostre classi, sapevamo fino dall'inizio che i temi da affrontare erano quelli riportati nell'introduzione di questo scritto e ab-

biamo fatto una programmazione a grandi linee. Lezione per lezione elaboravamo poi nei dettagli i passi successivi, sulla base dei dati che si venivano accumulando (relazioni scritte dai ragazzi in classe, compiti a casa, registrazioni e trascrizioni delle discussioni...) e che ci davano indicazioni sul progredire dei ragazzi nel loro processo di costruzione di conoscenza.

g) Quando parliamo di costruzione di conoscenza effettuata dai ragazzi in prima persona, non intendiamo però che tutto debba essere «reinventato» da loro. In realtà molti interventi di spiegazione o di indirizzamento nella osservazione e interpretazione dei fatti vengono effettuati da parte del docente e sono parte essenziale dell'itinerario. Tuttavia si evita per quanto possibile che questi interventi vengano vissuti dai ragazzi in modo autoritario (cioè senza che ne comprendano il si-

gnificato). Del resto, la verifica di quanto tale strategia di volta in volta abbia successo si ottiene facilmente osservando se i ragazzi spontaneamente riapplicano i concetti o le metodologie proposte. b) A questo punto sarebbe da inserire anche qualche indicazione e riflessione riguardante il come valutare i ragazzi e l'evoluzione del lavoro.

Il problema valutazione si presenta particolarmente complesso quando oggetto di valutazione diventa il processo di apprendimento di una rete di concetti.

Leggendo le proposte e il resoconto del lavoro effettuato in classe, ci si potrà rendere conto di quanto abbondante sia il materiale utile per valutazioni sia globali della classe, sia individuali dei singoli ragazzi. Preferiamo quindi parlare di questo problema nella parte conclusiva anche alla luce di questo materiale.

La proposta di lavoro

Premessa

In questa parte si danno degli spunti su come articolare il lavoro nelle classi. Coerentemente con le nostre scelte ideologiche e metodologiche quanto segue non può essere una traccia di lavoro strutturata. Abbiamo lavorato sul tema «fenomeni termici» per alcuni anni, in classi diverse, in contesti socio-culturali diversi. Ogni volta abbiamo verificato che, ferme restando le scelte fondamentali disciplinari e metodologiche già illustrate nella prima parte introduttiva, l'interazione con la classe ci ha portato a costruire percorsi didattici diversi, perché diversi erano i ragazzi e le esperienze a cui facevano riferimento e su cui avevano costruito schemi di interpretazione della realtà.

Avremmo potuto scegliere di *raccontare* la nostra esperienza (o anche le nostre esperienze).

Un racconto, per quanto articolato e fedele, fissa però sempre alcuni aspetti di una realtà, impoverendola. Inoltre diventa, per chi lo legge, un *solido riferimento* creando anche inconsciamente schemi di confronto se non addirittura di valutazione: tutto questo a scapito di una *attenzione propositiva* sulla propria azione didattica.

Abbiamo quindi deciso di scegliere una strada che, anche se probabilmente è più difficile tanto per noi che scriviamo che per chi legge, cerca di rendere l'articolazione e la ricchezza della proposta. Pertanto nel proporre la traccia del lavoro in classe cercheremo di tenere presenti piani diversi.

- Una proposta che non è mai quella provata da noi in un *particolare contesto* di classe, ma che tiene conto di tutte le nostre esperienze (senza, ovviamente, assurde e insensate pretese di generalizzazione).
- Un'espansione o un'alternativa rispetto alla prima proposta.
- Una riflessione sulle probabili (o almeno ipotizzabili) risposte della classe, riflessione che contribuisce a valutare l'apprendimento della classe e a strutturare il passo successivo.

- Un resoconto della nostra esperienza su situazioni analoghe a quelle proposte, citando ovviamente il materiale prodotto dai *nostri* ragazzi e proponendo la *nostra* interpretazione e riflessione.

Questo potrebbe suggerire *spunti* di interpretazione e di riflessione sul materiale prodotto nella realtà di classe di chi sta effettuando l'esperienza proposta.

I diversi piani di proposta non sono così schematizzati nell'articolazione del discorso che segue: sono comunque tutti sempre o quasi sempre presenti, anche se molto intrecciati fra loro. Il tentativo di procedere schematizzandoli, a un certo punto della stesura è stato fatto; portava però ad una inaccettabile forzatura. Quindi abbiamo rinunciato, lasciando a chi legge un'intelligente interpretazione e utilizzazione di quanto proponiamo.

La proposta è pensata da realizzarsi suddivisa in diversi anni della scuola elementare e/o della scuola media inferiore e non in un periodo troppo concentrato e ristretto. Come abbiamo già detto nell'introduzione, molte delle proposte iniziali si possono proporre fin dal secondo ciclo della scuola elementare, raggiungendo risultati ovviamente diversi soprattutto per il livello di gestione e formazione delle variabili, rispetto a quanto da noi esemplificato.

Nelle nostre proposte e/o esemplificazioni solo i primi passaggi fanno riferimento esplicitamente alla prima media, quindi si fa riferimento ad una classe seconda che poi proseguirà il lavoro in terza.

La divisione del lavoro nelle diverse classi non è data però espressamente perché a nostro avviso non è così rigida ed è funzione sia della situazione di partenza dei ragazzi che degli obiettivi che si intendono raggiungere.

Proposta 1

Un primo lavoro di osservazione

Visti i nostri obiettivi proponiamo di partire con una *sequenza sulla osservazione* che:

- a) ci permette di introdurre la problematica «osservazione e descrizione» di fenomeni;
- b) ci porterà ad introdurre il lavoro sui fenomeni termici.

Chiediamo ai ragazzi di descrivere quanto hanno fatto dal momento in cui si sono alzati al momento in cui sono venuti a scuola. Possiamo chiedere che ognuno scriva un suo resoconto oppure che qualcuno racconti. In ogni caso conviene lasciare un ragionevole intervallo di tempo perché tutti riflettano sulla nostra richiesta e mettano a fuoco le cose che ritengono più significative.

Possono emergere le seguenti osservazioni.

- I racconti/resoconti sono molto diversi: alcuni allievi fissano l'attenzione su quanto vedono accadere intorno a loro e lo comunicano, altri si dilungano nel dare informazioni sul tragitto e sugli eventuali mezzi di trasporto che usano, altri ancora raccontano gli incontri con i compagni sulla via della scuola, altri poi comunicano le loro impressioni, idee, progetti sul lavoro che li attende a scuola (o sul compito eseguito o no), e così via.
- I ragazzi non fanno riferimento ad una esperienza particolare (per esempio: che cosa è successo quella mattina o la mattina precedente, cioè non collocano nel tempo il loro racconto), ma tendono piuttosto a «teorizzare»: «di solito» succede che.... D'altro canto è nell'esperienza di ciascuno di noi che anche in un contesto ben più circoscritto, per esempio la descrizione di un oggetto che ha davanti, il ragazzo tende a generalizzare più che a comunicare quanto osserva. Non descrive la conchiglia o la mela che ha davanti, ma piuttosto «le» conchiglie o «le» mele.

- I ragazzi tendono a giudicare i racconti dei compagni e a classificarli in «giusti» e «sbagliati».
- I ragazzi perdono spesso il riferimento alla consegna di lavoro e tendono a chiedere spiegazioni e integrazioni sugli aspetti del racconto dei compagni che più li interessano. Si tratterà quindi di richieste molto diverse, a seconda del grado di coinvolgimento di ciascuno.

Riflessioni sugli obiettivi

Si vogliono portare i ragazzi alle seguenti acquisizioni:

- quando osservo la realtà ho davanti molti fenomeni, devo scegliere cosa voglio osservare;
- quando comunico, devo sapere qual è, e che cosa richiede, il destinatario della mia comunicazione;
- posso comunicare servendomi di diversi canali espressivi: posso scrivere, raccontare a voce, disegnare, rappresentare con gesti, e posso anche utilizzare più canali contemporaneamente.

Le diverse rappresentazioni non sono tutte equivalenti, ma si prestano a mettere in evidenza aspetti diversi di quello che si vede accadere. Per esempio un disegno più che servire ad «abbellire» la descrizione, serve a comunicare qualcosa che è difficile rendere nella descrizione a parole.

In questa fase, come si vede, ci poniamo obiettivi decisamente interdisciplinari. Ovviamente non possiamo discutere in astratto con i ragazzi i nostri obiettivi. Cerchiamo attraverso la sequenza di lavoro di far sì che incomincino a individuarli e metterli a punto.

Proposta 2

Che cosa osservare e per quale scopo

La proposta seguente è un esempio di lavoro finalizzato agli obiettivi sopra esposti ed è articolato in due giorni successivi.

a) Un giorno chiediamo ai ragazzi di porre attenzione a quello che faranno il giorno seguente dal momento in cui si alzano al momento in cui giungono a scuola per essere poi in grado di raccontare quanto è successo. Collochiamo così nel tempo la loro osservazione.

b) Il giorno seguente chiediamo di descrivere, giunti in classe, un «frammento» di quanto osservato. Scegliamo ad esempio la colazione, che è un momento vissuto da tutti.

Portiamo i ragazzi a rilevare che:

- è più facile descrivere quando c'è stata una precisa attenzione all'evolvere di una situazione (importanza del preavviso);
- confrontando la descrizione attuale con quella del giorno precedente in cui era più ampio il contesto osservativo, si nota che la descrizione è più puntuale e più ricca di particolari. (Facciamo per esempio contare le righe o le parole dedicate alla descrizione della colazione del mattino nei due lavori);

- esistono modalità estremamente diverse di descrizione: c'è chi disserta sulle scelte («ho deciso di non mangiare il pane e marmellata perché non avevo fame»; oppure «perché ero troppo in ritardo»; oppure «perché ho preferito il tè al solito caffè e latte»; oppure...). C'è chi racconta le discussioni con la madre che vorrebbe imporre la colazione quando il ragazzo non ne ha voglia, oppure che impone un particolare tipo di colazione... C'è chi prepara tutto da sé e descrive una lunga e analitica sequenza di azioni... C'è chi invece si limita a consumare la sua colazione senza nemmeno dover controllare la temperatura del latte o la quantità di zucchero perché trova tutto fatto.

c) Scegliamo una o più descrizioni e chiediamo di analizzarle pensando che siano di volta in volta dirette a destinatari diversi. Per esempio: ad una persona interessata a problemi o studi di alimentazione, a una persona interessata allo studio di fenomeni termici, a una persona interessata a problemi di arredamento ecc. Ogni volta le descrizioni andranno integrate con nuove informazioni, completamente diverse da quelle fornite in precedenza. Si può dunque riflettere sul fatto che non

esistono osservazioni e descrizioni «giuste» in assoluto, ma piuttosto è giusta l'osservazione condotta con coerenza sulla base di obiettivi stabiliti con chiarezza.

d) Diciamo ai ragazzi che il nostro interesse è volto allo studio dei fenomeni termici e che quindi da ora in poi leggeremo la realtà sotto questo particolare punto di vista. Con questa premessa quindi chiediamo di osservare il pranzo che faranno a mezzogiorno ponendo attenzione agli aspetti: caldo, freddo, riscaldare, raffreddare ecc., e di descriverlo con ricchezza di particolari. La motivazione di questa nuova consegna di lavoro che comporta l'osservazione di una nuova situazione, è che non riteniamo corretto utilizzare le situazioni descritte quando non avevamo la precisa chiave di lettura. Potremo rilevare che il campo osservativo (pranzo di mezzogiorno) è probabilmente ancora troppo ampio per ottenere una osservazione approfondita ed esauriente su tutti i fenomeni da mettere a fuoco.

Per esempio: la minestra è calda, fuma, c'è vapore; la voglio raffreddare: soffio, mescolo con il cucchiaino, aspetto prima di portarlo alla bocca; avevo freddo e la minestra mi faceva piacere; la bottiglia d'acqua tolta dal frigorifero si appanna...

A questo punto si può proseguire con la Proposta 3 oppure passare alle attività della Proposta 5 ritornando in un secondo momento alla Proposta 3 oppure affrontare ancora altri aspetti.

Questo lavoro serve sia a introdurre il tema ai ragazzi sia a dare a noi una idea su:

- cosa sanno già e come comunicano le loro conoscenze;
- di quali abilità osservative e descrittive sono in possesso.

Possibili alternative all'approccio sull'osservazione

Si suggeriscono spunti per approcci alternativi allo studio dei fenomeni termici in classe. Si possono introdurre i ragazzi a molte altre situazioni della vita di ogni giorno che riguardano il caldo e il freddo.

Un esempio è costituito dalle stagioni. I ragazzi possono ricordare molti fenomeni — riguardanti o no esseri viventi — che si accompagnano al caldo e al freddo, che segnalano la loro presenza anche se il caldo o il freddo non vengono avvertiti direttamente.

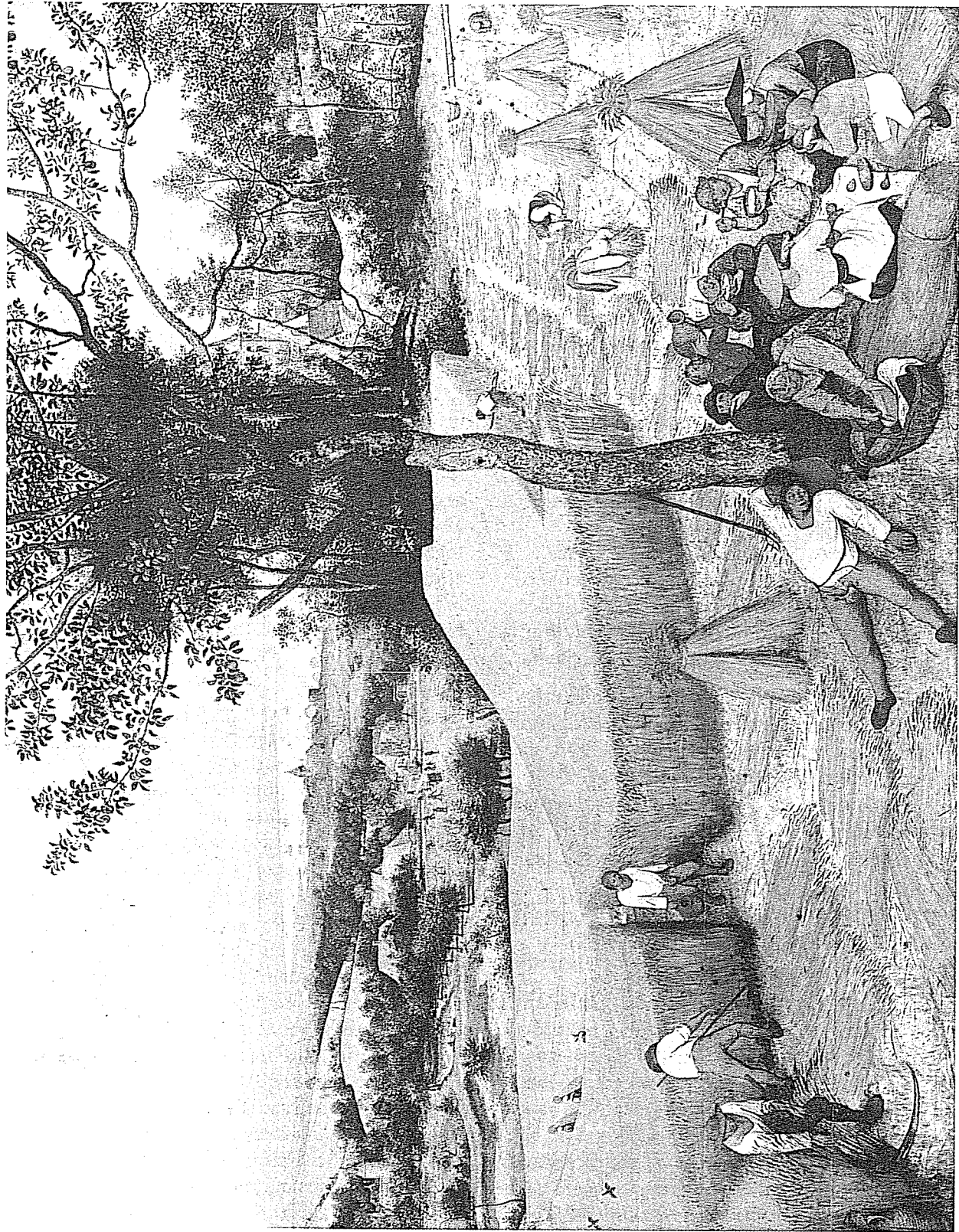
Diamo alcuni esempi di questi fenomeni.

D'estate: il cielo velato di vapori (ma in modo diverso rispetto all'autunno), la luce forte, l'erba gialla, gli uccelli che tacciono nelle ore meridiane, i cani con la lingua fuori, uomini e animali che cercano l'ombra, i colori predominanti dei vestiti (chiaro piuttosto che scuro), il tessuto di cui sono fatti i vestiti (cotone piuttosto che lana), i grandi cumuli di nuvole, i temporali violenti...

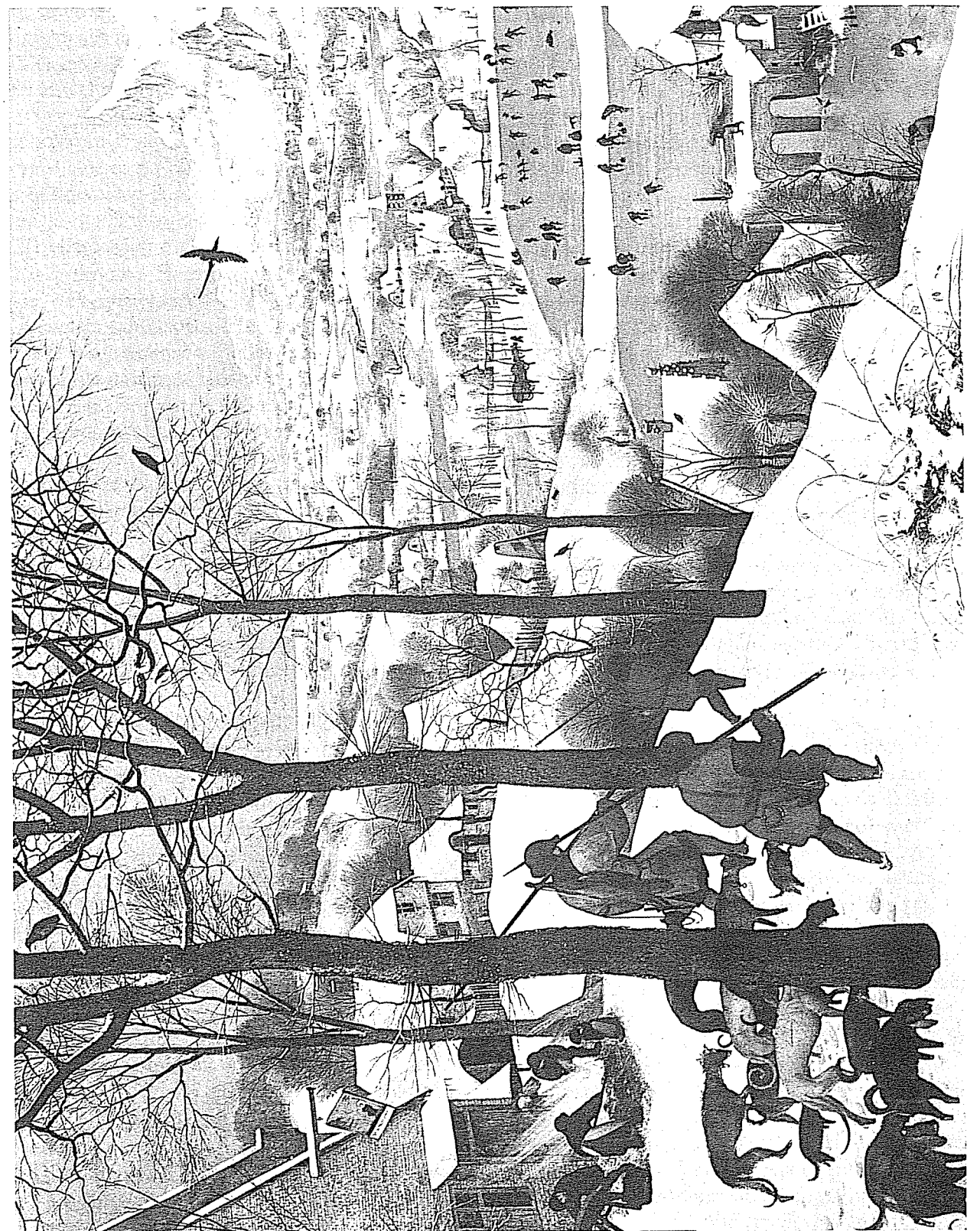
D'inverno: neve, nebbia, pioggia, brina. Gli uccelli se ne sono andati: sono rimasti solo i passerelli. Non ci sono più né rane, né mosche, né zanzare (dove mai saranno andate?), ma nelle case ci sono ancora topi, scarafaggi e forse anche formiche. Gli alberi spogli sembrano morti di fuori, ma se si toglie un po' di scorza è tutto verde e succoso. Il cielo, quando non ci sono nuvole o nebbia, è più limpido che d'estate; si vedono delle costellazioni bellissime che d'estate non vediamo: Orione, le Pleiadi ecc.

Anche in questo caso, si può partire da un quadro assai ampio che mobiliterà nel modo più vasto tutte le esperienze possibili dei ragazzi e poi si può man mano restringere verso gli aspetti che interessano maggiormente. Per esempio: la sensazione di caldo soffocante prima di un temporale e il refrigerio dopo. La meravigliosa sensazione di fresco, quando la sera si bagna l'orto.

In questo caso il coinvolgimento emozionale è probabilmente più forte che in quello della prima colazione (se non altro perché l'estate ricorda le vacanze). Questo coinvolgimento emozionale può essere rinforzato da letture sull'argomento. Un esempio potrebbe essere la poesia «Meriggiare pallido e assorto...» di Montale che non manca in nessuna antologia scolastica. Essa evoca fortissima la sensazione fisica dell'estate (il rovente muro d'orto, i tremuli scricchi delle cicale, il palpitare di scaglie di mare fra le fronde). La stessa sensazione di estate è vivissima in molti racconti di Italo Calvino, nell'*Isola di Arturo* di Elsa Morante, ecc. *Centomila gavette di ghiaccio* o *Il sergente nella neve*



Pieter Bruegel, MIETITURA.



Pieter Bruegel, CACCIATORI NELLA NEVE.

sono invece tipici esempi di libri tutti dominati dall'inverno. Molti altri esempi si possono trovare in brani di letteratura russa: le slitte, le persone impellicciate, i vasti paesaggi di neve.

Ripetiamolo ancora: è meglio iniziare un argomento nel modo più vasto possibile e poi, gradualmente, convogliare l'attenzione verso gli aspetti più legati a una determinata disciplina che si vorranno studiare in modo più particolareggiato. Solo in questo modo si riesce a far capire ai ragazzi che la realtà è enormemente complessa e che il suo studio analitico secondo una determinata disciplina non ne può esaurire tutti gli aspetti: esso rappresenta solo una necessità pratica per potersi tirar fuori dal mare della complessità.

Nella fase iniziale, oltre al coinvolgimento emozionale, è molto importante anche il coinvolgimento di tutto il corpo. Bisogna abituare i ragazzi a prestare attenzione a tante piccole sensazioni, spesso estremamente complesse, difficilmente descrivibili con i classici «cinque sensi». Un esempio di queste complesse sensazioni: si percepisce col tatto che una macchina chiara si scalda al sole meno che una macchina scura, ma si percepisce con tutto il corpo che i muri e l'asfalto, scaldati dal sole durante la giornata, irradiano calore dopo il tramonto, mentre un giardino o uno spiazzo coperto d'erbacce irradiano frescura. Questa sensazione è particolarmente forte se si tratta di un giardino appena innaffiato: essa è una mistura difficilmente definibile di sensazioni di fresco, umidità, odor di terra e di foglie... Per un fisico, l'idea di «irradiare calore» distinta da «irradiare fresco» sarà sbagliata, ma l'idea di «radiazione» acquista in tal modo una potente base intuitiva. L'«usare i propri sensi» nel significato più ampio va quindi favorito, anzi addirittura educato perché rafforza le fondamenta di successive costruzioni intellettuali che necessariamente saranno sempre più slegate dall'esperienza immediata.

Questa educazione a «sentire più intensamente» tutti i messaggi che arrivano dal mondo esterno (o dal proprio corpo in risposta a sollecitazioni esterne) può abituare i ragazzi a trovare piacere o interesse in tutto quello che li circonda, anche nelle cose apparentemente più banali. Lo «sfruttamento intensivo» del proprio ambiente porta a un atteggiamento mentale che si potrebbe definire il

contrario della noia. Esso permette di trovare in ogni istante tante piccole fonti di appagamento fisico e intellettuale che rendono meno necessari il ricorso al consumismo indiscriminato o la ricerca affannosa del profitto. (Stiamo scivolando nell'utopia, ma possiamo mantenere i piedi in terra se consideriamo l'insegnamento un processo a basso rendimento. È improbabile che si possa ottenere una simile trasformazione dei gusti in molti ragazzi, ma in qualche caso fortunato può accadere).

È possibile che la proposta di «dar retta alle proprie sensazioni» incontri inizialmente una certa resistenza da parte dei ragazzi, specialmente nelle scuole medie. Molto probabilmente nei loro precedenti anni scolastici essi sono stati abituati a privilegiare in modo eccessivo la vista e l'udito rispetto agli altri sensi. È già molto se essi sono stati abituati a osservare anziché solo a leggere e ascoltare l'insegnante... ma probabilmente si tratta di un osservare solo con gli occhi secondo la vecchia regola del «guardare e non toccare». E non parliamo nemmeno dell'annusare che viene considerato indegno come attività scolastica.

Negli Elaborati 1, 2 e 3 si dà un esempio di proposta di lavoro e di alcune risposte dei ragazzi sia di prima che di seconda media a proposito delle «sensazioni».

Senza questa premessa tutti i concetti astratti rischiano di rimaner confinati nei libri perdendo il riscontro con la realtà. Purtroppo all'insegnamento tradizionale il riscontro con la realtà non interessa, anzi esso viene visto come una fastidiosa perdita di tempo. Prendiamo per esempio l'introduzione all'argomento temperatura che si incontra in molti libri di testo. Essa è all'incirca di questo tipo: «Ognuno sa intuitivamente cosa vuol dire caldo e freddo, cosa vuol dire che un oggetto è più caldo di un altro ecc. Ma i sensi sono imprecisi e possono trarre in inganno. Perciò dimentichiamo al più presto le sensazioni e costruiamoci un bel'apparecchio di misura che sia veramente obiettivo in modo da poter ragionare con numeri».

Le sensazioni sono date per «ovvie» e scontate: si sente la fretta di arrivare al numero più presto possibile. Il ragionamento che sta alla base di una simile impostazione è all'incirca il seguente: «Quando sei arrivato ai numeri sei a posto. Da una sensazione non puoi estrarre la radice quadrata ma

da un numero sì», anche se forse non avrà nessun significato reale...

È vero che una misura esprimibile con un numero apre la strada a quel potentissimo strumento che è la formalizzazione matematica. Nessuno vuol mettere in dubbio questo, ma una misura che arriva troppo presto, che non è stata introdotta da una lunga discussione sulla sua utilità, scolasticamente parlando, è una bomba. O meglio è una colata di cemento che si sovrappone con violenza a un terreno di idee e sensazioni spontanee non ancora ben organizzate. Ma è una colata di cemento senza basi: dopo un po' essa si sgretolerà e il terreno sottostante tornerà in vista.

Questo passaggio violento alla misura quantitativa e alla matematica è l'inizio del non capire, o, peggio ancora, del credere di aver capito. È l'inizio del divorzio tra la realtà esterna e il mondo cartaceo della scuola che diventerà tanto più radicale quanto più si va avanti negli studi.

Logica obiezione: un'introduzione di questo tipo non rischia di far perdere un mucchio di tempo? Certamente, ma bisogna tener presente che siamo nella scuola dell'obbligo dove i programmi non sono vincolanti, dove i metodi sono più importanti dei contenuti. (Ma persino nelle scuole superiori, persino all'università varrebbe la pena di affrontare inizialmente i problemi nel modo più ampio possibile prima di passare a conoscenze più professionali e formalizzate: il tempo perduto all'inizio verrebbe rapidamente riguadagnato.) È chiaro che procedendo in questo modo si rischia di perdere un mucchio di tempo e di non arrivare alla fine dell'anno a certi obiettivi stabiliti all'inizio. Forse non si arriverà a definire esattamente i concetti di capacità termica, di caloria, di calore specifico, ecc. Ma a che cosa serve ripetere la definizione di calore specifico e forse anche saper-

la usare per risolvere un problema costruito *ad hoc*, se poi non la si sa applicare a situazioni reali?

Una base introduttiva molto larga serve ad acquisire confidenza con fenomeni che si studieranno più tardi in modo da poterne riconoscere la presenza nelle situazioni più diverse: fuori dai libri, fuori dalla scuola. Questa fase che potremmo chiamare «qualitativa», oltre a dare confidenza con i fenomeni, può dare confidenza anche con il linguaggio usato per descriverli, il che è quasi ugualmente importante. Dato che all'inizio ci si limita a confrontare varie esperienze attraverso la discussione e il racconto scritto o orale, i ragazzi dovrebbero abituarsi a un linguaggio appropriato quasi senza accorgersene.

Questo rendersi conto del significato delle parole è particolarmente importante nel caso dell'argomento «calore e temperatura», in cui l'uso scientifico dei termini può essere notevolmente diverso dall'uso comune. Prima di porsi problemi sull'uso scientifico delle parole, è bene che i ragazzi riescano a padroneggiare con disinvoltura il loro uso comune.

In conclusione: la scuola dell'obbligo è un'occasione unica per tentar di raccordare esperienza della realtà e teoria scientifica. A livelli di studi successivi è troppo tardi, irrimediabilmente. Infatti quanto più le conoscenze diventano astratte e sofisticate tanto più diventa probabile il distacco dalla realtà. Purtroppo lo studente non avverte questo distacco, a meno che non sia stato precocemente abituato a fare continui raffronti tra esperienza scolastica ed esperienza «esterna». Si arriva così all'università in cui gli studenti non immaginano nemmeno che ci possa essere una relazione tra quello che si studia e quello che si vede intorno a sé. Si impara che le foglie contengono clorofilla, ma si dimentica che sono verdi.

Proposta 3

Prime esperienze qualitative: dalla complessità del reale ad una prima «semplificazione»

Chiediamo di portare da casa contenitori vari.

A scuola forniamo acqua e cubetti di ghiaccio.

Organizziamo a gruppi i ragazzi.

Chiediamo loro di progettare ed eseguire alcune esperienze utilizzando come preferiscono il materiale di cui dispongono. Naturalmente hanno a disposizione anche «il loro corpo» e tutto l'ambiente circostante e, come vedremo nelle esemplificazioni, li utilizzano ampiamente.

Riflessioni sugli obiettivi

Si vuole passare dalla complessità della realtà quotidiana ad una situazione più ristretta e controllabile. Questa è una fase intermedia rispetto all'esperimento di laboratorio (inteso in senso classico) e al suo utilizzo tradizionale. In generale sui libri di testo vengono riportati diversi esperimenti sui fenomeni termici. Molto spesso l'esperimento segue l'argomentazione teorica, serve a verificarla, a convincere meglio i ragazzi dando concretezza al discorso. In alcuni casi l'esperimento precede l'argomentazione teorica e dovrebbe servire a far scoprire le cose ai ragazzi. In realtà però quello che viene esposto è già un esperimento molto ripulito e controllato e i ragazzi procedono in modo solo apparentemente libero: di fatto vengono incanalati verso una conclusione già prefigurata. Spesso, noi adulti, proponiamo esperienze che riteniamo

«semplici» ma che lo sono solo per noi, che sappiamo già cosa ci sta dietro, qual è la legge che governa il fenomeno e che inconsciamente già selezioniamo solo gli aspetti che sappiamo importanti.

Esempio: se si osserva un cubetto di ghiaccio che fonde in acqua si potrebbero notare molti fenomeni diversi: galleggia, l'acqua «fa le bolle», il ghiaccio è o no trasparente, il recipiente si appanna... Noi non prendiamo in considerazione questi aspetti perché già sappiamo che ai fini della fusione non sono fenomeni importanti, e tuttavia li prenderemo in considerazione se ci accingessimo allo studio di altri capitoli di fisica.

Infatti, in questo stesso esempio, se decidessimo di studiare l'appannarsi del recipiente (si veda la Proposta 5), l'aspetto «fusione» diventerebbe secondario. E se volessimo studiare il galleggiamento? L'aspetto «fusione» sarebbe addirittura di disturbo.

I ragazzi anche in esperienze semplici trovano difficoltà proprio perché vedono tante cose non avendo il nostro criterio di selezione. Noi riteniamo importante far esplicitare *tutte* le cose che vedono, vincendo la tentazione di portarli rapidamente alla conclusione sollecitando in qualche modo (anche implicito) di eliminare alcune variabili. Sono i ragazzi stessi che concludono che è necessario, per poter gestire la situazione, scegliere cose precise da guardare e incominciare a selezionare le variabili.

La scelta di materiale semplice e facilmente reperibile (oggetti di uso quotidiano) è dovuta, più che a ragioni di tipo pratico, alle scelte metodologiche già illustrate: vogliamo che anche attraverso le fasi sperimentali si sottolinei la nostra idea del «fare scienze». Si ritiene che gli esperimenti più tipici del laboratorio siano invece indispensabili quando si passa dalla fase di analisi qualitativa alla quantificazione delle grandezze. Quest'ultima è un momento importante, ma sicuramente non deve essere il primo e neppure l'unico, anche se sui testi e nelle unità didattiche pare l'unica proposta di esperimenti.

Poiché abbiamo provato questa proposta di lavoro in classi diverse, sappiamo che le risposte delle classi alle nostre richieste possono essere molto diverse.

Tra queste, schematizziamo due situazioni estreme:

- i ragazzi sono già abituati a usare un metodo sperimentale (sanno di dover fare ipotesi, previsioni ecc.);
- i ragazzi non sono ancora capaci di organizzarsi (non decidono cosa vogliono osservare prima di accingersi a farlo, nell'evolvere del lavoro dimenticano la scelta di osservazione e la sostituiscono via via con quello che più li colpisce).

Nel primo caso basta selezionare il materiale da fare usare nelle esperienze e lasciare liberi i ragazzi di organizzare con questo esperienze a piacimento.

Nel secondo caso non sarà sufficiente la sola selezione del materiale, ma si renderà necessario sia dare suggerimenti iniziali, sia intervenire nel lavoro individuale o del gruppo, sia discutere a posteriori con tutta la classe i problemi di metodo nella gestione della esperienza.

Racconto della nostra esperienza

Di seguito riportiamo gli appunti tratti dai «gruppi di lavoro» dei ragazzi di una seconda media, e che riguardano queste prime esperienze qualitative.

La classe aveva lavorato in prima sui seguenti argomenti:

- osservazione, classificazione, misura;
- temi di meccanica.

Nei primi mesi di seconda si era trattata la «variabilità in natura». Il metodo utilizzato era simile a quello qui proposto. La classe aveva maturato esperienze di lavoro a gruppi, di lavoro sperimentale, stesura di relazioni ecc.

Ci troviamo pertanto nella situazione più favorevole tra quelle ipotizzate.



Proponiamo di seguito le nostre riflessioni e le nostre analisi sui testi riportati. Ovviamente a seconda degli obiettivi che ci si propongono, le letture possono essere diverse. In particolare la nostra tiene conto delle nostre ipotesi di lavoro disciplinari e non.

Osservazioni

Nelle osservazioni che facciamo qui sul lavoro dei gruppi usiamo espressioni quali: sorgente di calore, temperatura, ..., nel senso che le discipline conferiscono a questi termini. Chiariamo che a questo stadio del lavoro in classe queste espressioni non sono attribuibili ai ragazzi e, anche se compaiono esplicitamente nei loro elaborati, non sempre sono usate nel senso disciplinarmente corretto. Riteniamo ciononostante che questo nostro modo di interpretare il lavoro dei ragazzi sia proficuo per comprendere molte cose e organizzarci il lavoro per il seguito.

Si può rilevare in più punti che i ragazzi, nel procedere, usano il proprio corpo sia come sorgente di calore, che come strumento di controllo delle temperature e sono sempre interessati alle sensazioni tattili. Questa «interferenza» tra aspetti biologici e aspetti fisici (siamo sempre noi adulti che li distinguiamo e non i ragazzi) è uno dei motivi che ci ha spinti a non affrontare subito l'argomento terminologia in modo disciplinare.

Anche con materiale così «semplice», si organizzano esperienze nelle quali sono intrecciate, affiancate e sovrapposte molte cose diverse. Se mettiamo un cubetto di ghiaccio in un recipiente e poi tocchiamo, sentiamo sensazioni diverse a seconda dei punti in cui tocchiamo, vediamo se il recipiente si appanna o no. Mentre osserviamo e manipoliamo, il ghiaccio fonde e quanto rapidamente fonde dipende da: quanto tempo è passato, di quale materiale è fatto il recipiente, se mescolo o no, se ho intorno aria, se l'acqua è più o meno calda e quanta ce n'è...

I fisici per interpretare queste situazioni tengono presente almeno:

- tempo;
- conducibilità del materiale (del recipiente);
- calore specifico dell'aria e dell'acqua;

- presenza o meno di moti convettivi (agitare, mescolare);
- passaggi di stato (ghiaccio che fonde, vapor d'acqua che liquefa, appannarsi del vetro);
- masse, volumi, capacità;
- sorgenti di calore;
- temperatura.

I biologi tengono presente tutto questo più:

- i recettori termici.

Spesso sui libri di testo e nelle tradizionali esperienze (o meglio esperimenti) di fisica, si tende a «nascondere», o, più propriamente a controllare senza dirlo, tutte le variabili tranne una, dando l'impressione che sia possibile guardare, capire e definire solo quella (ad esempio la temperatura). Quindi, dopo averne definita una, si passa alla seguente, così dopo la temperatura si definisce il calore, e a volte le altre grandezze, o compaiono anche dopo molto tempo, o non vengono introdotte per nulla (in alcuni testi di scienze per le medie non si parla di calore specifico).

Come già detto nella introduzione, questo fatto, a nostro avviso, è scorretto da un punto di vista disciplinare, ed è uno dei principali scogli alla comprensione dell'interpretazione disciplinare della realtà. Visto che fin dall'inizio emergono già molte delle grandezze e degli schemi interpretativi che vogliamo che i ragazzi arrivino a possedere, partiamo dalla complessità e cerchiamo di arrivare alle definizioni delle singole grandezze (ci fermeremo ovviamente solo ad alcune).

Dalla complessità dei fenomeni anche più «semplici» e dalla difficoltà di interpretare «scientificamente» tale complessità con gli strumenti della vita quotidiana, bisogna far emergere la necessità di numerose grandezze al posto degli indifferenziati termini quotidiani.

Così si pensi all'aggettivo *caldo* (e si noti che in italiano è usato anche come sostantivo: «il caldo»). Calore è già un termine «colto».

Qualche volta si dice che tra due oggetti uno è più caldo dell'altro, nel senso che la temperatura di uno è maggiore di quella dell'altro. Altre volte si dice che uno è più caldo dell'altro, ma un fisico direbbe che i due oggetti sono alla stessa temperatura e hanno diversa conducibilità (si pensi a due pavimenti, uno di legno e l'altro di marmo, o alle

gambe metalliche di un banco rispetto al ripiano di formica).

Inoltre noi in un ambiente a 30° C sentiamo caldo, ma il nostro corpo ha una temperatura superiore e allora come mai, se siamo più caldi, sentiamo caldo? E qui bisogna dire con fisici e biologi che più l'ambiente è a temperatura vicina alla nostra, tanto più incontriamo difficoltà a disperdere calore; più è umido e meno è efficace il raffreddamento per evaporazione del sudore perché questo non evapora....

Attraverso le esperienze qualitative del tipo che proponiamo incomincia ad emergere la necessità di differenziare, esplicitare, controllare diverse grandezze. E si passa da situazioni in cui l'intreccio tra i vari aspetti è maggiore, a situazioni in cui qualche aspetto manca, o si può trascurare o si impara a controllare.

Quando, in modo ancora confuso ma già molto più chiaro che alla partenza, i ragazzi avranno imparato a far emergere (o esplicitare) tutte le grandezze necessarie ad analizzare la situazione, si potrà scegliere di studiarne una per volta (se è possibile) e dare definizioni operative e formule. E bisognerà comunque poi ricomporle nei loro rapporti reciproci (e con le idee fondamentali introdotte all'inizio nella parte disciplinare) per tornare ad interpretare la realtà: da quella biologica a quella fisica, dalle stelle agli animali all'azoto liquido.

Naturalmente da questi elaborati dei ragazzi si possono «leggere» molte altre cose:

- linguistiche;
- sociali;
- logico/matematiche.

Non possiamo esaminarle tutte; facciamo solo notare quante cose ci sarebbero da considerare. Limitiamoci a prendere atto del fatto che i nostri ragazzi, pur molto diversi gli uni dagli altri, sanno già molte cose, hanno parecchie idee sui fenomeni termici. Alcune sono più simili a quelle scientificamente corrette, altre meno; ci si potrà appoggiare alle prime per rafforzarle, bisognerà lavorare a modificare le seconde.

Scegliamo comunque per il seguito di lavorare con tutte le grandezze insieme, fisici e biologi insieme, puntando a risultati significativi sia disci-

plinariamente che cognitivamente (sia singoli contenuti che schemi e strutture più generali).

Racconto della nostra esperienza di lavoro in una prima media

Gli Elaborati 4, 5, 6 e 7 contengono alcune relazioni di gruppo su questa stessa Proposta 3 realizzata in una classe prima media. In tale classe si era iniziato il lavoro di scienze con una sequenza analoga a quella qui ipotizzata nelle Proposte 1 e 2. Non si era però posta particolare attenzione all'osservazione delle sensazioni.

Osservazioni

I ragazzi usano altro materiale oltre a quello da noi fornito (lo richiedevano a noi e si influenzavano nelle richieste). Usano poco il loro corpo (fatto dovuto probabilmente al mancato richiamo esplicito alle loro sensazioni nella parte precedente). Usano molto l'ambiente: calorifero, davanzale esterno della finestra, ...

Fare esperienze significa per questi ragazzi creare situazioni «movimentate» e complicate, piuttosto che controllare le variabili.

I ragazzi danno l'impressione di procedere casualmente senza avere in mente ipotesi da verificare. In alcuni casi (si veda l'Elaborato 8) l'esperimento è visto addirittura come un complicare via via la situazione di realtà. Questi stessi ragazzi a voce affermavano che un esperimento è lo studio di una situazione complicata («lo sanno tutti che il ghiaccio fonde, non è un esperimento studiare questo fatto»).

La lettura dell'Elaborato 9 ci fa rilevare che: i ragazzi pensano che si possa far ghiacciare l'acqua lasciandola fuori dalla finestra per un lungo intervallo di tempo (in una mattina in cui la temperatura di Milano era decisamente sopra lo zero) e così farla bollire lasciandola a lungo sul calorifero; non si preoccupano delle temperature. Inoltre organizzano l'esperimento già prevedendo che «il lungo

intervallo di tempo» non sarà realizzabile e arrivano a concludere che la loro ipotesi era corretta. Per quanto riguarda l'ebollizione è evidente inoltre che o non sanno osservare (come poteva bollire l'acqua?) o non usano «bollire» come intendiamo noi.

Nell'Elaborato 10 si coglie l'aspetto di gioco o di ricerca dello spettacolare e del complicato come nel caso dell'Elaborato 8.

Anche a una veloce lettura di materiale di questo tipo si nota che manca del tutto il metodo per organizzare e portare avanti un esperimento e non emerge neppure l'esigenza di individuare le grandezze in gioco. Confrontando questi risultati con quelli dei ragazzi di seconda media si può rilevare che questi ultimi, pur non possedendo gli strumenti disciplinari per leggere realtà inerenti a fenomeni termici, sono a un livello molto più avanzato nell'organizzazione dell'esperimento e nell'individuazione e gestione delle variabili. Si vuole evidenziare questo perché, nel portare avanti lo studio dei fenomeni termici con i ragazzi di prima, dobbiamo porci come obiettivo anche la costruzione di un metodo, costruzione che prescinde dal tema di lavoro da noi prescelto.

La nostra scelta immediatamente successiva è stata quella di far riflettere i ragazzi sul significato di esperimento, non con discorsi, ma con la seguente proposta operativa: «osserva un cubetto di ghiaccio».

L'osservazione è stata preceduta da un dibattito in cui abbiamo invitato i ragazzi a «prevedere quante cose si possono osservare».

Le realizzazioni dei ragazzi in questo lavoro più ristretto sono state di livello ben più alto (si veda l'Elaborato 11).

Indagine sugli esperimenti fatti alle elementari

Proposte di esperimenti come quella dell'Elaborato 8 si ritrovavano in altri gruppi. Questo ci ha fatto ipotizzare che ci fosse un preciso riferimento a un qualche lavoro fatto nella scuola elementare. Abbiamo chiesto ai ragazzi di «elencare gli esperimenti di scienze fatti nella scuola elementare».

Riportiamo un elenco degli esperimenti sui fenomeni termici estratto dai quaderni dei ragazzi.

- Evaporazione dell'acqua di mare (portata in bottiglia dai luoghi di villeggiatura).
- Evaporazione della tintura di iodio.
- Evaporazione dell'acqua/condensa del vapore.
- Distillazione del vino.
- Nuvole in scatola.
- Riscaldamento di una pentola «vuota», portata poi all'esterno, formazione di gocce.

In particolare riteniamo che abbiano influenzato i ragazzi gli ultimi due esperimenti dell'elenco. Riportiamo due racconti dei ragazzi sia per capire di che esperimenti si tratta, sia per far notare che al ragazzo resta solo la sequenza di fatti senza né ipotesi né conclusioni. (Elaborati 12 e 13).

Ci sembra molto importante conoscere quale insegnamento di scienze i ragazzi abbiano avuto nella scuola elementare, soprattutto ai fini di interpretare in modo corretto l'atteggiamento dei ragazzi. Una richiesta diretta («Che cosa avete studiato...?») porta spesso ad un elenco di argomenti che non sempre ci danno un'idea del metodo con cui i ragazzi hanno lavorato.

È senz'altro più significativo, ai fini di una nostra conoscenza del lavoro svolto precedentemente, chiedere l'elenco degli esperimenti che i ragazzi ricordano: il messaggio passato ai ragazzi sul «fare scienze» ci appare senza equivoci.

Nell'elenco vanno ovviamente prese in considerazione affermazioni quali:

- mi hanno fatto vedere tanti esperimenti, ma non mi ricordo più quali (detto nel nostro caso da una ragazza vivace e interessata);
- non abbiamo fatto esperimenti;
- ho fatto esperimenti solo come compito a casa (mi aiutava la mamma).

Proposta 4

Un'esperienza più circoscritta: «Come riscaldare l'acqua contenuta in un barattolo?»

I ragazzi, organizzati a gruppi, hanno a disposizione contenitori vari e acqua. Si chiede: «Come riscaldare l'acqua contenuta in un barattolo?».

I ragazzi sono invitati a fare le loro ipotesi e quindi a verificarle nell'ambiente-aula. Segue una discussione con l'intero gruppo classe sui punti fissati da ciascun gruppo. L'abbiamo definita un'esperienza più circoscritta perché diamo ai ragazzi il materiale di cui avevano già conoscenza, ma è stato tolto il ghiaccio; diamo il verbo «riscaldare». È una notevole restrizione di campo perché avremmo potuto dare anche altri verbi quali «raffreddare» e «far evaporare». Abbiamo parlato di verbi per mettere l'accento su azioni che producono fenomeni diversi. Abbiamo scelto il «riscaldare» perché è la situazione che ci porta in modo più diretto alla problematica delle sorgenti di calore.

Cosa può emergere

I ragazzi in generale propongono per riscaldare l'acqua l'utilizzo sia di quelle che noi chiamiamo sorgenti di calore con produzione (fornello, calorifero...), sia di sorgenti di calore senza produzione (in misura più limitata), sia di isolanti che in questa fase essi confondono con le sorgenti di calore.

Per ora si lascia emergere tutta la problematica senza voler concludere.

Le successive esperienze, come quella della moneta o dell'azoto liquido, serviranno a puntualizzare l'idea di sorgente di calore e a differenziare sorgenti con e senza produzione. Quindi si lavorerà a distinguere il ruolo dell'isolante termico da quello di una sorgente con produzione.

Racconto della nostra esperienza

I ragazzi erano suddivisi in quattro gruppi di lavoro (di sei componenti ciascuno); in ogni gruppo c'era un adulto che aveva il ruolo di coordinare il lavoro, guidare la discussione e raccogliere gli spunti più significativi.

Di seguito si riportano alcune delle proposte emerse dai gruppi:

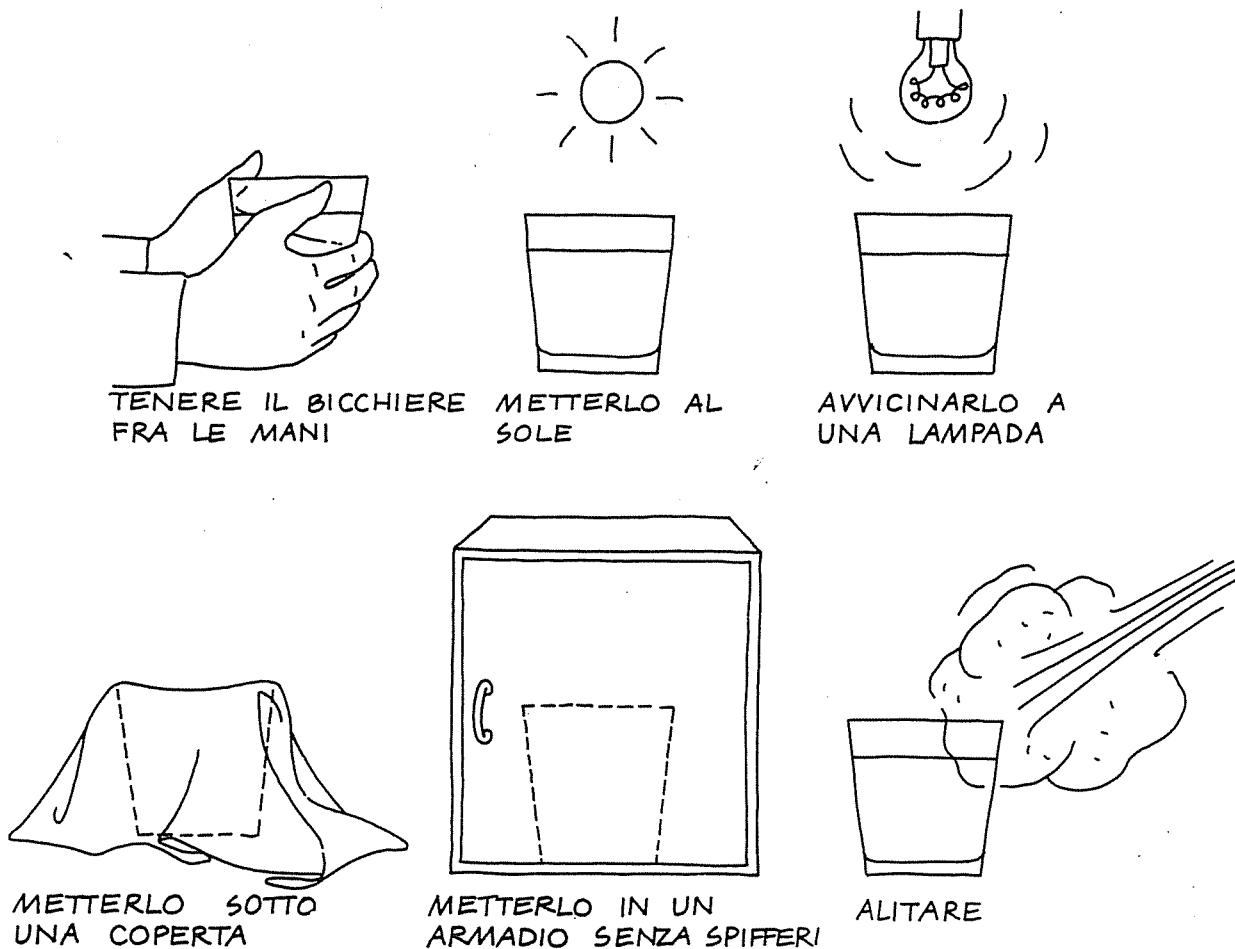
- a) tenere il recipiente in mano (vanno considerati materiali — il barattolo di metallo è più «freddo» di quello di plastica — spessori e tempi);
- b) metterci dentro le nostre mani;
- c) mettere il recipiente al sole;
- d) mettere il recipiente esposto a una lampadina;
- e) mettere il recipiente sotto il maglione, a contatto con il nostro corpo;

- f) alitare sopra l'acqua contenuta nel recipiente, ma non soffiare;
- g) strofinare il recipiente con le mani (recipiente di plastica e di metallo);
- h) coprire il recipiente con una mano;
- i) mettere l'acqua in un recipiente con un coperchio (per controllare se l'acqua si riscalda poniamo accanto a questo barattolo un barattolo uguale contenente la stessa quantità di acqua, ma senza coperchio);
- l) mettere l'acqua in un recipiente col coperchio e poi scuotere;
- m) avvolgere il recipiente in un maglione;
- n) mettere il recipiente in un armadio «senza fessure» (perché non entrino gli spifferi);
- o) mettere l'acqua in un recipiente già caldo (scaldato prima).

Osservazioni sulle proposte dei ragazzi

1. Di fronte a una situazione apparentemente povera (barattoli, acqua e verbo «riscaldare») c'è una ricchezza di proposte.
2. I ragazzi hanno discusso a lungo prima di arrivare a formulare la loro proposta nella forma schematica di una frase. Non possiamo documentare questi dibattiti che si svolgevano all'interno dei gruppi per ovvi motivi di spazio. Ci limitiamo a fare alcune osservazioni che tengono conto anche di questi discorsi dei ragazzi che noi abbiamo seguito.

Dal nostro punto di vista le proposte a), b), c), d), e) fanno riferimento a sorgenti di calore con produzione; le proposte f) e o) a sorgenti senza produzione; g) e l) a trasformazioni di lavoro in



calore; le altre sono scorrette. Si nota in queste ultime (si veda l'esempio m) che i ragazzi considerano sorgente di calore quello che noi classifichiamo come isolante. Sottolineiamo che questo è il nostro punto di vista. Per i ragazzi le loro proposte sono ovviamente tutte corrette perché nella maggior parte dei casi sono una trasposizione della loro esperienza quotidiana a situazioni di «laboratorio» come questa. Senza entrare in raffinate analisi linguistiche, cognitive ecc., proponiamo le situazioni della vita di tutti i giorni che possono aver suggerito queste argomentazioni per analogia. Lo strofinare può derivare da esperienze quali «mi strofino le mani per scaldarle quando ho freddo» o più in generale da esperienze di produzione di calore per attrito. Tutte le proposte di «coprire» possono derivare da esperienze di cucina: «copro il piatto contenente cibo caldo perché non si raffreddi troppo presto» oppure «metto il coperchio sulla pentola con l'acqua che è sul fornello perché si scalda prima». L'avvolgere con il maglione o il chiudere deriva probabilmente da sensazioni di caldo e freddo del loro corpo: «quando fa freddo metto il golf di lana che mi scalda», «il metallo è freddo, la plastica è calda».

Tutte queste situazioni vengono messe sullo stesso piano e interpretate in questi termini anche dagli adulti nella vita di tutti i giorni.

Queste spiegazioni generiche sono funzionali a inquadrare a un livello soddisfacente la realtà quotidiana e a muoversi in essa. Sarà proprio il «fare scienze» che richiederà interpretazioni più raffinate, differenziate e coerenti per analizzare realtà più ampie di quella quotidiana, arrivare a conclusioni e fare previsioni anche quantitative. Come abbiamo già schematizzato nella mappa i passi successivi saranno proprio la costruzione del concetto di sorgente di calore con e senza produzione e la sua differenziazione dalla problematica isolante/condotto.

3. I ragazzi raramente si sono preoccupati di passare a una verifica sperimentale delle loro ipotesi, pur sapendo di poter disporre del materiale, compresi dei termometri (c.f.r. riflessioni che seguono sull'uso dello strumento). Per quello che è la nostra esperienza è molto comune che i ragazzi lavorino su questo piano di «esperimenti ideali», va costruita invece in loro la necessità di procedere a verifi-

che pratiche. Inoltre bisogna curare particolarmente la realizzazione di queste verifiche perché esse siano realmente tali.

Si apre a questo punto tutto il problema degli «esperimenti scientifici», della individuazione e gestione delle variabili...

Una riflessione sui livelli di formalizzazione

a) Il livello di formalizzazione di un fisico.

Di fronte alla domanda «come scaldare l'acqua» il fisico tende a dare una interpretazione disciplinare del problema posto in questi termini.

- «Scaldare» significa provocare un aumento di temperatura.
- «Come scaldare» significa individuare una sorgente di calore.

Introduce quindi le grandezze temperatura e calore come le grandezze fondamentali per descrivere il fenomeno.

Inoltre, tiene conto di molte altre cose: per esempio, della massa d'acqua, del materiale di cui è fatto il recipiente, del tempo a disposizione, del tipo di sorgente di calore (con produzione e non), della temperatura della sorgente (ancora distinguendo fra sorgenti con produzione e non), della temperatura ambiente (se è costante o varia) ecc.

Nella sua lettura disciplinare quindi il fisico traduce questa situazione nell'individuazione di grandezze fisiche necessarie e sufficienti a inquadrare e descrivere il fenomeno.

Naturalmente è impensabile che dallo svolgimento di poche esperienze e da riflessioni sulle stesse si possa in breve tempo portare i ragazzi a questo livello di sistemazione. È invece importante in questa fase capire quale lettura del fenomeno danno i ragazzi e proporsi un primo livello di formalizzazione che verrà esemplificato successivamente (punto c).

b) Il livello di partenza dei ragazzi.

Pensiamo ora ai significati che i ragazzi attribuiscono alla consegna di lavoro. «Scaldare» significa per loro sentire che «una cosa è più calda di prima». Non è chiaro sempre se decidono che questo si può stabilire con le mani oppure se è

necessario uno strumento di misura e se è importante definire un intervallo di tempo (che cosa significa «di prima»?). Sono quindi ben lontani dall'esigenza di individuare una grandezza fisica; si ha piuttosto l'impressione che si rifacciano a loro esperienze di percezione in contesti di realtà quotidiana. Hanno idee confuse sulle sorgenti di calore. Si ha l'impressione che si pongano il problema di fare qualche cosa per produrre una «trasformazione», ma non si pongono assolutamente il problema di individuare una grandezza; danno piuttosto tante «modalità», che difendono accanitamente, non sfiorati dall'esigenza di un'unificazione. Questo è comunque uno degli obiettivi da perseguire nell'avviare i ragazzi alla «interpretazione scientifica» di una realtà. Quindi, concludiamo che non individuano le due grandezze fondamentali. Anche tutte le altre situazioni prese in esame hanno tante caratteristiche che i ragazzi comunicano con espressioni di linguaggio comune: plastica, metallo, *tanta* acqua, *poca* acqua ecc. Non pensano e non possono intravedere grandezze dietro nomi e aggettivi.

c) *Come hanno proceduto i ragazzi verso una prima sistematizzazione del fenomeno in esame.*

Da un certo punto in poi, nel dibattito interno ai gruppi, i ragazzi hanno incominciato a parlare di temperatura. La temperatura è una grandezza che hanno sentito «nominare», alcuni ragazzi decidono che bisogna «conoscere i gradi».

Mettono poi a fuoco che ci vuole «più tempo o meno tempo» per riscaldare l'acqua a seconda del metodo che viene proposto.

Il docente che coordinava il gruppo li ha orientati su formulazioni di frasi contenenti l'espressione «*dipende da...*».

Esempi: l'aumento di temperatura dell'acqua *dipende da* quanto tempo la lascio al sole, e se è «sole d'inverno o d'estate». Oppure *dipende da* quanto vicino al calorifero mettiamo il recipiente e da quanto è caldo il calorifero...

I ragazzi non si ponevano il problema di verificare quanto enunciavano nelle varie proposte. Tenevano piuttosto ad argomentare, talvolta in modo capzioso.

Abbiamo posto *noi* il problema della verifica per portarli ad una interpretazione scientifica del fenomeno in esame attraverso la formulazione chiara dell'ipotesi e l'organizzazione di esperimenti. I ragazzi ovviamente non sanno impostare un esperimento corretto proprio perché questo richiede una chiara individuazione delle grandezze in gioco e una scelta di variabili e costanti. Generalmente si sono limitati a proporre di misurare la temperatura dell'acqua contenuta nel barattolo prima e dopo... Non sempre hanno posto l'attenzione sul periodo di tempo e tanto meno su possibili variazioni della situazione nell'ambiente esterno. Solo un ragazzo, particolarmente dotato di capacità di astrazione, ha posto il problema di un maggior controllo sullo svolgimento dell'esperimento proponendo la questione di «quante cose possono succedere se ci vuole molto tempo per riscaldare». La sua obiezione aveva origine dalla constatazione che l'acqua, che prelevavano da un secchio portato in classe, dopo un'ora aveva una temperatura più alta che all'inizio (temperatura dell'acqua appena scesa dal rubinetto = 15° C; temperatura ambiente = 21° C).

Si è alla fine arrivati a un progetto così strutturato:

- prendere due recipienti *uguali*, due masse d'acqua *uguali* a temperature *uguali*;
- sottoporre una delle due masse d'acqua a uno dei procedimenti proposti;
- misurare la temperatura delle due masse d'acqua dopo un certo intervallo di tempo.

Si è concluso che in questo caso la verifica dell'ipotesi richiede il confronto tra due situazioni in cui molte «cose» sono uguali e alcune vengono cambiate.

È un primo livello di formalizzazione e controllo delle variabili che ci sembra già molto soddisfacente.

Proposta 5

Osservazioni su un fenomeno particolare: l'appannamento

In questo paragrafo vogliamo fare una proposta di lavoro sull'osservazione dei fenomeni di appannamento, che sono molto frequenti nell'esperienza quotidiana, che colpiscono molto i ragazzi e che permettono già molte interessanti considerazioni.

Premettiamo due puntualizzazioni disciplinari. Nell'aria è sempre presente una certa percentuale di vapore acqueo (umidità) che però normalmente è invisibile. Quando si vede una minestra «fumante», il «fumo» che esce da una pentola con acqua che bolle e così via, si tratta di una miscela di vapore acqueo e di piccolissime gocce d'acqua. Sono proprio le piccole gocce d'acqua in sospensione che diffondono la luce e rendono visibile il «fumo».

Nei fenomeni di combustione invece si può avere un «fumo» diverso, si tratta di piccole particelle che abbandonano l'oggetto che sta bruciando, normalmente sono «fumi» più densi e scuri, e si ha una sensazione di odore, di puzza che nel caso precedente non si sente.

L'appannarsi consiste nel passaggio di stato da gassoso a liquido del vapore acqueo contenuto

nell'aria, a contatto in generale con una superficie più fredda.

A questo stadio questa può essere una spiegazione esauriente e scientificamente corretta a cui si possono portare i ragazzi. Ci si potrà ritornare, introducendo anche aspetti quantitativi, quando si approfondiranno i passaggi di stato, che nel nostro piano di lavoro verranno affrontati molto più avanti (si veda la mappa, p. 13). Passando alla proposta di lavoro in classe suggeriamo di stendere con i ragazzi un elenco di situazioni di vita quotidiana in cui si può osservare l'appannamento di superfici. Tale elenco può essere costruito *ex novo* oppure sfruttando situazioni già presentatesi nelle attività precedenti. In quest'ultimo caso, come abbiamo già detto, si tratterà di rianalizzare situazioni già viste sotto un diverso aspetto. Si può proseguire provando sperimentalmente una situazione (ad esempio contenitore con acqua e ghiaccio) e infine dando una prima spiegazione del fenomeno, come viene qui di seguito esemplificato con la nostra esperienza.

Racconto della nostra esperienza

Le prime considerazioni dei ragazzi sul fenomeno appannamento compaiono come osservazioni tra molte altre nei lavori di osservazione e descrizione della loro colazione del mattino o del pranzo (si veda la Proposta 2) come pure da altre situazioni quotidiane.

Riportiamo un elenco dei fenomeni termici ricavato dalla lettura in classe delle descrizioni dei singoli ragazzi.

- La pasta fumava perché era appena uscita dalla pentola e per il suo calore il piatto era leggermente appannato.
- Il mio piatto contenente la zuppa di funghi era coperto; alzando il piatto superiore ho visto tante piccole goccioline d'acqua su di esso.
- Togliendo il pentolino d'acciaio dal frigorifero, ho visto che all'esterno si è appannato (il pentolino conteneva la pasta al forno del giorno prima).
- Quando ho versato l'acqua nel bicchiere ho visto che il vetro si è appannato e sfreddato. Il bicchiere era a temperatura ambiente e l'acqua era molto fredda perché era in un contenitore termico, l'acqua era minerale naturale. Il bicchiere era appannato all'esterno.
- Rientrata in casa dopo essere stata per lungo tempo fuori al freddo ho notato che i miei occhiali si sono appannati.
- Quando espiro vicino a uno specchio l'aria calda lo fa appannare. Succede anche vicino a un vetro.
- Quando faccio scendere l'acqua calda per un certo periodo di tempo, gli oggetti lucidi del locale da bagno si appannano. Secondo alcuni di noi si appannano anche gli oggetti di plastica.
- Si appannano anche i vetri interni dell'automobile, non siamo però d'accordo nel definire le condizioni che lo determinano.
- Metto un pentolino pieno d'acqua sul fornello acceso e vi pongo sopra un coperchio. Dopo un certo intervallo di tempo, sollevando il coperchio, noto che all'interno del coperchio si sono depositate molte piccole goccioline.
- È sorto il seguente problema: tutte le superfici si appannano? Secondo alcuni di noi le superfici

di legno, di carta, di cemento o calce non si appannano.

- Anche una mano appoggiata a una superficie lucida produce un appannamento (rimane una impronta).
- Quando apriamo lo sportello del freezer esce una nuvoletta di fumo bianco che sembra ghiacciato.
- Quando la temperatura è molto bassa se parliamo esce dalla nostra bocca il fumo (secondo alcuni non bisogna dire «fumo», però non sappiamo come chiamarlo).

Si noti che l'elenco, come è ovvio, è schematico e perde molta della ricchezza della discussione che ha portato a scrivere una frase per ogni situazione. In particolare in questa discussione cominciava ad emergere la necessità del controllo delle variabili: il tempo, la situazione di partenza e in parte la storia passata (bisogna dire se il pentolino è nel frigo da tanto, frase c), la temperatura...

A questo seguiva un compito a casa sul solo fenomeno dell'appannamento. Riportiamo alcuni stralci.

Dal quaderno di un alunno. Compito: «Osservo una situazione in cui sia presente questo fenomeno, l'appannamento. Oggi, dopo essere arrivato a casa, ho voluto verificare la questione del fenomeno g (dell'elenco). Ho scoperto che non tutti gli oggetti di plastica si appannano, solo quelli lucidi impermeabilizzati. Ipotesi mia: secondo me ciò avviene perché il vapore acqueo, non venendo assorbito da quelle superfici, ci si stabilizza, facendole appannare».

Dal quaderno di un altro alunno: «Osservo una situazione in cui sia presente questo fenomeno: l'appannamento. Quando noi beviamo il tè caldo il bicchiere di vetro che lo contiene si appanna. Non potendo verificare questo col tè ho ricreato la situazione con l'acqua. Ho preso un pentolino, l'ho riempito d'acqua e l'ho messo sul fuoco a scaldare lasciandolo lì circa 3 minuti. La fiamma non era molto alta. L'acqua, naturalmente, non era andata in ebollizione come per il tè, ma era molto calda. Ho capito questo guardando il fumo che usciva e accorgendomi che l'acqua non faceva bolle. Passati i 3 minuti ho messo l'acqua contenuta nel pentolino in un bicchiere di vetro; ho butta-

to l'acqua avanzante nel lavandino della cucina. Io ho poi messo il bicchiere sul tavolo e l'ho tenuto d'occhio per mezz'ora. All'inizio, uscendo molto fumo, il bicchiere si è appannato internamente, ma non per tutto il vetro. Si è appannato solo nella parte dove l'acqua non bagnava il suo contenitore. Non ho misurato il tempo in cui il bicchiere è rimasto in questo stato. Il resto del tempo, maggiore, il vetro è ritornato al suo stato normale. Il bicchiere di vetro era stato preso da me dallo scolapiatti, al riparo dunque da fonti di calore o dal frigorifero».

Segue un esperimento in classe con becker, ghiaccio e acqua. Riportiamo una relazione di gruppo.

Lavoro di gruppo

Abbiamo sul banco un becker contenente cubetti di ghiaccio e acqua.

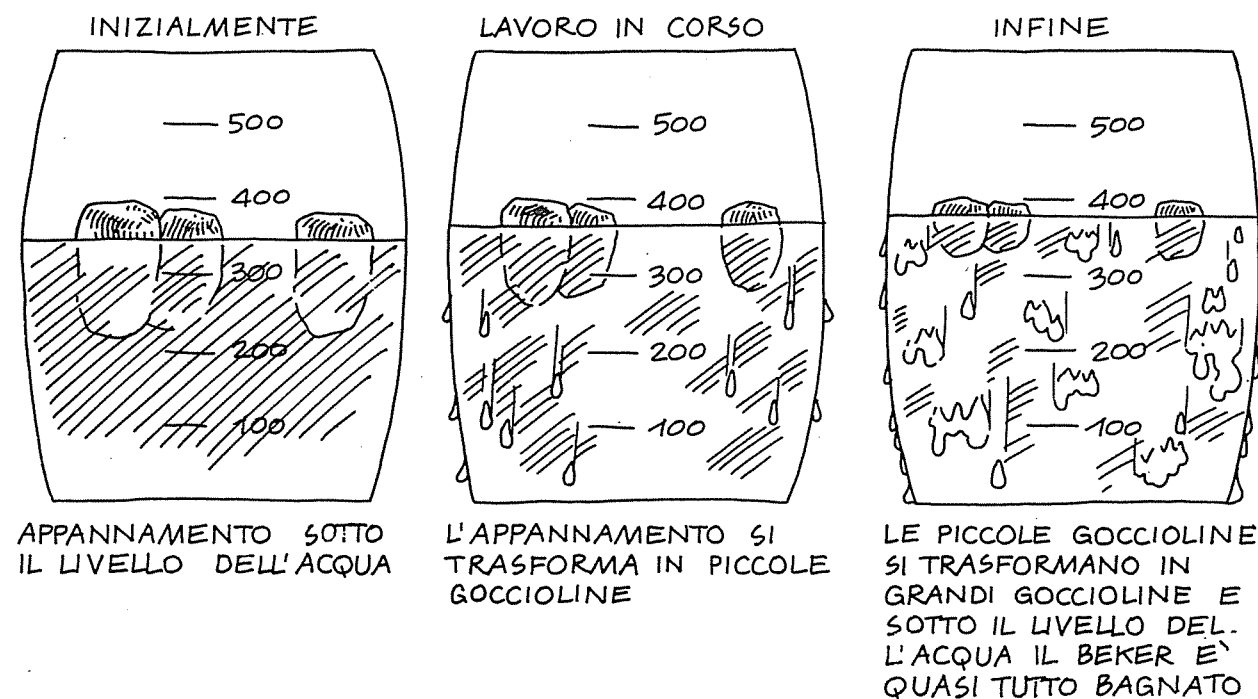
Osservazioni:

«L'acqua, nel becker, è alta 25 mm. Notiamo che i cubetti formano delle bollicine, contemporaneamente il becker si sta appannando all'esterno sotto il livello dell'acqua. Ora notiamo che i cubetti si stanno sciogliendo e il livello dell'acqua sta aumentando. I cubetti che prima erano bianchi ora stanno diventando trasparenti. Adesso il becker si sta appannando anche sopra il livello dell'acqua. Notiamo che l'appannamento non è costante, oltre a salire, come l'acqua, sta formando delle goccioline più grandi. Infine notiamo che sotto il livello dell'acqua il becker è più freddo; a poco a poco che si sale la temperatura aumenta».

A questo punto si è deciso di dare una spiegazione del fenomeno *appannarsi*.

Era ormai chiaro ai ragazzi che:

- l'appannamento consiste nel formarsi di piccolissime gocce d'acqua su una superficie non assorbente;
- in tutte le situazioni di appannamento sono presenti contemporaneamente cose più calde e cose più fredde.



Abbiamo dovuto riflettere su diverse esperienze di vita quotidiana che ci hanno portato a concludere che nell'aria è sempre presente una quantità (in percentuale variabile) di vapore d'acqua. Ugualmente i cibi contengono grandi quantità di acqua che evapora dai cibi caldi e raffreddandosi nell'aria condensa producendo il classico «fumo». Infine è stata fatta una semplice schematizzazione dei passaggi di stato dell'acqua. Abbiamo proseguito poi analizzando e interpretando la situazione proposta dalla frase *b)* alla luce di tutte le precedenti considerazioni. Ci si è poi chiesti se questo schema di interpretazione era applicabile a tutte le situazioni presenti nell'elenco.

Come verifica, si è chiesto ai ragazzi di scegliere due o tre situazioni e di analizzarle secondo la traccia applicata in classe.

Riportiamo due descrizioni. «Ho preso un bicchiere vuoto e l'ho messo nel frigorifero. Dopo venti minuti l'ho tirato fuori e ho notato che sia all'esterno che all'interno, era leggermente appannato. Il vetro del bicchiere dopo essere stato a lungo al freddo, ha trovato il vapore caldo e quest'ultimo si è trasformato in acqua che ha appannato il bicchiere».

Compito: «Scelgo tre situazioni di appannamento che spiego seguendo lo schema di analisi fatto in classe.

1. Prendo in considerazione la frase *d)* di pag. 52. Spiegazione: il bicchiere si è appannato perché il vapore presente nell'aria a contatto con la superficie più fredda si è condensato e ha fatto appannare la superficie del bicchiere.

2. Prendo in considerazione la frase *e)* di pag. 52. Spiegazione: gli occhiali essendo stati fuori erano molto freddi e quando sono entrati nella casa, dato che il vapore che c'era dentro casa era più caldo, si sono appannati a causa del vapore che si è condensato.

3. Prendo in considerazione la frase *g)* di pag. 52. Spiegazione: l'acqua calda, raffreddandosi emana molto vapore, questo sale e quando incontra una superficie fredda come gli specchi si condensa e li fa appannare».

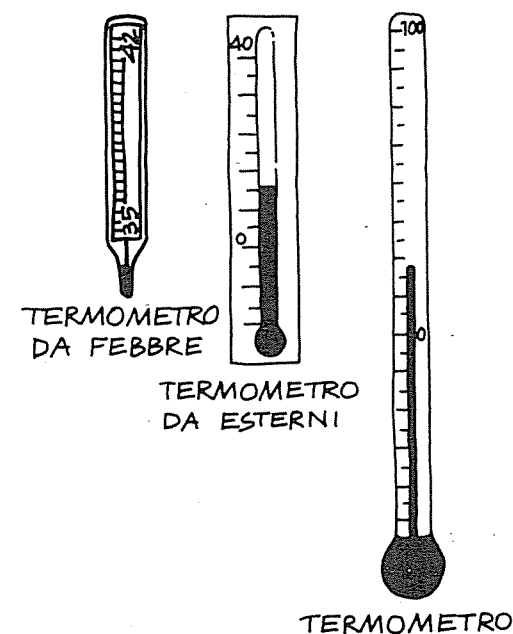
I ragazzi hanno molto apprezzato questa fase del lavoro in cui hanno potuto provare di persona che cosa significa fare una generalizzazione: dalla pluralità di fenomeni costruire una spiegazione unificante (di alcuni aspetti) e riapplicarla ai casi singoli.

Proposta 6

Il termometro: riflessioni su un corretto uso dello strumento

Per nostra comodità si è inserita a questo punto una proposta tutta incentrata sul termometro. In realtà noi non abbiamo dedicato ad esso una singola lezione, né proponiamo di farlo. I problemi incontrati dai ragazzi sono stati raggruppati qui, ma provengono da momenti di lavoro diversi, in cui però lo strumento era già a disposizione. Analogamente gli spunti di soluzione si devono intendere da proporre diluiti nel tempo, perché non pensiamo che una singola spiegazione, pur molto articolata su tanti aspetti, risolva i problemi una volta per tutte.

I ragazzi cominciano a usare lo «strumento» termometro abbastanza presto, quando perciò le due grandezze temperatura e calore non sono ancora ben costruite e non abbiamo ancora intenzione di affrontare definizioni e principi che stanno alla base del funzionamento dello strumento. Ci limitiamo a avviare i ragazzi a un *corretto uso* dello strumento di laboratorio a partire dalle loro conoscenze ed esperienze quotidiane. Con questo l'argomento «termometro» non è da ritenersi esaurito, in un secondo tempo si ritornerà sul suo studio sia sul piano teorico sia sperimentale. In particolare si potrà arrivare alla costruzione e taratura di un termometro che sarà anche costruzione operativa di concetti e principi di funzionamento.



Ascoltando i ragazzi e osservandoli al lavoro si potranno rilevare i seguenti livelli di partenza fortemente condizionati dall'esperienza del termometro «per la febbre».

- I ragazzi sanno o, almeno, verbalizzano che il termometro è lo strumento che «serve a misurare la temperatura».
- Quando hanno a disposizione il termometro (come ogni altro strumento di misura) i ragazzi non lo osservano ma lo *usano subito*.

È importante lasciarli agire e verificare poi immediatamente insieme a loro, per esempio attraverso un dibattito, come questo modo di procedere sia poco corretto. Possiamo dare alcune indicazioni a priori su come si deve usare uno strumento di misura, ma tali indicazioni non vengono seguite perché l'interesse dei ragazzi è spostato sull'utilizzo immediato dell'oggetto; saranno gli errori che porteranno i ragazzi ad acquisire che è importante procedere con un metodo.

Alcuni tentano di «abbassare la colonnina di mercurio» scuotendo lo strumento, perché prima di «provarsi la febbre» si fa così e si stupiscono che la colonnina non scende. (Si tratta infatti di un termometro da laboratorio ad alcool o mercurio e con scala da 0 a 100° C). Ne segue l'affermazione: «Questo termometro non funziona», e su questo ci chiedono di intervenire.

Leggono la temperatura senza porsi il problema di definire innanzitutto qual è il minimo intervallo riportato sulla scala. Ne seguono verbalizzazioni di questo tipo: «Secondo me, la temperatura misurata è 25,1° C; secondo gli altri è 25,5° C. Non riusciamo a metterci d'accordo».

E qui si tratterebbe di aprire il grosso capitolo della misura.

Leggono lo strumento senza porsi il problema di tenere il bulbo immerso o comunque a contatto con l'oggetto di cui vogliono misurare la temperatura, soprattutto quando, lavorando in gruppo, vogliono rilevare in tanti la misura. Alcuni ragazzi hanno esperienza di diversi termometri: «Quello per la febbre è più corto», «quello per misurare la temperatura di un locale può essere più piccolo o più grande di questo», «il colore della colonnina è blu, rosso ecc.». Nel descriverli puntano l'attenzione in particolare sulla *lunghezza* della scala rap-

presentata, introducendo una corrispondenza arbitraria tra 1 grado e l'unità di lunghezza.

Ci possono essere letture completamente senza senso che ci fanno capire che i ragazzi non si pongono il problema di una collocazione del numero nella realtà (si veda l'Elaborato 14).

Diamo degli spunti su come procedere per mettere a punto un corretto atteggiamento di utilizzo dello strumento in questa fase.

a) Poniamo il problema: quando togliamo il termometro dall'astuccio che cosa segna lo strumento? È possibile che alcuni ragazzi rispondano: «Segna 0 perché lo strumento è a riposo». Altri disserteranno su una non ben definita «temperatura ambiente» (espressione che è ricorrente nei discorsi dei ragazzi, che però viene usata in modo acritico: è il sentito dire). Solo alcuni (pochi) si pongono il problema in modo più consapevole e propongono la distinzione fra le situazioni: l'astuccio del termometro è stato appoggiato da poco tempo sul banco oppure è sul banco da almeno mezz'ora o un'ora? I ragazzi meno riflessivi comunque continueranno ad opporre a queste argomentazioni l'esperienza del termometro per la febbre che va sempre abbassato. Chiediamo ai ragazzi di *leggere* la temperatura del termometro che hanno a disposizione, *formulando chiaramente le condizioni* in cui stanno lavorando (da dove abbiamo prelevato il termometro? da quanto tempo è nell'aula?...).

b) Chiediamo ai ragazzi di osservare e descrivere i termometri che hanno visto e che utilizzano nella loro casa (termometro da febbre, termometro per misurare la temperatura dei locali...). Probabilmente si avranno descrizioni che giudichiamo fantasiose secondo il nostro punto di vista inevitabilmente disciplinare. In particolare ci sarà sovrabbondanza di informazioni poco utili ai fini della comprensione di come funziona lo strumento. (Si veda l'Elaborato 15). Si ritornerà ai termometri di casa dopo il lavoro proposto al seguente punto c).

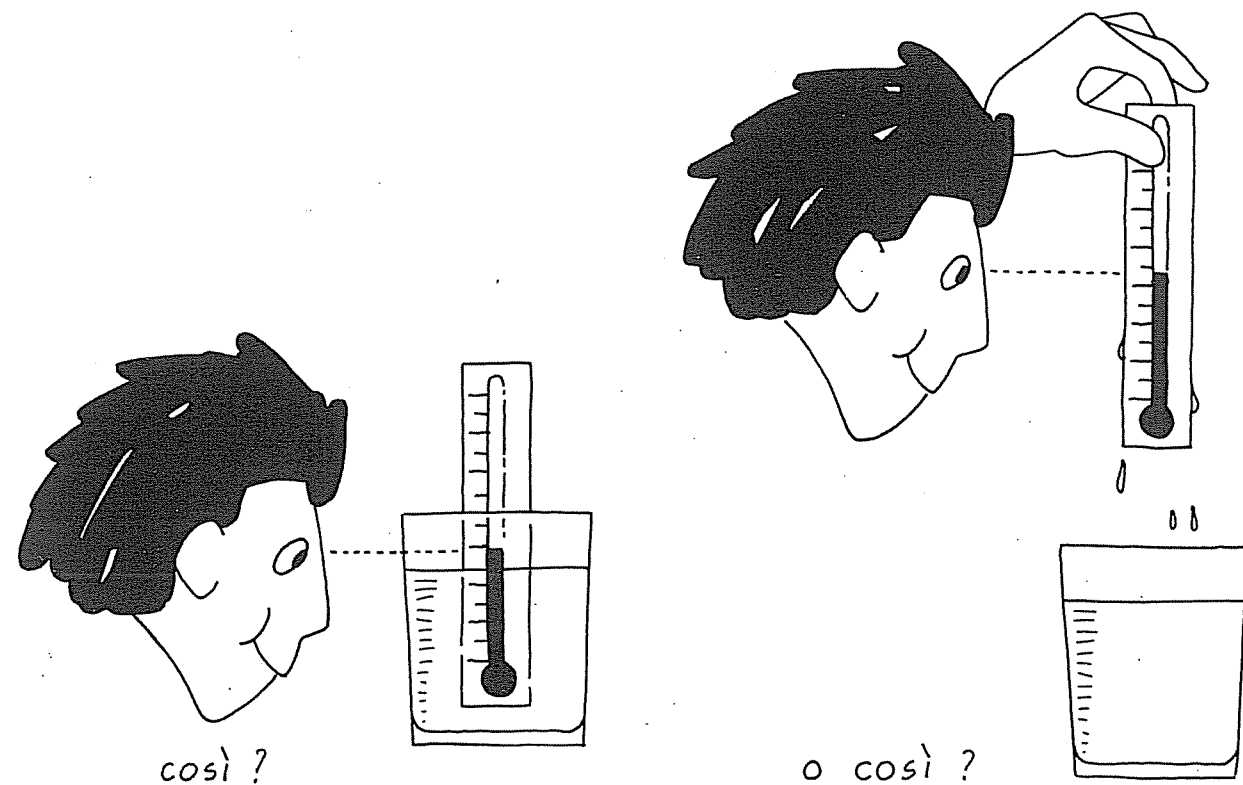
c) Chiediamo ai ragazzi di osservare il termometro da laboratorio che abbiamo dato loro. Li guidiamo richiedendo di leggere gli estremi della scala e il valore minimo dell'intervallo rappresentato. Quale numero di cifre significative può avere la lettura con lo strumento di cui disponiamo? Chiediamo di ripetere questa osservazione sugli strumenti esaminati al punto b), al fine di spostare l'attenzione

dalle «qualità generiche» da loro rilevate alle qualità che ci interessano. Possiamo chiederci in particolare perché le scale e gli intervalli riportati sugli strumenti sono diversi.

d) Chiediamo ai ragazzi di misurare la temperatura dell'acqua contenuta in un bicchiere. Noteremo che la difficoltà di lettura dello strumento porta i ragazzi a fare la lettura sollevando il termometro dall'acqua. Questo errato uso dello strumento si ripresenta in contesti diversi e viene discusso in ognuno di essi chiedendosi: «Così facendo quale temperatura misuriamo?».

e) Chiediamo ai ragazzi di riflettere su «temperatura» che ricorrono in diversi contesti di esperienza quotidiana: in quali intervalli oscilla la temperatura atmosferica della loro città nella stagione corrente; e la loro temperatura corporea? e la temperatura dell'acqua messa a scaldare?

Come si deve leggere un termometro?



Proposta 7

L'esperienza della moneta: un primo approccio al concetto di sorgente di calore

Prima fase

Possiamo formulare così la *proposta di lavoro* ai ragazzi.

- a) Ponete una moneta sul banco e, dopo un certo intervallo di tempo, prendetela in mano. Che cosa sentite? Che cosa succede dopo qualche minuto, se continuate a tenere in mano la moneta?
- b) Ponete la moneta sul termosifone e, dopo un certo intervallo di tempo, prendetela in mano.
- c) Scrivete una relazione individuale.

Se non disponiamo di un termosifone quale sorgente di calore, possiamo immergere la moneta in acqua calda (circa 50° C). In tal caso, usiamo l'accorgimento di estrarre noi la moneta dall'acqua calda per evitare che i ragazzi siano, in questa fase del lavoro, fuorviati da osservazioni sull'effetto dell'acqua calda sulla mano immersa anche per un brevissimo intervallo di tempo.

È evidente che anche queste riflessioni sono pertinenti ai concetti che vogliamo affrontare; tuttavia è opportuno che in questo momento l'attenzione dei ragazzi si concentri su mano/moneta.

Che cosa può emergere. I ragazzi proporranno osservazioni qualitative: è probabile che le valutazioni siano abbastanza concordi.

È possibile che i più attenti propongano di stabilire meglio gli intervalli di tempo. (Quanto è opportuno lasciare la moneta sul banco? E poi sul termosifone?). È evidente che queste sono riflessioni importanti ai fini delle conclusioni disciplinari sull'equilibrio termico e lo scambio di calore.

Potrebbero emergere proposte di «raffreddare» la moneta immergendola in acqua fredda (se la temperatura ambiente è piuttosto alta). Anche in questo caso facciamo riflettere i ragazzi sul perché propongono questo: c'è evidentemente l'esigenza di controllare le differenze di temperatura tra oggetti per far avvenire il passaggio di calore.

La mano richiusa a pugno, per alcuni minuti, per contenere la moneta può sudare. È possibile che i ragazzi introducano questa riflessione che, secondo noi, è secondaria rispetto al fenomeno che stiamo osservando. Qui si ha un ulteriore momento di verifica del contrasto tra il procedere in una lettura strettamente disciplinare (ad esempio fisica) di un fenomeno e l'atteggiamento dei ragazzi

che osservano *tutti* i fenomeni che si svolgono, ponendo una particolare attenzione a quanto riguarda il loro corpo. Osserviamo inoltre che quando si dà (e si darà) una lettura più «biologica» delle situazioni, il problema della traspirazione della pelle non risulta assolutamente secondario.

È possibile che emergano anche problemi del tipo: la moneta è «piccola»; se l'oggetto che prendiamo in mano fosse molto più grande? La moneta non è «molto calda» o «molto fredda»; se invece della moneta prendessimo in mano un cubetto di ghiaccio? Concludiamo facendo notare che a questo punto i ragazzi non sono in grado di argomentare correttamente ed esaurientemente su tutti questi aspetti, né noi riteniamo di dover intervenire a «sistamarli» tutti.

Questo richiederebbe una trattazione disciplinatamente complessa che a questo stadio di costruzione dei concetti risulta impossibile. Riteniamo però che sia opportuno che tutte queste questioni vengano esplicitate e venga chiarito che su molte di esse si tornerà in seguito.

Seconda fase

Chiediamo ai ragazzi di stendere una relazione di gruppo a partire dalla discussione delle relazioni dei singoli componenti, utilizzando l'espressione «fonti di calore». Specifichiamo che per «fonte di calore» intendiamo «quello che dà calore». È importante che l'insegnante, in questa fase, intervenga nel dibattito di ciascun gruppo coordinando gli interventi e finalizzandoli. La consegna di lavoro che a noi sembra molto chiara e anche abbastanza ovvia richiede, di fatto, un notevole salto di astrazione: stiamo chiedendo ai ragazzi di spogliare la realtà in esame di molte «qualità» e di classificarla secondo la caratteristica «fonte di calore». Non ci

interessano le caratteristiche di oggetti che i ragazzi percepiscono come molto diversi (mano, moneta, termosifone): chiediamo *l'astrazione* «fonte di calore». Questo momento del passaggio dalla complessità della realtà a una sua interpretazione con un concetto astratto, ma molto generale, è un punto importante nel nostro percorso di costruzione di conoscenza scientifica intesa come un punto di vista particolare nell'interpretazione della realtà.

Racconto della nostra esperienza

Presentiamo due scritti: 1) una descrizione individuale dell'esperienza della moneta e 2) la stessa descrizione come risultato del lavoro di gruppo guidato. Si noti appunto come «spariscono» in questa seconda esperienza gli elementi più particolari e personali e come si proceda nel processo di astrazione.

1. «Ho appoggiato sul banco una moneta da L 50. Dopo 5 minuti la prendo in mano; sento che è fredda e pian piano non la sento più come se si fosse scaldata, dopo 2 minuti la tolgo dalla mano, pensando che si fosse scaldata, ma se l'appoggio sulla guancia sento che è ancora fredda. Dopo che è stata sul calorifero la riprendo in mano: è calda e pian piano non la sento più: si è raffreddata».
2. *Osservazioni di gruppo:* «Fonte di calore significa che "dà calore". Nel primo caso la moneta era fredda e stando in mano si è riscaldata. Nel secondo caso la moneta è la fonte di calore: infatti essa, dando calore alla mano, ne perde, e pian piano moneta e mano raggiungono la stessa temperatura».

Proposta 8

Elenchiamo, classifichiamo e analizziamo le sorgenti di calore

Ai fini di *verificare* le acquisizioni dei ragazzi e le loro conoscenze (al di là del particolare ambito di osservazione fino ad ora proposto) sul concetto «fonti di calore», formuliamo la seguente proposta di lavoro (lavoro di gruppo): «Elencate le fonti di calore che conoscete». Pur avendo concluso precedentemente che la moneta può essere fonte di calore per la mano, è probabile che i ragazzi elenchino quasi unicamente *fonti con produzione*.

Solo qualcuno, di solito, cita sorgenti senza produzione e questo può essere un importante spunto per riportare i ragazzi ad analizzare di nuovo le conclusioni a cui si era pervenuti alla fine del lavoro precedente (sarebbe più corretto dire in questo contesto: conclusioni a cui noi pensavamo che i ragazzi fossero pervenuti nel punto precedente). Se non emerge dalle proposte dei gruppi il concetto di fonte senza produzione, poniamo noi il problema. Vogliamo arrivare all'affermazione: «*Tutto può essere fonte di calore*». Resterà probabilmente aperto un problema: ma il ghiaccio è la cosa più fredda che c'è oppure può essere anch'esso fonte di calore? Per rispondere a questo e per procedere nel nostro intervento di costruzione della conoscenza scientifica, proponiamo l'esperimento con l'azoto liquido.

Racconto della nostra esperienza

Riportiamo qui di seguito la linea di argomentazione che emerge dai lavori singoli, di gruppo e infine dall'intero gruppo classe.

Nell'elencare le fonti di calore, i ragazzi cominciano con «sole, calorifero, fuoco, corpo umano, geysir,...» accanto a cose più vaghe come «mare, terra...». Qualcuno però ripensa alla moneta, un ragazzo propone alla fine di non fare l'elenco ma di scrivere soltanto «ogni oggetto può essere fonte di calore per uno più freddo di lui». Dal dibattito emerge però che non per tutti la conclusione risulta convincente. In particolare qualcuno obietta che «il ghiaccio è la cosa più fredda che c'è e non può essere sorgente di calore per nessuno». Si noti che questa affermazione è vera per gran parte dell'esperienza quotidiana dei ragazzi. Qualcuno cerca di rifarsi anche a sue conoscenze «indirette»: «ma al Polo, in Siberia...», ma anche in questo caso gli rispondono: «Il ghiaccio è la cosa più fredda che c'è». Si noti che dagli interventi di alcuni ragazzi sembra di capire che pensino al ghiaccio come a qualcosa che ha *una* precisa temperatura, anche se non viene detto quale.

Si aprono così i problemi: ma il ghiaccio quanto è freddo? Ed esiste qualcosa più freddo del ghiaccio?

Per cercare una risposta a questi interrogativi viene proposta l'esperienza dell'azoto liquido.

Proposta 9

Un esperimento di laboratorio: l'azoto liquido

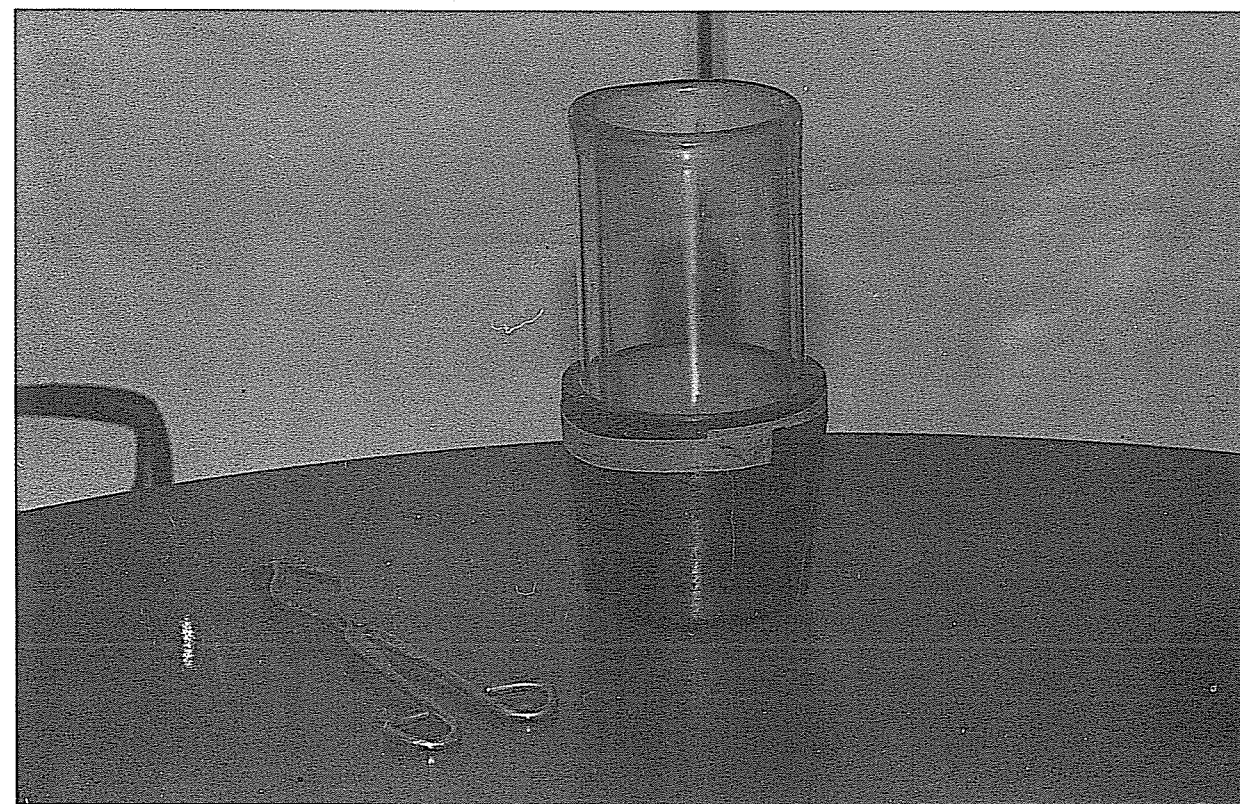
I ragazzi, organizzati a gruppi, seguono a turno un esperimento condotto dall'insegnante.

Per realizzare l'esperimento occorre:

- Azoto liquido*.
- Dewar trasparente con base in legno.
- Pinze.
- Thermos.
- Ramoscelli con foglie, cubetti di ghiaccio, alcool, ecc.

* L'azoto si acquista presso società specializzate (per es. SIO, Milano). Si conserva per una settimana al massimo nel dewar da 10 litri, ben chiuso.

L'azoto liquido ($T = -196^{\circ}\text{C}$) viene versato dal thermos nel dewar trasparente. Osservare attentamente tutto quello che accade. Sugeriremo ai ragazzi di segnarsi sul quaderno le cose che ritengono di dover fissare per fare in seguito una relazione scritta sull'esperimento. Raccomanderemo ai ragazzi di non toccare *assolutamente* l'azoto liquido, né oggetti che vengano estratti dall'azoto (pinze, cubetti ecc.). Potranno invece toccare la base di legno. L'esterno del dewar si può toccare a distanza di diversi intervalli di tempo e confrontare le sensazioni. *Attenzione* dopo un po' di tempo anche l'esterno del dewar diventa molto freddo.

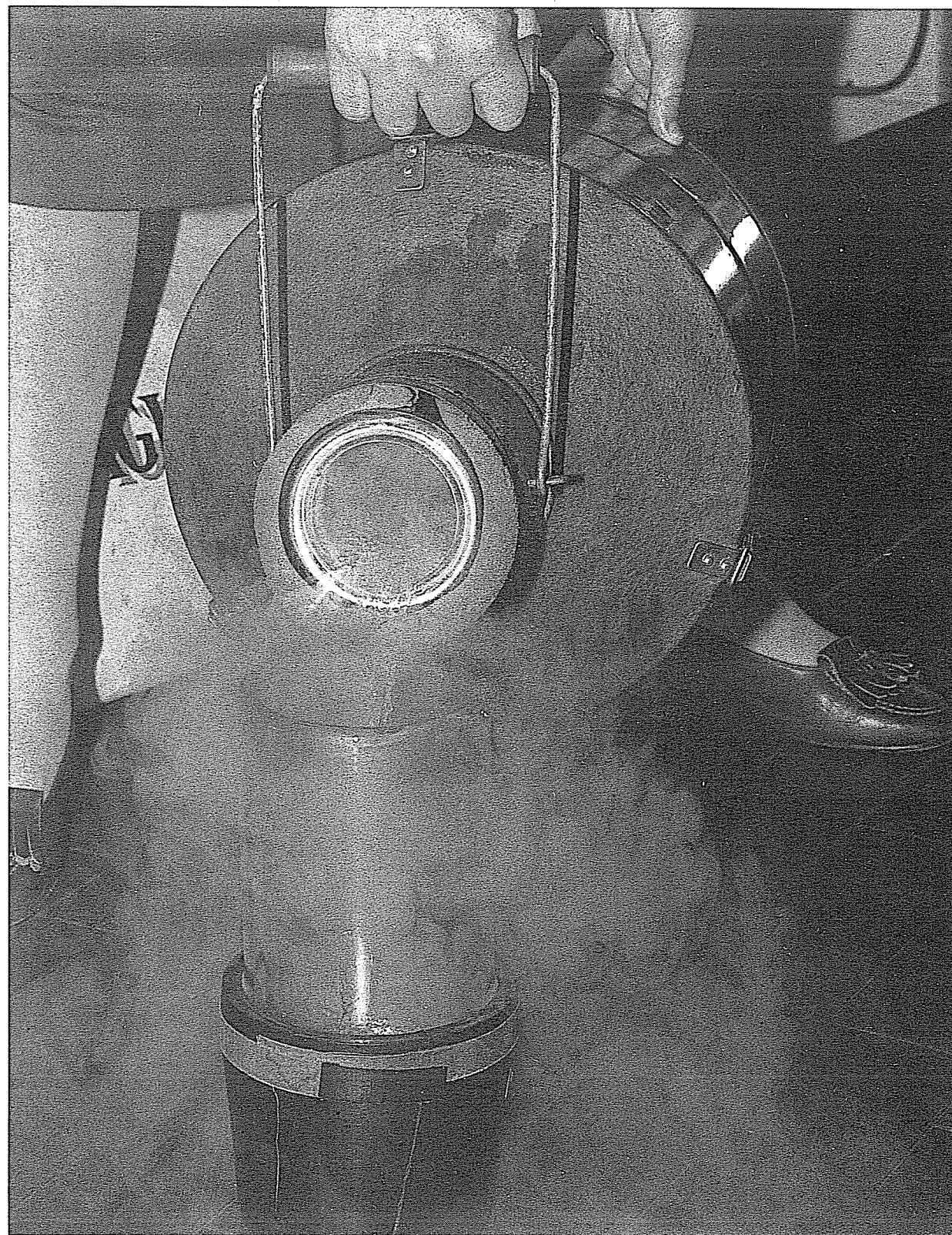


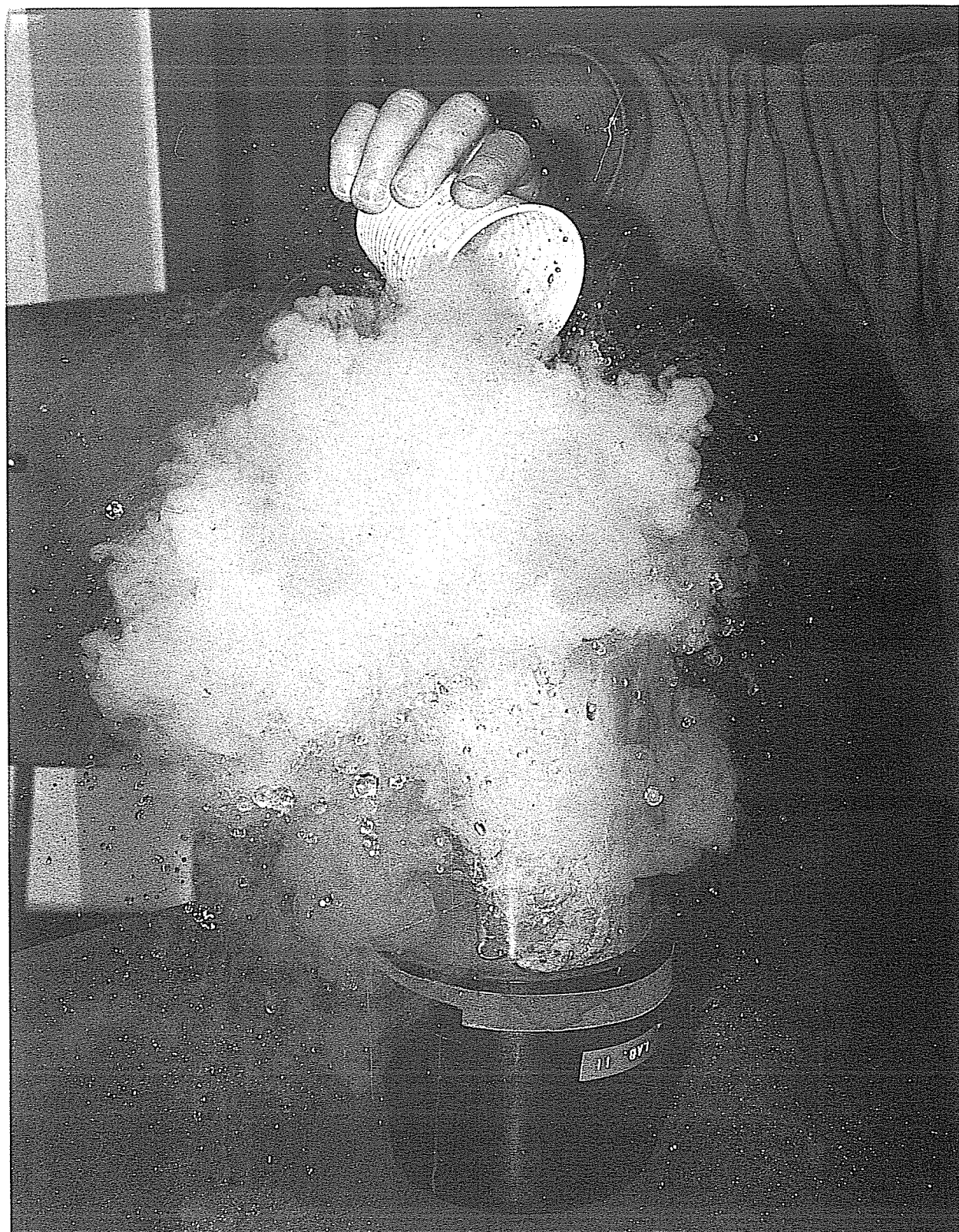
Dewar trasparente (capacità 1 litro) con base in legno; pinze con manici in materiale isolante.

Dewar che contiene azoto liquido (capacità 10 litri).



Si versa l'azoto liquido.





Si suggerisce di mettere nell'azoto foglioline e cubetti di ghiaccio tenendoli con le pinze.

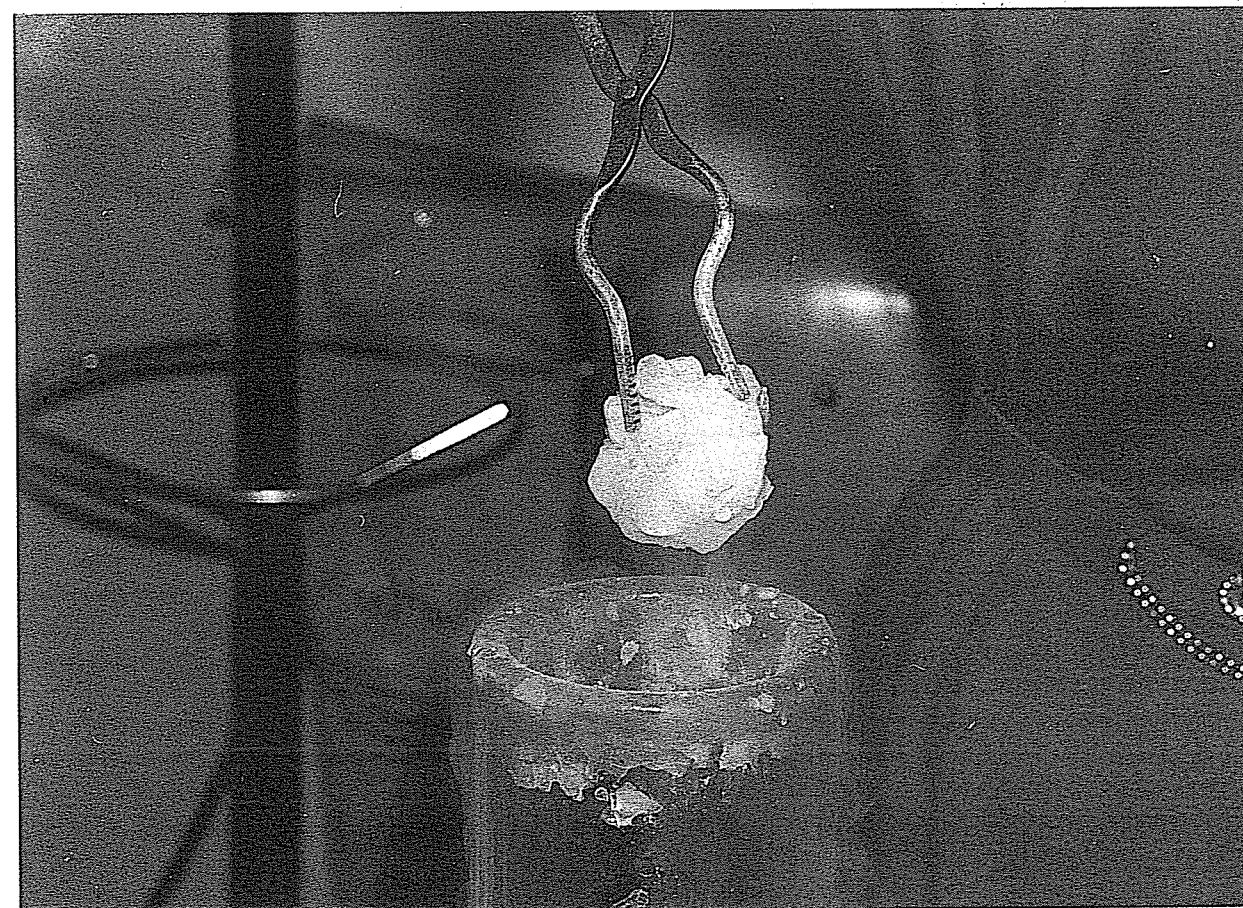
a) *Le foglioline.* Nel mettere il ramoscello con le foglioline nell'azoto, questo comincia a bollire. Viceversa le foglioline assumono una consistenza «vetrosa», si rompono facilmente se colpite (la fragilità non è una proprietà delle foglie!). Si può confrontare l'effetto della neve sulle foglie (basti pensare ad alberi con la neve) e invece l'effetto di questo liquido molto più freddo.

b) *Un cubetto di ghiaccio.* Nel mettere il cubetto nell'azoto, questo comincia a bollire. Dopo qualche minuto l'effetto finisce. A quel punto si estrae il cubetto. Si consiglia di osservarlo attentamente, di confrontarne «l'aspetto» con un cubetto tolto dal freezer, di confrontare i tempi di scioglimento di due cubetti, di cui uno proveniente dall'azoto.

c) I ragazzi a volte chiedono di provare a immergere nell'azoto *sostanze e oggetti diversi* (pezzetti di gesso, di plastica, di stoffa, matite, gomme ecc.). Per molti di questi non si notano effetti interessanti. Fanno eccezione liquidi quali ad esempio acqua e alcool. L'acqua solidifica immediatamente in pezzi irregolari di ghiaccio per i movimenti dell'azoto in ebollizione, ma non presenta sull'azoto effetti molto diversi dal ghiaccio. Interessante il caso dell'alcool che, avendo una temperatura di fusione/solidificazione di -130°C , non si ha modo normalmente di vedere allo stato solido. Si possono poi confrontare il «ghiaccio d'acqua» e il «ghiaccio d'alcool» una volta estratti dall'azoto.

Conducendo l'esperimento, l'insegnante discute anche con i ragazzi e li guida nelle osservazioni.

Oltre alla conclusione a cui preme arrivare «an-



L'acqua versata nell'azoto liquido è gelata.

che il ghiaccio può essere fonte di calore» per qualcosa di più freddo di lui, si possono osservare molti altri effetti sui quali ci si può soffermare e che pure interessano molto i ragazzi:

- l'azoto evapora piuttosto rapidamente e si vedono bollicine continuamente salire;
- mettendo anche solo le pinze nell'azoto, questo bolle;
- l'imboccatura del dewar si ricopre di uno straterello di ghiaccio; analogamente le pinze quando vengono estratte dopo essere rimaste dentro qualche minuto;
- il dewar è circondato da un sottile strato di «fumo» e così pure la pinza ricoperta di ghiaccio;
- soffiando nel dewar, si vede il fiato «condensarsi» in una densa nebbia;
- si possono confrontare le sensazioni nel toccare la base di legno e nel toccare il dewar all'esterno (fin quando è possibile);

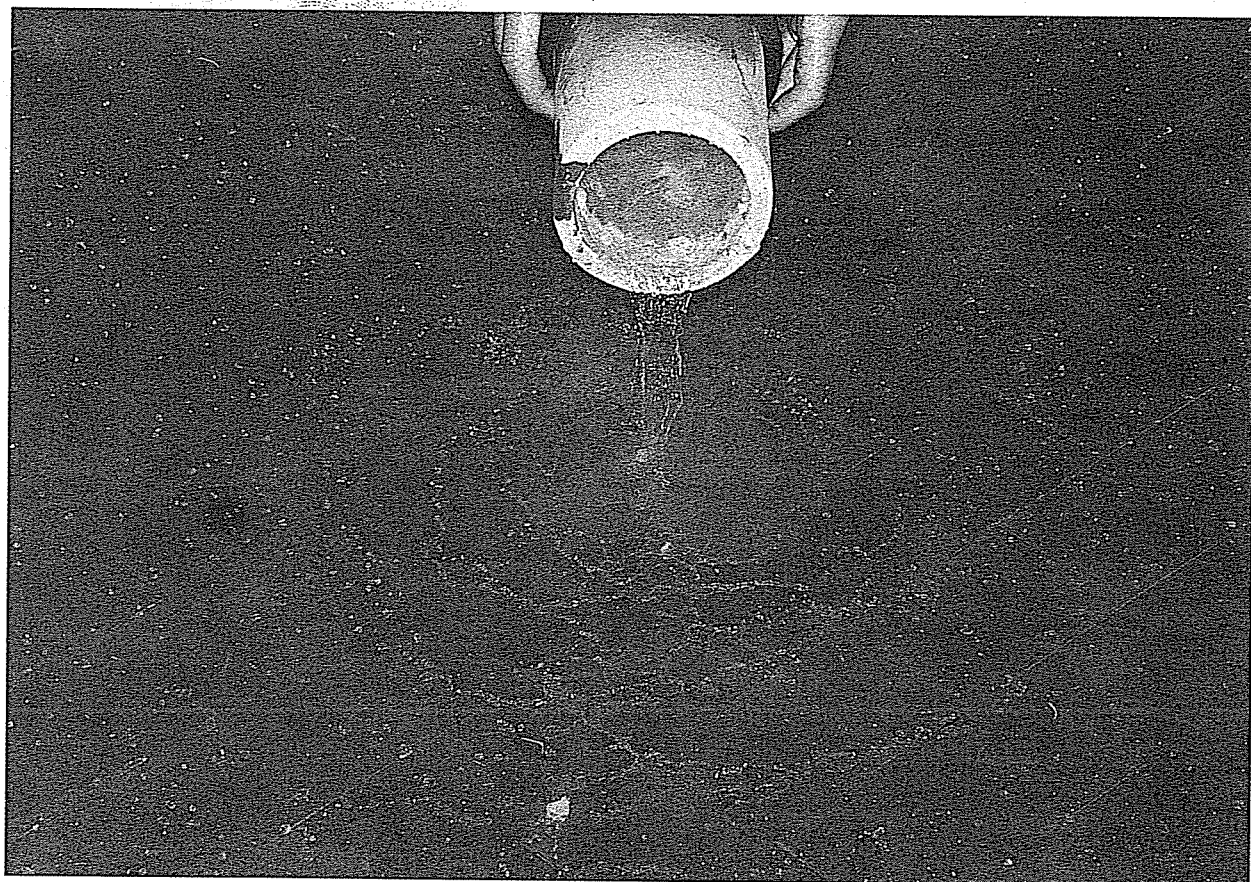
- alla fine si può rovesciare l'azoto per terra: si vedranno piccole gocce «correre» per il pavimento che non si bagna. L'evaporazione è rapidissima e accompagnata da «fumo».

Osservazioni

Il perché di un esperimento di laboratorio. Pur senza far uso sistematico del laboratorio e di esperimenti «raffinati», se ne suggerisce il loro uso in alcuni punti.

Vediamone il perché in questo caso.

Si presentano ai ragazzi delle sostanze (come l'azoto liquido e l'alcool solido) di cui normalmente non hanno esperienza diretta. Spesso hanno sentito parlare di azoto come di un gas, qualche



Si versa l'azoto liquido sul pavimento.

volta hanno sentito parlare di gas liquidi come ossigeno liquido (ad esempio nel caso di voli spaziali), ma raramente li hanno visti e, presumibilmente, mai «dal vero».

Oltre a far vedere sotto forma di liquido un gas normalmente presente nell'aria, questo esperimento serve a dare ai ragazzi un'idea di situazioni di freddo molto più intenso di quello di cui hanno solitamente esperienza. In particolare si può «vedere» l'alcool nei tre stati di aggregazione: solido, liquido e gassoso (per evaporazione, ovviamente, non per ebollizione data la sua infiammabilità).

Assume inoltre maggior concretezza l'affermazione che tutto può essere fonte di calore, anche il ghiaccio che, dando calore all'azoto, lo fa bollire.

A volte i ragazzi parlano di «la temperatura del ghiaccio» come se ci fosse un unico valore di temperatura caratteristico del ghiaccio. Il confronto tra due cubetti di ghiaccio, uno tolto dall'azoto liquido e l'altro dal freezer, confronto sia visivo che tra tempi di scioglimento, può servire a mettere in discussione idee come questa.

Noi stessi ripetiamo gli esperimenti e/o le misure, allorché questo sia possibile. In questo caso non possiamo sapere «quanto è freddo» l'azoto, misurandone la temperatura con un termometro; ci dobbiamo fidare di misure altrui, dei valori che ci dicono.

Naturalmente la discussione sui vari effetti che abbiamo elencato permette di discutere molti altri punti: presenza nell'aria di umidità, di vapor d'acqua che si condensa contro una superficie fredda diventando liquida e che, in questo caso, gela a contatto delle pinze e del dewar molto freddi («appannarsi di ghiaccio»). Fenomeno della «nebbia». Evaporazione. Effetto sulle foglioline o su tessuti umani di un freddo molto intenso («freddo che scotta»).

Invitiamo a concludere il punto che interessa per le sorgenti di calore, ad aprire la discussione sugli altri punti tenendo presente che si ritornerà più volte su argomenti simili e cioè:

- passaggi di stato;
- temperatura di equilibrio a cui si portano due oggetti messi a contatto partendo da temperature diverse;
- differenze tra materiale: legno, vetro, metallo.

Racconto della nostra esperienza

I ragazzi sono rimasti molto affascinati da questo esperimento. Ovviamente in generale noi non amiamo gli esperimenti «spettacolari» che fanno sembrare magia quello che invece vogliamo sia comprensibile. In questo caso però abbiamo constatato che, inserito in un preciso contesto e spiegato correttamente, l'esperimento spettacolare ha attratto l'attenzione, ma non ci si è limitati a questo.

Inoltre, il recupero di esperienze di vita quotidiana ha aiutato in questo. È ad esempio stato fatto il parallelo tra «l'appannarsi di ghiaccio» e quello che si verifica quando dell'acqua o del latte freddo vengono versati in un recipiente metallico, quando si vede del «fumo» «uscire» dal freezer e quando del ghiaccio si forma sulle pareti del freezer (se non c'è acqua nel freezer, da dove viene?). Come al solito, l'attenzione dei ragazzi è molto concentrata sul loro corpo e sulle loro sensazioni.

- Perché non si possono mettere le mani dentro?
- Che differenza c'è tra toccare la base di legno e il contenitore di vetro?
- Perché non si possono toccare le pinze o gli altri oggetti appena tolti dall'azoto?

I ragazzi hanno fissato singolarmente le loro osservazioni e poi, a gruppi, hanno steso una relazione sull'esperimento accompagnata da disegni.

L'esperimento serviva un po' a «chiudere» un argomento: quello delle «fonti di calore senza produzione» e del fatto che tutto può essere fonte di calore per oggetti a temperatura minore.

Per poter dire che questo argomento (sorgenti di calore) è arrivato ad una conclusione accettabile, bisogna però affrontare il problema della confusione, presente in molti ragazzi e spesso in molti adulti, tra «sorgenti di calore» e quelli che i fisici chiamano isolanti (termici).

Questa confusione molto legata al linguaggio comune («La lana scalda» e «Non stare scalzo sul pavimento di piastrelle che ti raffreddi, mettiti sul parquet o sulla moquette») era emersa nel nostro caso, sia nelle prime esperienze qualitative che nelle proposte per riscaldare l'acqua. Abbiamo quindi posto il problema confrontando le affermazioni fatte dai ragazzi in quelle sedi e la più recente conclusione sulle fonti di calore.

Proposta 10

«La lana scalda?». Una puntualizzazione su: sorgenti di calore e materiali isolanti

Nel contesto di lavoro di sistemazione delle sorgenti di calore abbiamo deciso di affrontare la confusione che è normalmente presente tra «sorgenti di calore» e isolanti.

La confusione si ritrova in individui di età anche avanzata e di diverse esperienze. In particolare può già essere emersa nel lavoro su «il riscaldare» la proposta di usare un isolante come fonte di calore. La domanda che caratterizza questa parte di proposta di lavoro potrebbe essere: «La lana scalda?».

Si consiglia di partire, per verificare o smentire questa ipotesi, da esperienze che vengano proposte dai ragazzi stessi. Qualora questo non accadesse, è opportuno guidarli ad alcune esperienze che suggeriamo.

Si prendano 2 becker di vetro pieni d'acqua proveniente dallo stesso recipiente; tre termometri, uno per ogni becker e uno per la misura della temperatura ambiente; un giaccone di lana pesante, una coperta e simili. Si misura la temperatura ambiente, quella dell'acqua in un primo becker appoggiato su un banco e quella dell'acqua in un secondo becker prima di avvolgerlo con la coperta o il giaccone, si ripete la misura dopo un certo intervallo di tempo (almeno mezz'ora)*.

* Per effetto dell'evaporazione, la temperatura dell'acqua del becker non avvolto può essere lievemente inferiore a quella dell'ambiente circostante. Per evitare questa ulteriore complicazione, eventualmente si possono usare bottiglie dal collo stretto invece dei becker.

Da questa esperienza si nota che l'acqua nel becker avvolto *non* è più calda dell'altra.

Si potrà passare da effetti di riscaldamento dell'acqua a quelli di scioglimento del ghiaccio. Si ripete così l'esperimento precedente, sostituendo l'acqua con cubetti di ghiaccio e confrontando:

- a) a parità di tempo il ghiaccio residuo nei due casi (che però può essere difficile da confrontare se uno dei due non è completamente sciolto);
- b) il tempo di scioglimento nei due becker.

Si potrà poi far seguire una discussione sui risultati delle esperienze, dalla quale far emergere qual è allora la funzione della lana. È probabile che tutti condividano la conclusione che la lana non scalda e non fa sciogliere prima il ghiaccio. Rimane però aperto il problema: «Se non scalda, allora cosa fa la lana?». Qualcuno forse parlerà di isolante, ma dando a questo aggettivo un significato non del tutto equivalente a quello disciplinare. È opportuno a questo punto una prima puntualizzazione, da parte del docente, sul significato corretto di materiale isolante, come di «quel materiale che fa passare lentamente calore». Non si creda però che questa spiegazione sia completamente compresa dai ragazzi. In particolare è molto probabile che i ragazzi più che ragionare in termini di *velocità* di trasmissione del calore all'interno di un materiale, facciano riferimento a uno schema di ragionamento in termini di *quantità* di calore assorbito dal materiale.

Racconto della nostra esperienza

Nella classe si è deciso di verificare la proposta di riscaldare l'acqua avvolgendo il recipiente in un maglione. (Si veda il paragrafo *m* di pagina 48). I ragazzi, divisi in gruppi, dovevano organizzare l'esperimento. Hanno deciso di usare un becker contenente acqua e di avvolgerlo in un giaccone. Si è notato che l'attenzione dei ragazzi era rivolta più alla scelta degli oggetti (giaccone molto pesante, chiuso in modo che non ci fossero spifferi) che all'individuazione delle grandezze e al loro controllo. In particolare, non è emersa dai ragazzi la necessità di lavorare con due becker: per loro era sufficiente misurare la temperatura dell'acqua all'inizio e alla fine dell'esperimento per il solo becker avvolto. Siamo intervenuti noi docenti a porre il problema sia della temperatura ambiente che del becker di controllo. Il discorso sulle grandezze (cfr. pp. 50) emerso nel piccolo gruppo durante la discussione teorica sul riscaldamento dell'acqua non viene tradotto in pratica. Noi interpretiamo questo dato non come valutazione negativa dei ragazzi, ma come indice della grossa difficoltà di questo passaggio e, in generale, dell'organizzazione e gestione di un esperimento scientifico. È evidente che, se si facessero soltanto eseguire esperienze già organizzate da noi, il procedere sarebbe più rapido. Si perderebbero però grandi opportunità per sollecitare nei ragazzi la costruzione sia di concetti che di metodologie scientifiche.

Siamo poi intervenuti nella metodologia di registrazione dei dati, fissando alcune regole che da quel momento i ragazzi hanno sempre seguito.

- Scrivere subito l'ipotesi da verificare. Ci è capitato più volte che, presi dalla realizzazione pratica, i ragazzi perdano di vista le ipotesi da verificare.
- Segnarsi via via sul quaderno tutti i dati qualitativi e quantitativi che si ritengono utili per stendere la relazione finale.
- Stendere la relazione finale ad esperimento concluso.

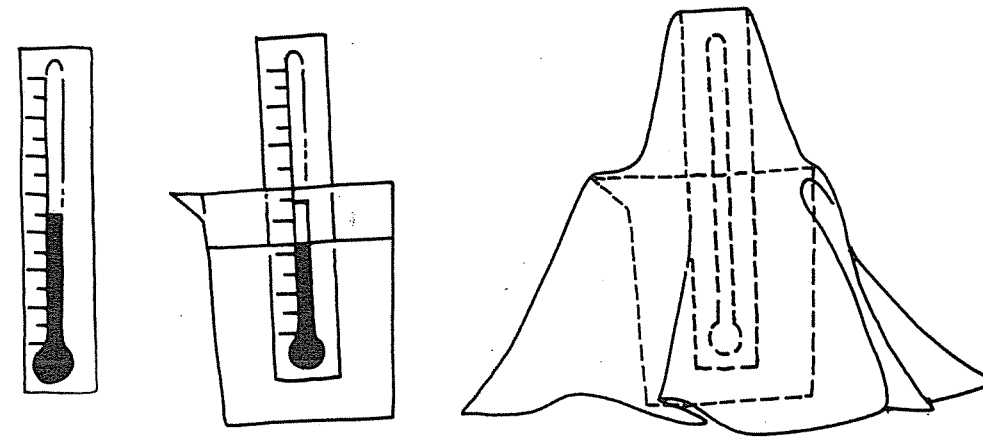
Presentiamo di seguito la relazione sull'esperimento fatta da un ragazzo. Si può notare dalle prime frasi che l'esperienza era già stata realizzata da un gruppo senza un adeguato controllo delle grandezze in gioco. Come si è detto, noi siamo poi intervenuti e l'esperienza è stata ripetuta riorganizzata anche alla luce delle nostre osservazioni e suggerimenti. (Si veda l'Elaborato 16).

Compito a casa

Abbiamo ritenuto importante suggerire di fare a casa l'esperimento dei cubetti già citato (pagina 68) per i seguenti motivi:

- a) ampliare la fenomenologia su cui si sta riflettendo;

TERMOMETRO
PER MISURARE
LA TEMPERATURA
AMBIENTE



La coperta scalda? L'acqua in un bicchiere tenuto sotto una coperta ha temperatura più alta dell'acqua in un identico bicchiere non coperto?

b) verificare le capacità di condurre un esperimento (l'esperimento è però stato prima discusso e costruito concettualmente in classe).

È seguita in classe una discussione sui risultati ottenuti, che ha portato i ragazzi a riflettere in modo critico sul controllo delle variabili, sulla precisione della misura che non tutti sanno gestire allo stesso modo. Si confrontano in particolare i due «estremi»: uno è quello che ha organizzato l'esperienza, poi è andato a giocare, quando è tornato ha trovato ovviamente il ghiaccio fuso in entrambi i recipienti e non ha potuto concludere nulla. L'altro estremo è quello che sostiene che, tutte le volte che si apre la coperta per controllare la situazione di scioglimento del ghiaccio al suo interno, si inficia l'esperienza che va ripetuta dall'inizio. Nella stessa discussione a proposito del ruolo della lana si propone prima che questa non abbia nessuna influenza.

Emerge poi un'interpretazione in analogia alla funzione della lana per il corpo umano. Alunno: «La coperta di lana trattiene il calore dell'oggetto, cioè non è che emana il calore la coperta di lana. Ad esempio quando noi abbiamo freddo e mettiamo su un maglione per riscaldarci è il nostro corpo che emana calore e la lana lo trattiene non facendolo passare e insomma...ci riscalda». Qualcuno parla di isolante: «La coperta è isolante e trattiene il calore del ghiaccio, cioè la temperatura del ghiaccio, mentre per il ghiaccio non avvolto l'aria che è calda, scalda e lo scioglie». Si noti che nel caso del corpo umano si ha un isolante che circonda una sorgente di calore con produzione che si trova a temperatura più elevata dell'ambiente. L'alunno però interpreta la funzione dell'isolante come del materiale che *non fa passare* calore dall'interno all'esterno, mentre il fisico la interpreta in termini di materiale che *fa passare lentamente* calore.

Nel caso del cubetto avvolto nella coperta, si ha un isolante che circonda un oggetto a temperatura inferiore alla sua e a quella ambiente, ma i ragazzi parlano ancora di isolante come del materiale che trattiene il calore (o indifferentemente la temperatura!) dell'oggetto e non si preoccupano né dell'ambiente esterno né del fatto che comunque la coperta, essendo a temperatura superiore a quella del ghiaccio, dovrebbe essere per lui fonte di calore. Ancora il fisico interpreta il ruolo dell'iso-

lante come del materiale che fa passare lentamente calore questa volta dall'esterno all'interno o del materiale che (se è sorgente di calore) lo cede lentamente.

Vogliamo dare qui un esempio del nostro tipo di interventi *ex cathedra* su punti nodali della trattazione, su cui bisogna intervenire perché, da soli, i ragazzi non hanno gli strumenti per arrivare alla sistematizzazione corretta.

Riportiamo pertanto integralmente la puntualizzazione fatta dal docente alla fine della discussione.

Docente: facciamo una sintesi dei vari punti.

1. Tutti gli oggetti si trovano a una certa temperatura. Ma esistono due categorie diverse di oggetti: quelli che tendono a mantenere sempre la stessa temperatura, come noi, e quelli che tendono a prendere la temperatura ambiente.
2. Gli oggetti del secondo tipo se sono a temperatura maggiore della temperatura ambiente cedono calore all'ambiente, si raffreddano e si portano alla temperatura ambiente. Se sono a temperatura minore della temperatura ambiente, assorbono calore dall'esterno e la loro temperatura aumenta fino al valore della temperatura ambiente.

Quindi se prendono o cedono calore la loro temperatura cambia: se lo cedono la temperatura diminuisce, se lo prendono aumenta. Questo non vale per gli oggetti del primo tipo, per cui ci vorrà un altro discorso. Il calorifero cede calore ma non si raffredda perché ha un suo meccanismo interno. Il modo con cui gli oggetti cedono o prendono calore dipende dal materiale di cui sono fatti. Gli isolanti tendono a rallentare il passaggio di calore; i conduttori (ad esempio il metallo) invece no. Questi sono tutti punti che siamo riusciti ad affrontare da quando abbiamo fatto la prima esperienza ad oggi.

Ci restano ancora un sacco di cose da chiarire: ad esempio non abbiamo considerato la grandezza degli oggetti, né abbiamo detto a che temperatura si portano due oggetti messi a contatto inizialmente uno più caldo dell'altro.

Proposta 11

Materiali e oggetti isolanti: riflessioni su situazioni della vita quotidiana

Si propone di richiamare l'attenzione sulla funzione *isolante* di alcuni materiali e oggetti che i ragazzi trovano nella realtà quotidiana. Questo può essere fatto ad esempio attraverso l'analisi di situazioni quali quelle qui sotto elencate.

1. Devi portare una torta gelato, di cui non hai più il contenitore, da casa tua a casa di un tuo amico. Dove puoi metterla per evitare che si sciolga troppo presto?
2. Solitamente in che tipo di contenitore si trovano le torte gelato?
3. Carlo vuol portare del tè caldo in montagna in un thermos. Secondo te, ha ragione? Perché?
4. Gianni e Maria stanno discutendo animatamente: Maria si è preparata una bella granita e la vuole mettere nel thermos per portarla in spiaggia e gustarla fresca, sotto l'ombrellone. Carlo non è d'accordo. Secondo te, chi dei due ha ragione? Sapresti spiegare questa tua risposta?

In alternativa si possono considerare i materiali usati per i vestiti nelle diverse stagioni e in diversi ambienti.

Riflessione sugli obiettivi

Abbiamo già esplicitato le difficoltà che probabilmente permangono sul concetto di isolante/connettore di calore, anche dopo un intervento di puntualizzazione da parte del docente. Per proseguire nella costruzione del concetto riteniamo utile spostare l'attenzione dei ragazzi dalla situazione di laboratorio a situazioni più familiari. Questo serve a verificare se, e a quale livello, sanno operare un trasferimento dell'interpretazione da noi proposta anche a queste situazioni. La riflessione su realtà così diverse e ampie contribuisce sia a fornire stimoli per proseguire nel processo di costruzione dei concetti sia a comprendere il significato del processo di astrazione e generalizzazione proprio del procedere scientifico.

Proposta 12

Una verifica sul grado di costruzione di alcuni concetti

A questo punto si propone un lavoro che ha come finalità prima una verifica del livello di acquisizione dei concetti finora affrontati. Uno dei metodi per realizzare questa verifica è proporre ai ragazzi di rispondere ad una serie di domande del tipo seguente.

1. Elenca esempi di sorgenti di calore con produzione e, se le conosci, le loro temperature caratteristiche.
2. Tutti gli oggetti in uno stesso ambiente (ad esempio la tua stanza) sono alla stessa temperatura?
3. Prova a fare un elenco di materiali isolanti e conduttori riferendoti alla cucina.
4. Perché gli oggetti si sentono caldi o freddi? (Prova a camminare scalzo su pavimenti di diverso tipo: piastrelle, parquet, tappeti...).

Racconto della nostra esperienza

Nella nostra esperienza abbiamo prima richiamato i concetti già messi a punto precedentemente per essere sicuri che i ragazzi non li avessero dimenticati: in questa fase infatti ci interessava valutare il grado di acquisizione e non di memorizzazione dei concetti stessi. Quindi abbiamo proposto le domande a cui i ragazzi hanno risposto individualmente in parte anche a casa (andando effettivamente in cucina e scalzi sul pavimento!). Poiché le risposte sono necessariamente brevi e schematiche abbiamo ritenuto importante far discutere poi i ragazzi prima a livello di piccolo gruppo e quindi a livello di gruppo-classe. Dalla registrazione di que-

sti dibattiti emerge più chiaramente qual è lo schema interpretativo della realtà a cui i ragazzi fanno riferimento. Ad esempio alla domanda 2. tutti hanno risposto: «Non tutti gli oggetti di uno stesso ambiente hanno la stessa temperatura». Questa domanda è volutamente ambigua e serve a verificare anche la capacità di analisi della situazione oltre ai concetti specifici e all'idea di ambiente. Così l'argomentazione dei diversi ragazzi è a livelli molto diversi. Dal quaderno di un alunno: «Nella mia stanza si possono avere diverse temperature; dove c'è il termosifone gli oggetti circostanti assumono una temperatura più elevata (durante l'inverno), vicino alla finestra le temperature degli oggetti si abbassano. Gli oggetti vicino alla porta che è in comunicazione con un'altra stanza, assumono in gran parte la temperatura di quest'ultima stanza. È anche importante stabilire se un oggetto è isolante, e quindi trattiene il calore, o se è un conduttore e quindi lascia passare il calore».

Dalla trascrizione della discussione successiva. Un alunno: «Non tutti gli oggetti di uno stesso ambiente hanno la stessa temperatura perché ogni oggetto è costituito da un materiale che assorbe o riflette più o meno calore».

Non è possibile per ovvi limiti di spazio condurre un'analisi puntuale delle risposte dei ragazzi e del ricco dibattito. Emerge però che il concetto di isolanti/conduttori è sempre legato alla quantità di calore e non alla velocità di trasmissione.

Inoltre per tutti i ragazzi, gli oggetti, anche se posti da tempo in uno stesso ambiente limitato e privo di sorgenti di calore con produzione, sono a temperature diverse. Da questo fatto derivano le nostre diverse sensazioni: questo sarà uno dei punti più difficili da «smontare».

Proposta 13

L'ambiente e la «sua» temperatura

Nel corso del lavoro può essere emerso già in molti punti il problema di puntualizzare che cosa sia l'«ambiente» e che cosa si debba intendere con l'espressione «temperatura ambiente». Se si ritiene che nel corso del lavoro questi problemi siano già emersi e siano stati affrontati in misura soddisfacente, non è necessario soffermarsi sulla proposta che segue. Se questo non è ancora avvenuto, si consiglia di farlo a questo stadio in vista delle importanti sistemazioni concettuali a cui si vogliono, nei passi immediatamente successivi, portare i ragazzi.

Si possono porre i ragazzi di fronte al problema se con la dizione «ambiente» si intende dire sempre la stessa cosa nei diversi contesti (l'ambiente aula, l'ambiente esterno ai due becker con acqua nell'esperienza della Proposta 10, l'ambiente esterno all'aula ecc.) e se si possa parlare di *una* temperatura ambiente. Dopo un dibattito introduttivo in cui si portano i ragazzi a formulare delle ipotesi, si invitano a verificarle eseguendo diverse misure con il termometro. Si concluderà che la dizione «ambiente» può variare di molto nei vari

contesti ed è funzionale al contesto. Ha senso parlare di *una* temperatura ambiente solo se questo è abbastanza ristretto.

La nostra esperienza

Nel caso della classe a cui facciamo sempre riferimento, il problema era già emerso e discusso diverse volte sia a livello di singoli gruppi sia di gruppo-classe e non è stato quindi necessario affrontarlo espressamente a questo punto.

L'Elaborato 17 riporta l'esperienza di lavoro di alcuni ragazzi della classe prima di cui avevamo già parlato. (Si veda pag. 45). Si sottolinea che in questa classe la sequenza di lavoro era incentrata ancora su problemi di osservazione in quella linea di cui si è già data esemplificazione. Si può notare che la classe ha imparato a procedere in modo molto più sistematico: i ragazzi formulano le ipotesi, le verificano, registrano dati e c'è già un discreto livello di controllo delle variabili.

Proposta 14

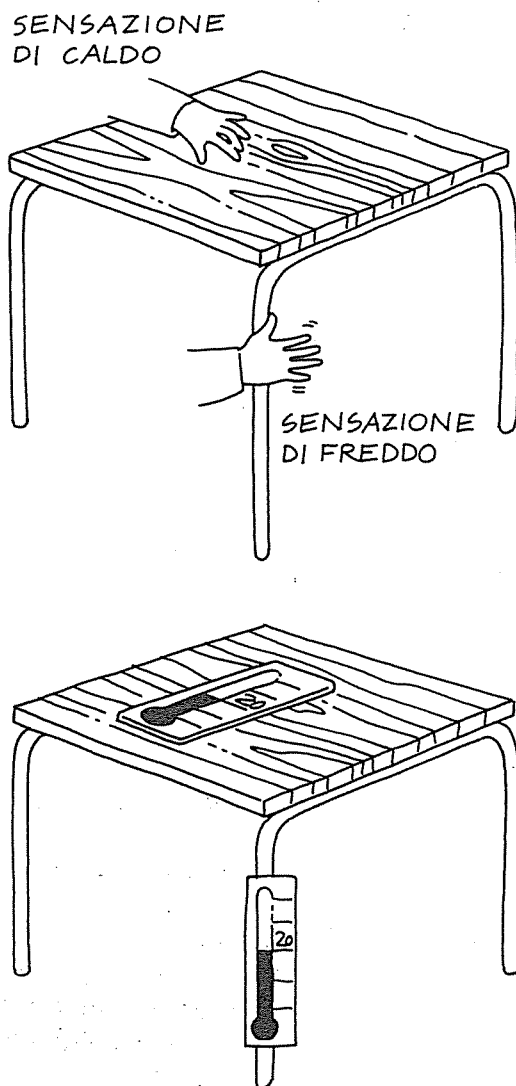
Misure di temperature in uno stesso ambiente

Con un termometro si propone ai ragazzi di misurare la temperatura di vari oggetti in un ambiente ristretto, ad esempio del piano di legno (o di plastica) e delle gambe di metallo del loro banco. Si discutono i risultati di queste misure anche alla luce delle risposte date alle domande della Proposta 12.

Si osserva che la misura effettuata con il tradizionale termometro a mercurio o a alcool può presentare dei problemi: si rileverà con i ragazzi che il bulbo del termometro ha un contatto minimo con la superficie del materiale di cui vogliamo misurare la temperatura. Per ottenere una misura attendibile della temperatura di un materiale solido, il fisico immerge il bulbo del termometro in un foro praticato nel materiale e riempito di olio. Ma il fisico sa già che, all'equilibrio, hanno la stessa temperatura. Questa procedura è quindi improponibile ai ragazzi sia per ragioni pratiche che teoriche: i ragazzi obietterebbero infatti che così facendo si misura la temperatura dell'olio e non quella del materiale.

Nonostante le imprecisioni lavoriamo con i nostri termometri tenendo presente che l'eventuale mezzo grado di differenza nelle misure dei ragazzi è normale ed è dovuto alla posizione delle mani, alla presenza di varie persone che guardano, soffiano ecc.

Per i fisici: i corpi (senza produzione di calore) tendono a portarsi alla temperatura ambiente in tempi diversi a seconda del materiale di cui sono fatti. Se sono in quell'ambiente da un tempo sufficientemente lungo sono tutti alla stessa temperatura. (Equilibrio termico statico). Questo è, come abbiamo già detto, uno dei punti più anti-intuitivi. In questo caso al linguaggio quotidiano *più caldo - più freddo* corrisponde in fisica *più isolante - più conduttore*.



Le nostre sensazioni di caldo e freddo non sempre vanno d'accordo con le indicazioni del termometro.

Racconto della nostra esperienza

Siamo partiti riprendendo in considerazione le risposte dei ragazzi alle domande 2. e 4. della Proposta 12 e iniziando così una lunga discussione. Nel rispondere alla domanda «Tutti gli oggetti in uno stesso ambiente sono alla stessa temperatura?» (si veda la domanda 2. della Proposta 12), i ragazzi hanno affermato che i diversi materiali «prendono calore» in misura diversa dall'ambiente e quindi non sono tutti alla stessa temperatura. Facciamo notare che questo ragionamento (errato!) in termini di quantità di calore invece che di

velocità di trasmissione del calore, porterebbe a concludere che:

i metalli — prendono più calore → temperatura maggiore

gli isolanti — prendono meno calore → temperatura minore.

Alla domanda «Perché gli oggetti si sentono caldi o freddi?» (si veda la domanda 4. della Proposta 12). I ragazzi hanno risposto che gli oggetti si sentono più o meno caldi a seconda della loro temperatura. Facciamo notare che questo ragionamento (corretto in parte: se le temperature sono diverse, allora noi sentiamo diversamente, ma non possiamo concludere che «se sentiamo diversamente, allora le temperature sono diverse») porterebbe a:

i metalli — sentiamo più freddi → temperatura minore
isolanti — sentiamo più caldi → temperatura maggiore.

Confrontiamo i due schemi conclusivi e decidiamo che c'è qualcosa di sbagliato in uno dei due casi.

Siamo consapevoli della difficoltà che incontrano molti ragazzi a sostenere questi tipi di argomentazione. Dopo questo livello «più teorico» si passa quindi a una fase più sperimentale. Si è quindi proceduto alla misura delle temperature, come



CUCCHIAIO DI LEGNO



CUCCHIAIO DI METALLO

Le grosse differenze nella conducibilità termica tra un materiale e l'altro possono essere messe in evidenza anche con esperienze banalissime come queste.

nella proposta, ottenendo lo stesso valore per i diversi oggetti. È seguita una vivace discussione alla fine della quale il docente ha proposto la sua interpretazione, sottolineando nuovamente il problema della velocità di trasmissione del calore e della temperatura all'equilibrio. A nostro avviso questi due concetti sono, a questo stadio, ancora molto difficili da padroneggiare e i ragazzi non sono per nulla convinti, neppure dei risultati sperimentali; qualcuno arriva a insinuare: «Il termometro si è rotto, segna sempre lo stesso valore».

Abbiamo deciso di insistere ancora sul tema proponendo altre fenomenologie sia di vita quotidiana che di laboratorio. Pertanto abbiamo dato il seguente compito a casa:

1. portare all'ebollizione un pentolino d'acqua;
2. spegnere il gas;
3. mettere per qualche istante le mani sotto l'acqua fredda;
4. prendere in una mano un cucchiaino di legno e nell'altra uno di metallo e immergerli nel pentolino senza appoggiare al fondo. Rilevare le proprie sensazioni al passare del tempo.

Si noti che la consegna di lavoro è così specifica e strutturata non perché imposta dall'adulto, ma perché risultato di una discussione e programmazione dell'esperimento. I ragazzi hanno scritto delle relazioni che sono poi state lette e discusse.

Isolanti e conduttori: un esperimento qualitativo e prima individuazione delle variabili

Si propone ai ragazzi ancora un'esperienza qualitativa, ma più di laboratorio, da farsi in gruppo.

- Sono necessari recipienti di materiale diverso (ciotole di polistirolo, legno, plastica, vetro, alluminio, ceramica...). Sarà impossibile trovare ciotole uguali per forma e dimensioni. Si cercherà di prenderle più simili possibile.
- L'insegnante versa in essi acqua molto calda (quasi all'ebollizione).
- I ragazzi toccano i recipienti dall'esterno.
- Stendono quindi una relazione di gruppo nella quale descrivono le loro sensazioni e fanno ipotesi per spiegarle.

L'esperienza non è un vero esperimento di laboratorio: le ciotole non sono tutte uguali, l'acqua mentre si versa si raffredda, si «misura» con le mani. Si può quindi affrontare, oltre alle conclusioni su isolanti e conduttori, il problema dell'organizzazione di un esperimento, dell'individuazione e controllo delle variabili...

A questa esperienza si può fare eventualmente seguire un vero esperimento di laboratorio.

Racconto della nostra esperienza

La graduatoria

Riportiamo la relazione di uno dei gruppi di lavoro.

1. Abbiamo messo sul banco i recipienti dei seguenti materiali: legno, vetro, metallo, ceramica, plastica, polistirolo.
2. Abbiamo versato in ciascun recipiente una certa quantità d'acqua che era quasi all'ebollizione.
3. Ogni ragazzo del gruppo ha toccato la superficie esterna di ogni recipiente. Alcuni recipienti erano decisamente più caldi degli altri. Abbiamo costruito la seguente graduatoria.

- Polistirolo
- Legno
- Plastica
- Vetro
- Ceramica
- Metallo

Dal confronto della nostra graduatoria con quella ottenuta dagli altri gruppi si nota che c'è stato uno scambio tra *vetro* e *ceramica*. Noi formuliamo le seguenti ipotesi: le differenze possono

dipendere dalla quantità diversa di acqua, dalla forma, dallo spessore e materiale del recipiente che potevano essere diversi e dall'altezza a cui si toccava il recipiente con le mani. Inoltre le sensazioni della mano cambiano da persona a persona e per una stessa persona dipendono da cosa ha toccato prima.

Le relazioni degli altri gruppi erano simili. Alcuni però hanno fatto una graduatoria non di materiali ma di sensazioni: «bollente, caldo, abbastanza caldo, tiepido, tiepidino, niente (polistirolo)». È seguita una discussione in cui il docente ha sottolineato che l'acqua nei diversi contenitori era più o meno alla stessa temperatura e ha portato i ragazzi a tradurre la loro graduatoria di materiali o di sensazioni in termini di graduatoria di isolanti e conduttori. Sono stati proposti dai ragazzi i tre seguenti criteri di organizzazione dei materiali:

- dal più isolante al meno isolante;
- dal più conduttore al meno conduttore;
- dall'isolante al conduttore.

All'inizio della discussione molti ragazzi affermavano che le tre espressioni erano diverse. A poco a poco però qualcuno ha cominciato a dire che tutte e tre erano giuste e a darne le ragioni.

Un alunno

«Si può dire: il metallo e la plastica sono conduttori, però il metallo è più conduttore della plastica.

Oppure si può dire che la plastica è isolante rispetto al metallo, ma non si può dire che il metallo è conduttore e la plastica è isolante; bisogna che ci sia un paragone. Vanno bene solo la prima e la seconda espressione».

Un altro alunno

«La terza espressione va usata quando abbiamo una specie di caso limite: il materiale che sul mondo è il più isolante di tutti, il materiale che sull'universo è il più conduttore di tutti; allora possiamo dire dall'isolante al conduttore. Altrimenti per plastica e metallo vanno bene le altre due frasi».

Abbiamo lasciato spazio nel dibattito a questi problemi di classificazione perché sempre importanti in un contesto di formazione scientifica dei ragazzi. C'è stato poi un intervento del docente che ha sottolineato come la classificazione dipenda dalla situazione: il vetro non è né un buon conduttore, né un buon isolante. Se si guarda la sua funzione in una stanza, si dice che il vetro è un cattivo isolante. Se si guarda la sua funzione, ad esempio in cucina (pentole, bicchieri ecc.), si dice che il vetro è un cattivo conduttore.

Nel corso della discussione si è fatto riferimento anche all'esperienza fatta a casa con i cucchiari.

Al termine si nota che i livelli raggiunti dai vari ragazzi sono differenziati. In particolare, ci sono sempre i due estremi: i ragazzi più legati all'esperienza e i ragazzi capaci di proporre per la descrizione della parte sperimentale la seguente spiegazione: «La sorgente di calore è l'acqua che inizialmente si trova a una certa temperatura abbastanza elevata. Il cucchiaino di metallo prende calore dall'acqua con più velocità di quello di legno. Il cucchiaino di legno, se l'acqua mantenesse sempre la stessa temperatura, dopo un certo periodo di tempo prenderebbe la stessa temperatura del cucchiaino di metallo».

Proposta 16

Un esperimento di conducibilità

Come si è visto, l'esperienza precedente (ciotole, acqua calda, mani) non è un vero esperimento in quanto non è rigoroso il controllo delle variabili né è possibile una misura. Se si vuole ottenere tutto questo *a questo punto* si può proporre un esperimento «classico»; ad esempio il seguente (v. figura a fianco).

Sulle sbarrette sono poste delle gocce di cera a distanze fisse. Le sbarrette sono con una estremità immerse in acqua molto calda. A seconda della conducibilità del materiale di cui sono fatte, le gocce di cera nei diversi punti si scioglieranno prima o dopo. Quando la cera fonde, la sbarretta in quel punto si è portata alla temperatura di fusione della cera (circa 60° C). Il vedere sciogliere successivamente le gocce di cera dovrebbe dare l'idea della propagazione del calore e della sua diversa velocità di propagazione nei diversi materiali. Si noti che in questo esperimento si ha un controllo delle variabili ad un livello finora irrealizzato. Questo obiettivo fondamentale va discusso chiaramente con i ragazzi sia prima sia durante l'esecuzione dell'esperimento.

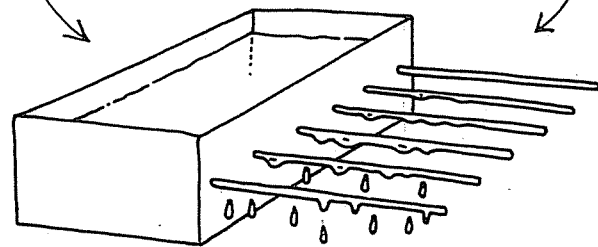
Racconto della nostra esperienza

Dalla volta precedente (esperienza delle ciotole) i ragazzi non sembravano ancora molto propensi a ragionare in termini di velocità di propagazione del calore in collegamento a isolanti/conduttori. Abbiamo quindi organizzato questo esperimento.

In realtà contrariamente alle nostre aspettative i ragazzi nel frattempo si erano molto più convinti dell'interpretazione data da noi e l'esperimento non è stato per loro molto significativo. Questo episodio ci ha fatto riflettere sul fatto che la ristrutturazione dei concetti da parte dei ragazzi

CASSETTA DI
METALLO RIEMPITA
DI ACQUA CALDA

SBARRETTE DI
MATERIALI DIVERSI
RIVESTITE DI CERA



Questo apparecchio è usato nei laboratori scolastici per dimostrare le differenze nella conducibilità termica dei diversi materiali.

non è sempre in sintonia con i discorsi di sistematizzazione dell'adulto e con le sue previsioni di attività.

Facciamo il punto della situazione. Rispetto a quanto schematizzato nella mappa iniziale, abbiamo avviato la costruzione dei concetti di: sorgenti di calore con e senza produzione, equilibrio termico, ambiente, temperatura, calore, velocità di propagazione del calore, isolamento termico, ma non siamo ancora arrivati a dare precise definizioni e formule. Inoltre all'aspetto più propriamente fisico si è sempre affiancato l'aspetto biologico: sensazioni di caldo e freddo, il corpo umano come sorgente di calore con produzione ecc. Si potrebbe scegliere un ulteriore approfondimento dei concetti fisici, curando in particolare la successiva sistematizzazione del quadro. Nella nostra esperienza questo è stato fatto in un secondo momento e, come già detto, non compare in questo libro. Nelle successive proposte di lavoro si prosegue con una riflessione su questi concetti e contemporaneamente su concetti «biologici» attraverso situazioni che coinvolgono più da vicino corpo umano, animali ecc.

Proposta 17

La temperatura del nostro corpo

Si dice ai ragazzi di misurarsi la temperatura a determinati intervalli di tempo. Questi intervalli possono essere: una volta al giorno, più volte nella giornata, a distanza di varie ore ecc. Si dice loro inoltre di registrare i dati nel modo che ritengono più opportuno: tabella, grafico. Quando i ragazzi hanno accumulato un sufficiente numero di misure li si invita a esaminare i propri dati badando se la temperatura resta sempre uguale o varia e in quest'ultimo caso, se c'è qualche regolarità nel variare. (Per esempio temperatura più alta o più bassa del normale in particolari ore della giornata o dopo particolari attività). Una volta esaminati i propri dati i ragazzi sono invitati a paragonarli con quelli dei compagni.

Possono verificarsi le seguenti situazioni:

a) I ragazzi possono trovare il compito di misurarsi la temperatura coinvolgente o viceversa noioso. Può darsi che esso non venga preso sul serio, cioè che non venga incluso nella categoria dei «compiti a casa». I ragazzi arrivano alla scuola media già fortemente condizionati dal fatto che un compito a casa consista in qualche cosa da scrivere o da studiare. Molto dipende anche dall'atteggiamento dei genitori in proposito.

b) Alcuni ragazzi non saranno molto pratici di questa operazione (ci pensano normalmente le loro mamme a misurare loro la febbre) e quindi può esser necessario fermarsi sulla sua esecuzione tec-

nica (si veda più avanti nella sezione «obiettivi»). La misura non è istantanea: alcuni ragazzi potrebbero non avere la pazienza necessaria.

c) Il modo di esprimere i dati dipenderà fortemente da quello che è stato appreso in precedenza. A seconda della situazione potranno prevalere le tabelle, i diagrammi, gli istogrammi. In base alla nostra esperienza possiamo dire che la classica «curva della febbre» (sfruttata persino nelle vignette umoristiche) sembra non far parte del patrimonio culturale dei ragazzi. Non c'è una tendenza prevalente a esprimere l'andamento della temperatura in questa forma.

Riflessioni sugli obiettivi

Una riflessione sulla temperatura del corpo può essere interessante se si studiano fenomeni termici, specialmente se i ragazzi si erano precedentemente abituati a considerare il loro corpo come fonte di calore con produzione. Uno degli scopi di questa proposta può essere quello di raccordare la fisica con la biologia introducendo la generazione di calore negli esseri viventi. Vogliamo qui ribadire l'interesse di un argomento come «fenomeni termici» perché permette di affiancare e integrare diverse discipline. La nostra personale esperienza

nelle classi dimostra che con un po' di sforzo si riesce a far sì che questa interdisciplinarietà non rimanga solo teorica: la parte che potremmo chiamare pomposamente «fisica» e quella che potremmo chiamare altrettanto pomposamente «biologia» non solo si susseguono, ma si possono anche compenetrare entro certi limiti.

Naturalmente la misura della propria temperatura corporea è solo una delle moltissime strade possibili per raggiungere questa integrazione. Il suo vantaggio è che con un po' di fortuna si riesce a coinvolgere molto i ragazzi, come sempre quando si tratta di fatti che riguardano il loro corpo. Un'esperienza con dei piselli che producono calore germinando in un barattolo chiuso li lascerebbe molto più freddi.

Nonostante che con questo argomento si entri decisamente nel campo biologico, il tipo di attività pratica — una serie di misure di temperatura — è ancora molto vicino al mondo delle esperienze fisiche. Si tratta di un'attività semplice e schematica che invita a ragionarci su, anziché scappar via con la fantasia in mille direzioni diverse come succede spesso in biologia.

Ci sono ancora altri aspetti più generali da considerare. L'argomento «temperatura del corpo» può essere un'ottima introduzione alla variabilità. (Se ne parlerà più avanti). Questo argomento può inoltre essere un buon punto di partenza per approfondire un'operazione di misura che non è poi tanto banale quanto può sembrare per la lunga abitudine. Essa è basata su un termometro un po' modificato (il termometro a massima) e richiede alcune precauzioni quali misurare la temperatura sempre nello stesso punto del corpo (a proposito: perché proprio l'ascella?) e aspettare il tempo necessario per trovare un valore costante. Se il concetto di equilibrio termico è stato già trattato esso potrà essere richiamato qui, facendo notare che bisogna lasciar passare un certo tempo prima della lettura affinché lo strumento possa raggiungere un equilibrio termico con il nostro corpo. Sarà un'occasione per allargare le idee dei ragazzi sugli strumenti di misura. L'idea che oggetto misurato più strumento di misura formino un sistema unico non è intuitiva: lo strumento è sentito come qualche cosa di incorporato, quasi si trattasse di uno strumento di pensiero anziché di

un oggetto materiale dotato di proprie caratteristiche (per esempio la capacità termica) che interagiscono con quelle dell'oggetto misurato. Sempre partendo dal termometro della febbre si può tentare di distinguere fra «equilibrio» e «velocità di raggiungimento dell'equilibrio». L'argomento può essere introdotto nel modo seguente. Si può avere una stima molto approssimata della febbre senza aspettare che l'equilibrio venga raggiunto, ma semplicemente osservando la velocità di salita della colonnina di mercurio: quanto più sale in fretta tanto più alta è la febbre. (Naturalmente per riprodurre sperimentalmente la situazione in classe conviene prendere solo spunto dalla febbre e poi sperimentare con termometri comuni su oggetti a temperatura diversa).

Il tema della febbre si presta molto bene per introdurre l'idea della convenzionalità, dell'artificialità di certe definizioni. Riferiremo più avanti un frammento di discussione incentrato sull'argomento: «Perché la febbre comincia proprio a 37° C?» che ha molto coinvolto una classe. Non è facile capire che la definizione di limiti netti in un sistema che varia in modo continuo è un'operazione puramente artificiale, anche se necessaria in pratica. (Esempio: per riscuotere il pedaggio di un tunnel può essere conveniente classificare le automobili in «piccole», «medie» e «grandi». Naturalmente i limiti delle categorie devono essere precisi; può quindi capitare che un'automobile di 2001cc di cilindrata venga a trovarsi fra le grandi e una di 1999 fra le medie ecc.).

Sapersi destreggiare tra questi limiti arbitrari è un tipico carattere che distingue le persone preparate scientificamente dalle altre. Molti adulti semplicemente «non ce la fanno» a capire simili situazioni anche se ce la mettono tutta perché non hanno avuto l'educazione necessaria.

Esempio: «La tabella dà 55 kg come peso normale per la mia statura. Io peso 55 kg e mezzo: allora sono obesa!» Quante volte si sentono ragionamenti simili da cui spesso derivano assurde discussioni senza fine!

La scuola dell'obbligo dovrebbe aiutare a sapersi destreggiare in tutti questi casi di limiti arbitrari, di trasformazione di un sistema continuo in sistema discontinuo. Il valore formativo dell'educazione scientifica può consistere anche in questo.

Racconto della nostra esperienza

In molte discussioni precedenti era emersa l'idea del proprio corpo come fonte di calore. Anche l'argomento «temperatura corporea» aveva fatto la sua comparsa mentre si lavorava su isolanti e conduttori. Lo spunto era stata una ricerca sui tipi di tessuto con cui ci si veste nelle varie stagioni e sulle loro proprietà. Non si è indagato in questa fase sulle cause della nostra elevata temperatura interna. Invece si è aperto un ampio dibattito sulla variabilità della nostra temperatura corporea, molto sentito dai ragazzi perché l'argomento della variabilità era stato affrontato all'inizio dell'anno scolastico.

Naturalmente l'argomento «variabilità in natura» non è connesso in modo particolare al tema della temperatura corporea: esso ne è stato un sottoprodotto occasionale. Accenniamo ugualmente a questa diversione perché lo studio della temperatura del corpo può essere uno dei modi migliori per parlare di variabilità. In tal modo vengono alla luce problemi e complessità perfettamente alla portata dei ragazzi che con un altro approccio rimarrebbero nascosti.

I ragazzi avevano la consegna di misurarsi la temperatura a intervalli regolari e di registrare i dati (Elaborati 18 e 19). Essi hanno eseguito le misure una volta al giorno per vari giorni, durante tutta la giornata a intervalli di due ore, la mattina al risveglio e successivamente appena alzati. A questo punto è stata perfettamente naturale e spontanea la mossa successiva: quella di paragonare i dati.

Qui dobbiamo aprire una parentesi per mostrare quale immensa influenza può avere l'insegnante nell'orientare gli interessi della classe in una determinata direzione (anche in una situazione di relativa libertà quale era la nostra) senza che i ragazzi se ne accorgano. Se l'insegnante avesse detto: «Per ora non paragoniamo i vostri dati. Prendiamo come esempio i dati raccolti da uno qualunque di voi e riflettiamo su questi», il discorso si sarebbe spontaneamente incanalato verso i meccanismi della generazione di calore, la termoregolazione ecc. Forse ci sarebbero state delle resistenze iniziali, ma una volta imboccata questa strada il risultato sarebbe stato inevitabile. Altrettanto inevitabile,

una volta lasciati liberi i ragazzi di confrontare i loro dati, è stato lo sbocco nell'argomento «variabilità».

Raccogliendo i dati e confrontandoli fra loro, i ragazzi hanno facilmente rilevato le seguenti caratteristiche: a) se si confrontano misure fatte alla stessa ora, per esempio la mattina appena alzati, si vede che la temperatura varia un po' da una persona all'altra; b) nella stessa persona la temperatura non rimane costante in tutte le ore del giorno; c) in ambedue i casi le oscillazioni sono contenute entro i limiti di un grado; diventano quindi significativi i decimi di grado.

I ragazzi si sono rapidamente resi conto che l'andamento delle temperature durante la giornata non è proprio uguale per tutti, ma che nonostante le diversità individuali ci sono certe costanti (Elaborato 20). I limiti superiore e inferiore di temperatura sono all'incirca gli stessi per tutti con lo scarto di pochi decimi di grado. La temperatura tende sempre a salire un po' appena alzati e a raggiungere il valore massimo verso sera.

Ciò che ha scatenato di più l'interesse della classe è stata la ricerca di particolari aumenti di temperatura e delle loro possibili cause. È stato per esempio molto ricercato un possibile aumento della temperatura dopo i pasti. I ragazzi hanno accuratamente registrato insieme alle loro temperature nell'arco della giornata i vari pasti. «Ore 13: pranzo sostanzioso»; «Non ho cenato perché avevo mangiato troppo a pranzo» e così via, ma nonostante l'accanimento in questa ricerca non è risultato chiaramente un aumento di temperatura dopo ogni pasto. Erano invece molto grossi, al di fuori di ogni dubbio, gli aumenti di temperatura dopo uno sforzo fisico intenso. Molti ragazzi li avevano rilevati dopo la partita di calcio serale (e qui nasceva il problema: quando devo misurare la temperatura? Subito dopo la partita o si può anche aspettare un quarto d'ora?). Casi più spettacolari erano quelli di Giovanna che aveva fatto la Stramilano (una marcia non competitiva di 22 km) e di Marina che faceva le gare di nuoto e si allenava regolarmente in piscina. Marina aveva fatto una registrazione particolarmente dettagliata delle sue temperature prima e dopo ogni allenamento (Elaborato 21). Dopo l'allenamento la sua temperatura poteva salire oltre i 38° C, ma nel giro di un'ora o

poco più ritornava ai valori normali. Non erano solo gli sforzi fisici a causare aumenti di temperatura anormali, ma anche la tensione psichica. A Chiara la temperatura saliva prima del torneo di scacchi.

A questo punto esplose il problema della febbre. Riporto brevemente la discussione in proposito: essa è un concentrato di discussioni realmente avvenute in classe, ma liberamente rielaborate. In questo modo, raccogliendo in poco spazio tanti brani di discorsi sparsi e confusi si riesce a dare in breve al lettore un'idea più chiara di quanto è avvenuto rispetto a quella che si farebbe leggendo una registrazione fedele. «Se a Marina la temperatura le andava su sino a $38,4^{\circ}\text{C}$ come possiamo dire che non è febbre? $38,4^{\circ}\text{C}$ non dovrebbe essere febbre?». «Se uno non ha fatto niente di speciale durante tutta la giornata, si sente stanco, non sta tanto bene e poi ha $37,2^{\circ}\text{C}$ vuol dire che ha la febbre».

«Se uno ha 37°C e non si sente stanco vuol dire che non ha la febbre». «Se uno ha fatto uno sforzo o qualche altra cosa di speciale e poi la temperatura gli va a 38° , ma dopo 1-2 ore è tornata giù, allora vuol dire che non era febbre». Interviene l'insegnante: «Ma chi ha deciso che sul termometro la febbre deve cominciare proprio a 37°C ? Perché non a $36,9^{\circ}\text{C}$ o a $37,1^{\circ}\text{C}$ o a $37,3^{\circ}\text{C}$?». «Loro hanno provato che la temperatura massima era 37° ». «Ma chi è che l'ha provato?». «Hanno visto esaminando molte, moltissime persone che la grandissima maggioranza aveva la temperatura più alta a 37°C ». Insegnante: «Non solo l'hanno visto, l'avete visto anche voi!».

Osservazione: succede spesso che i ragazzi non riescano a stabilire un collegamento tra un fatto imparato sui libri e un analogo fatto di cui hanno avuto evidenza diretta e sperimentale.

Il lavoro si è poi allargato verso gli animali. Due ragazzi sono stati incaricati di chiedere a un veterinario le temperature tipiche di alcuni animali domestici. Il veterinario li ha accontentati e ha inoltre spiegato che gli animali più piccoli hanno temperature più alte perché hanno un metabolismo più intenso. E i ragazzi hanno scritto nei loro quaderni: «Noi però non sappiamo che cosa significa la parola metabolismo».

Questa ignoranza dichiarata sul metabolismo merita una digressione. Una delle cose più difficili quando si affronta a scuola un argomento è di darsi una direzione. Su quali aspetti fermarsi? Quali ignorare?

Le alternative estreme sono di espandersi caoticamente in tutte le direzioni oppure di seguire un filone logico e coerente dimenticando del tutto altri aspetti importanti e soffocando delle legittime curiosità. Bisognerà necessariamente cercare un compromesso, ma non è garantito che esso dia buoni risultati. Esso potrebbe anche funzionare peggio della soluzione «linea unica e coerente» (ma la valutazione del risultato finale è sempre difficile perché i ragazzi che hanno avuto un insegnamento scientifico su poche linee coerenti tendono a dare migliore impressione).

Nel nostro caso il problema del metabolismo (o meglio della generazione di calore da parte del nostro corpo) è stato posto sul tappeto, ma, come vedremo, è rimasto in gran parte insoluto. Certamente la nostra soluzione (fermarsi a lungo sulle temperature e accennare appena ai meccanismi che generano il calore corporeo) non è l'unica possibile e forse neanche la migliore: essa è stata il risultato di situazioni contingenti che potrebbero non ripetersi in un'altra classe anche partendo da un'impostazione simile alla nostra.

L'argomento «temperature degli animali» è stato ripreso l'anno successivo. I ragazzi hanno utilizzato dei dati ricavati da un libro per costruire un grafico (si veda pag. 111) che rappresenta la temperatura interna di quattro specie animali (pipistrello, ratto, uomo, passero). Attraverso il rapporto «differenza tra i valori estremi della temperatura interna/differenza tra i valori estremi della temperatura esterna» hanno potuto rendersi conto che la specie che termoregola meglio è l'uomo, mentre quella che termoregola peggio è il pipistrello. Infatti nel grafico la linea relativa all'uomo è quasi orizzontale mentre quella relativa al pipistrello sale ripida (Elaborato 22). Naturalmente per arrivare a questa formalizzazione ci è voluto l'aiuto dell'insegnante, ma essa è risultata perfettamente alla portata dei ragazzi. Si può notare che essa apre la porta al concetto di derivata (basterebbe non considerare tutto l'intervallo di temperatura...).

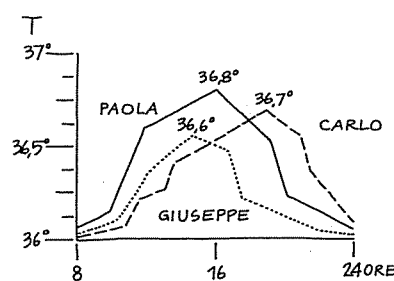
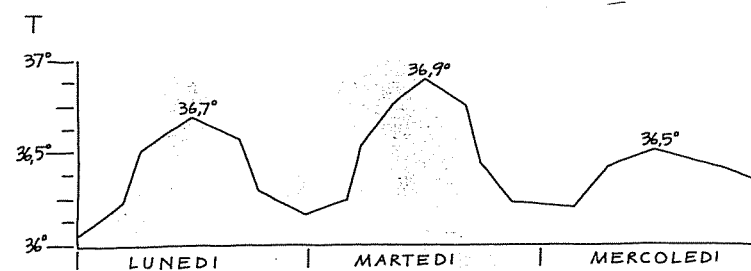
Considerazioni conclusive alla parte «temperatura corporea». La pignoleria e il coinvolgimento personale dei ragazzi (specialmente quando si tratta di argomenti riguardanti il proprio corpo) sono tipici della loro età (Elaborato 23). Dopo la pubertà l'orizzonte intellettuale si allarga, ma si allarga a spese della «miopia mentale» incapace di cogliere i più minuti particolari; spesso la fredda ragione prende il posto del coinvolgimento emozionale.

La prima regola di ogni tipo di didattica è di sfruttare al meglio le caratteristiche particolari dell'età alla quale ci si rivolge. Un argomento come la temperatura del corpo che coinvolge emozionalmente e implica osservazioni minuziose si presta quindi benissimo sino ai 13 anni mentre probabilmente lascerebbe freddi i ragazzi in un liceo, a meno che l'argomento non venga trattato in tutt'altro modo.

Abbiamo accennato che l'argomento «temperatura» così come era stato trattato tendeva facilmente a scivolare nell'argomento «variabilità». Affrontato in questo modo quest'ultimo diventa abbastanza complicato perché abbiamo due ordini di variabilità che si sovrappongono. Dobbiamo infatti considerare la variabilità delle temperature da un individuo all'altro (supponendo di misurarle a un tempo fisso in tutte le persone) e inoltre la variabilità della temperatura nella stessa persona da un'ora all'altra. La situazione è dunque più complicata rispetto alla misura di lunghezze di

foglie, pesi di neonati, che sono valori «statici» per i quali non c'è da preoccuparsi di variazioni nel tempo. Un altro elemento di variabilità è costituito dal fatto che il grafico delle temperature nelle varie ore della giornata non ha esattamente lo stesso andamento da un individuo all'altro: c'è chi ha un netto massimo di temperatura al pomeriggio e chi no. Inoltre bisogna distinguere piccole variazioni individuali, le cui cause ci sfuggono, da grosse variazioni che possono essere ricondotte a cause precise. X è sempre un po' più caldo di Y «perché è fatto così», ma se stasera X aveva $37,8^{\circ}\text{C}$ è perché aveva fatto la gara di corsa. $38,6^{\circ}\text{C}$ è febbre per tutti, ma per sapere se $37,2^{\circ}\text{C}$ è febbre per Z bisogna conoscere il massimo che Z abitualmente raggiunge nel corso della giornata. Questa «filosofia della febbre» è stata dibattuta in classe per un tempo molto più lungo di quanto può apparire da questo succinto resoconto. Osserviamo incidentalmente che il problema «Quando si può parlare di febbre e quando no?» non è per nulla banale e non ha un interesse solo sanitario: affrontarlo con un certo impegno potrebbe essere un ottimo esercizio intellettuale anche per una media superiore.

I ragazzi, già allenati da un precedente studio della variabilità «statica» sono riusciti a sbrogliarsi bene anche in questo caso più complicato anche se non tutte le variabili sono state rese esplicite nella forma semplice in cui le abbiamo riportate.



Sopra: la temperatura corporea varia nel corso della giornata. Le variazioni non sono esattamente identiche da un giorno all'altro.

Sotto: le variazioni giornaliere della temperatura sono un po' diverse da un individuo all'altro. Ci sono differenze nel valore della temperatura massima e nell'ora in cui viene raggiunta.

Proposta 18

La generazione di calore nell'organismo

Dopo aver riflettuto sulla temperatura corporea sembra logico proseguire con la genesi del calore nel nostro corpo. Teoricamente non sembra che ci siano grossi problemi: si può spiegare ai ragazzi che il calore viene dagli alimenti che vengono utilizzati come combustibile. Si può proseguire spiegando che questo combustibile viene utilizzato non solo per generare calore, ma numerose altre forme di energia di cui il calore è solo un caso particolare. È evidente che così si va a finire in un altro grosso argomento fisico: l'energia e le sue varie forme.

Ma ci sono anche altre complicazioni. Se si accetta che gli alimenti vengono usati come combustibile dall'organismo, il quale ha bisogno di essere rifornito di tanto in tanto come un'automobile, bisogna accettare che bruciano. Ma il bruciare di solito è associato a fiamme e alte temperature. L'idea che qualche cosa bruci nell'organismo non è la più semplice da digerire. Bisogna allora spiegare che il bruciare con fiamma e alte temperature è solo un caso particolarmente appariscente di una reazione di ossidazione. Ma a questo punto cadiamo nella chimica... e così apriamo un altro vasto argomento da affrontare.

Una scappatoia sarebbe quella di affrontare la generazione di calore dal punto di vista esclusivamente fenomenologico facendo vedere che essa è generalizzata e coinvolge anche organismi dai quali non ci si aspetterebbe nulla di simile, per esempio semi germinanti. Ma naturalmente dire: «La generazione di calore è un fatto diffuso tra gli esseri viventi» non risponde alla domanda: «Come fa a generarsi il calore?».

Purtroppo la nostra personale esperienza su come affrontare l'argomento è scarsa e i dubbi sono moltissimi. Abbiamo perciò preferito derogare in questo caso dalla nostra impostazione generale. Anziché suggerire delle attività con relativi commenti ci limitiamo a riportare una discussione in classe dalla quale speriamo di far emergere quante sono le difficoltà connesse con questo argomento. Non vogliamo scoraggiare, non vogliamo dire che esse sono insormontabili, ma vorremmo solo invitare gli insegnanti a non affrontarle a cuor leggero, senza accorgersene.

Racconto della nostra esperienza

Come si è detto prima, abbiamo speso poco tempo (per motivi contingenti) sui meccanismi con cui l'organismo genera calore. L'argomento è stato affrontato essenzialmente attraverso una discussione generale che riportiamo col solito sistema, leggermente modificata e condensata in modo da porre maggiormente in risalto i punti più salienti.

La discussione è partita dalla domanda «Perché è necessario mangiare?» che è stata rivolta ai ragazzi dopo il lungo lavoro sulla temperatura corporea. Riportiamo alla rinfusa le risposte: si può vedere la loro grande diversità.

- Mangiamo perché abbiamo bisogno di calorie.
- Perché abbiamo bisogno di energia.
- Perché abbiamo freddo e dobbiamo aumentare il calore del nostro corpo.

- Perché si ha fame.
- Per crescere (dice qualcuno senza grande enfasi e senza trovare grandi consensi). Quella che trova invece il massimo consenso è la risposta successiva.
- Si mangia per star bene. Se non mangi stai male e alla fine muori di fame. Si mangia per non morire.

A questo punto viene immediata un'osservazione. La risposta «Si mangia per star bene, per non morire», al massimo «perché si ha fame» esprime una filosofia rigidamente salutista. Nessuno ha accennato al fatto che mangiare può essere anche un piacere oltre che una necessità. Si sa che le persone anziane ci tengono al mangiare più dei ragazzi, ma è possibile che questi siano così indifferenti ai piaceri della gola proprio nel periodo della pubertà che coincide normalmente con le fami furibonde? È probabile che qualunque riferimento al piacere del mangiare sia stato evitato perché la risposta sarebbe sembrata poco scientifica e poco scolastica. (E badate che si trattava di una classe in cui i ragazzi erano abituati a esprimere liberamente le loro opinioni e in cui c'era una notevole confidenza con l'insegnante). Questo piccolo fatto getta un certo sospetto su molti lavori di psicologia o didattica basati interamente sulle risposte di bambini o ragazzi a domande standard.

Altra osservazione: è possibile che i ragazzi abbiano evitato qualunque riferimento al piacere del mangiare perché la domanda verteva sulla necessità. Una necessità psicologica, più «soft» rispetto a una organica quale può essere il procurarsi un piacere non viene considerata. La questione meriterebbe un po' di studio.

Ci era sembrato strano che l'idea della necessità di mangiare per crescere fosse così poco popolare. Per verificare meglio la situazione siamo tornati sull'argomento chiedendo: «Non vi siete mai sentiti dire da piccoli: devi mangiare se vuoi diventar grande?» Tutti, proprio tutti si erano sentiti dire da piccoli qualche cosa di simile, ma evidentemente avevano rimosso questo ricordo dalla loro coscienza. Nuovamente è possibile che questa espressione fosse stata considerata troppo poco scolastica oppure che trascinati dal problema della temperatura corporea i ragazzi abbiano perso di

vista la crescita tenendo d'occhio solo la generazione di calore.

Partendo da questo spunto abbiamo cercato di far capire ai ragazzi l'importanza dell'alimentazione per la fabbricazione di nuovi materiali dell'organismo. Le conclusioni alle quali siamo arrivati, un po' attraverso spiegazioni dei docenti, un po' attraverso discussioni, possono essere sintetizzate, dalle seguenti frasi riportate in un quaderno:

«Nella vita di una persona secondo noi ci sono due fasi ben distinte.

1. Dalla nascita fino all'età di 20 anni circa l'alimentazione serve ad accrescere e far funzionare in modo corretto il nostro corpo.
2. Da 20 anni in poi l'alimentazione serve per il buon funzionamento del corpo e per sostituire le cellule* che degenerano».

A un certo punto viene fuori per caso la parola «metabolismo». Questa sì che è una parola scientifica e i ragazzi se ne impadroniscono subito. Ma le idee sono vaghe.

- Sono processi, fenomeni...
- C'entra col mangiare...
- Mio fratello che fa le superiori mi ha spiegato...
- Io ho trovato nel vocabolario: «Il complesso delle trasformazioni di natura chimica che avvengono negli esseri viventi attraverso il quale essi si conservano e si riproducono».
- Sono i processi chimici che fanno funzionare gli esseri viventi...
- Magari nell'uomo e negli animali il metabolismo è diverso...
- Nel vocabolario c'era anche la definizione di metabolismo basale: «Il dispendio minimo di energia...».

La discussione sull'importanza dell'alimentazione è durata ancora a lungo. Ne riporto ancora una parte per far vedere dove può andare una discussione incontrollata.

* Le cellule sono un'aggiunta dei ragazzi. Noi non avremmo insistito su di esse: ci saremmo accontentati di una sostituzione di «sostanze», «costituenti» o «materiali dell'organismo». Ma questi termini evidentemente vengono sentiti come troppo astratti. «Le cellule» sono una ricerca di concretezza.

- Mangiare serve per far funzionare una specie di ghiandola che fa crescere: a un certo punto la ghiandola si apre e... Nei nani questa ghiandola non funziona.
- Invece nei giganti funziona moltissimo. Io ho conosciuto uno che in quinta aveva 54 di piede...
- E io ho conosciuto una famiglia che erano alti tutti due metri e mezzo...
- Da genitori alti vengono figli alti... Papà e mamma di Stefano sono alti e infatti Stefano...
- I figli superano i genitori...
- Sì, perché un tempo l'alimentazione era diversa.
- I figli superano sempre i genitori. Magari a forza di nutrirsi meglio la gente arriverà a tre metri ma poi dovrà pur fermarsi...

Osservazioni

Il breve brano di discussione sul metabolismo che abbiamo riportato è istruttivo. Si ha la chiara sensazione che definizioni di questo tipo lascino il tempo ch'è trovano perché per i ragazzi esse mancano completamente di concretezza — e la situazione resterebbe invariata anche se si ampliasse la definizione del vocabolario e si facesse qualche esempio. Il concetto di «processi chimici» resterebbe comunque molto vago.

Molti insegnanti probabilmente non saranno d'accordo con questa impostazione. «Sì, d'accordo, approfondire le cose è meglio, ma non c'è tempo per tutto. Meglio un «cenno» che niente: almeno dopo sanno che queste cose esistono anche se non le hanno capite tanto bene e se le riucontrano...».

Capita spesso di sentire dei discorsi di questo genere. Vogliamo dare qui un esempio per dimostrare che «meglio che niente» può voler dire «niente». Peccato dunque per il tempo speso (anche se era poco).

È venuto fuori casualmente che i ragazzi si erano già occupati a lungo di alimentazione in educazione tecnica. Avevano inserito nei loro quaderni tabelle sulla composizione chimica degli alimenti: carboidrati, grassi, proteine... Avevano

studiato che esistono alimenti energetici e alimenti plastici ecc. Avrebbero quindi dovuto sapere benissimo che gli alimenti non servono solo come combustibili, ma anche come materiali da costruzione... Le loro risposte hanno provato che questo argomento era passato su di loro senza lasciar traccia, nonostante che esso debba aver occupato parecchio tempo. La loro assoluta mancanza di ricordi in proposito si è manifestata con la totale assenza di frasi del tipo: «Sì, mi ricordo vagamente che abbiamo fatto qualche cosa del genere in tecnica, ma non saprei dire con esattezza...».

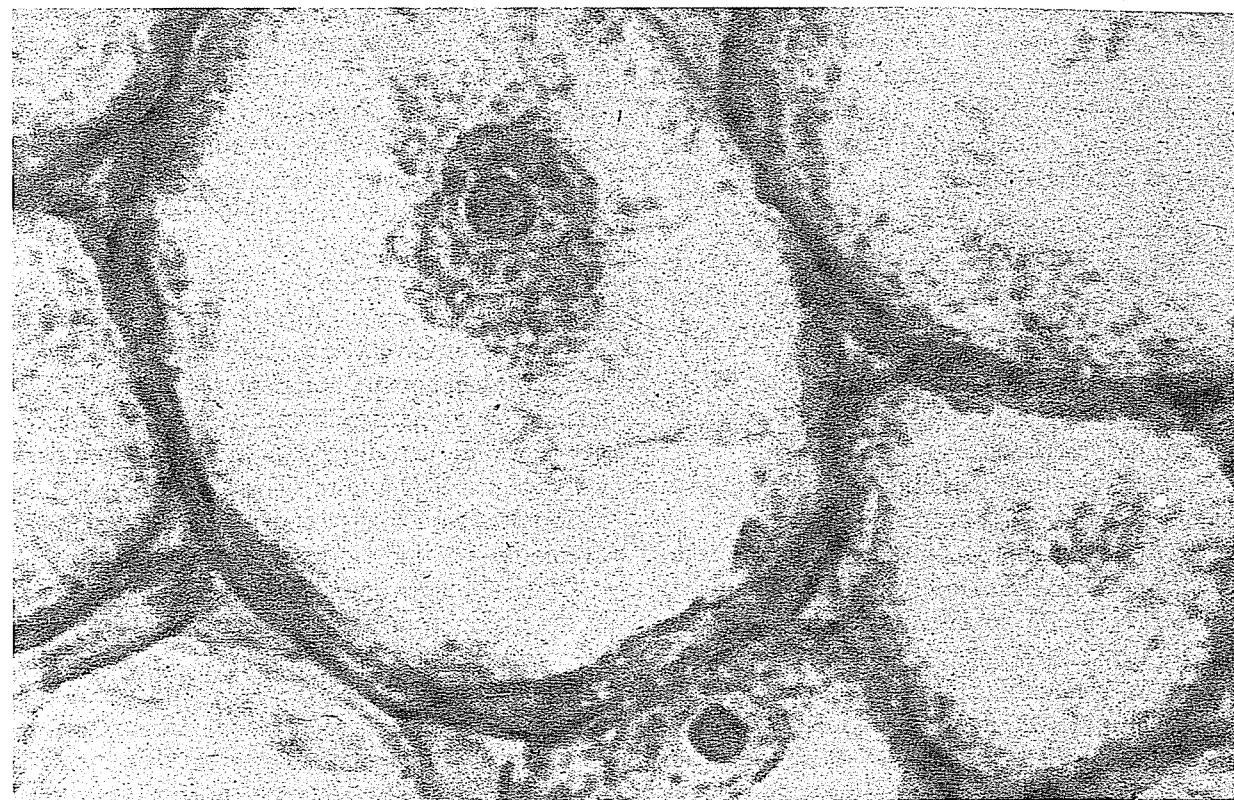
Una simile esperienza dimostra che la nostra proposta metodologica non è tanto assurda. Il fatto che insegnare in questo modo richiede tempo è vero, ma va riconsiderato alla luce di simili risultati. Quello che non viene interiorizzato, che non viene inquadrato in altre conoscenze è veramente buttato via. Il tempo speso per entrare lentamente in un argomento può essere poi riguadagnato perché quest'argomento potrà diventare un patrimonio acquisito che si potrà usare per altre conoscenze, magari di tipo del tutto diverso. Ma buttare dentro i ragazzi dati grezzi — magari importantissimi — con la speranza che si organizzino da soli in una conoscenza coerente è follia.

Questo vale specialmente per la scuola dell'obbligo. Andando avanti si rende sempre più necessaria l'introduzione di nozioni specifiche, professionali, che sono indispensabili qualunque sia il modo in cui vengono insegnate. Ma questa tendenza non deve essere mai totalizzante, nemmeno a livello di corso di specializzazione postuniversitario. Un sistema di riferimento coerente occorre sempre.

Perché la nozione di metabolismo non è stata interiorizzata? Perché i carboidrati e le proteine non hanno lasciato traccia? Il motivo può essere almeno in parte lo stesso: *la difficoltà della chimica*.

La chimica è più difficile della biologia ed è anche più difficile della fisica perché il suo centro di gravità è tutto spostato verso oggetti talmente piccoli (atomi e molecole) da cadere completamente al di fuori dell'esperienza comune. Si può obiettare che anche la biologia dovrebbe avere le stesse difficoltà visto che la base funzionale di tutti gli esseri viventi è data dalle cellule, invisibili ad occhio nudo. E anche i modelli fisici si appoggiano

Molti fenomeni biologici possono essere spiegati ricorrendo alle cellule. Ma nella scuola dell'obbligo bisognerebbe porsi il problema: sino a quale punto sono necessarie simili spiegazioni? Sino a quale punto vengono capite?



pesantemente su atomi o particelle ancora più piccole. Ma le cellule sono nettamente avvantaggiate rispetto ad atomi o molecole. Si riesce almeno a vederle al microscopio e, quel che è ancora più importante, esse hanno delle forme che possono essere descritte e confrontate con quelle di oggetti familiari. Atomi e molecole non si vedono al microscopio e i modelli non possono supplire bene a questa mancanza di concretezza, per l'appunto perché sono modelli e non rispecchiano esattamente la realtà. Quanto alla fisica essa ha il vantaggio (come d'altronde la biologia) di dare spiegazioni logicamente coerenti rimanendo nell'ambito del macroscopico. Scendere al livello microscopico può aprire un nuovo mondo, ma non è logicamente necessario. Un tipico esempio è dato proprio dal nostro caso. Il nostro itinerario didattico ha potuto fare a meno di un modello atomico di temperatura e calore senza perdere la coerenza logica.

Nella chimica invece fermarsi al macroscopico vuol dire fermarsi al puro livello fenomenologico senza poter mai azzardare una spiegazione. Sinché

si resta al livello di «scaldo, filtro il precipitato e ottengo dei bei cristalli gialli...» si può generalizzare e formalizzare assai poco. Una simile chimica ha un suo notevole fascino che confina con la magia, ma è scarsamente utile per spiegare altri fenomeni, per esempio quelli biologici. Quasi ogni spiegazione produttiva richiede atomi e molecole: pensate per esempio al nostro argomento. Per capire come si genera il calore del corpo bisogna ricorrere all'alimentazione e alla respirazione: alla scissione delle molecole giganti contenute negli alimenti in molecole più piccole e poi alla scissione di queste in molecole ancora più piccole con l'intervento dell'ossigeno...

Si potrebbe obiettare: «Puoi parlare dell'ossigeno e non dell'atomo di ossigeno». Ma parlare di *sostanze* anziché di *particelle*, cioè di oggetti indefiniti che non hanno una propria *forma* può essere ancora peggio.

Ecco dunque il dilemma in cui si dibatte la chimica. Da un lato oggetti ben definiti, ma invisibili (atomi e molecole), dall'altro masse indistinte

di forma e grandezza imprecisate (le sostanze chimiche). Il termine «trasformazione» può essere applicato sia al livello di molecola che a quello di sostanza, ma come vanno le cose col termine «scissione»? Si può dire che una molecola si scinde in due, ma non si può dirlo di una sostanza chimica.

Ci troviamo dunque in un bel dilemma che possiamo così riassumere:

- a) i concetti chimici sono necessari;
- b) cercare di sbrigarli in breve tempo per dare qualche nozione introduttiva non lascia traccia;
- c) anche se si è disposti a sacrificare del tempo per introdurli non è chiaro il metodo da seguire.

È chiaro che in questo campo c'è ancora molto lavoro didattico da fare.

Il piccolo esempio di discussione riportato in questa sezione dimostra con quanta facilità la situazione possa sfuggire a ogni controllo se l'argomento appassiona e non interviene l'insegnante ad arginarla. Non ci fermiamo qui sul problema dell'intervento dell'insegnante perché se ne è parlato altrove. Vorremmo piuttosto far notare l'enorme grado di arbitrarietà, di non riproducibilità di una simile situazione. Basta che un ragazzo faccia un intervento non scontato, d'effetto, per mettere subito là discussione su una determinata strada. Nel nostro caso è bastato che uno uscisse con la pittoresca notizia che l'alimentazione serve per stimolare la ghiandola della crescita e subito la discussione si è orientata verso i giganti, i nani, il paragone delle stature tra genitori e figli. Quest'ultimo argomento ha eccitato molto gli animi e ha fatto praticamente dimenticare quello iniziale sul-

la funzione dell'alimentazione. Probabilmente se la discussione fosse stata fatta un giorno prima o un giorno dopo, con un ragazzo in più o un ragazzo in meno, il suo andamento sarebbe stato diverso. Figuriamoci con un'altra insegnante, in un'altra classe, in un'altra scuola!

Questa situazione di imprevedibilità costringe a guardare con sospetto alcuni progetti troppo strutturati i quali pretendono di prevedere le reazioni dei ragazzi per orientare il lavoro dell'insegnante. In essi si trovano spesso frasi del tipo «Sarà ovvio per i ragazzi che...»; «Alcuni risponderanno...»; «Alcuni potranno anche suggerire...». E se i ragazzi non trovano ovvio, non rispondono, non suggeriscono, se suggeriscono cose completamente diverse? Simili metodi secondo noi tendono a dare agli insegnanti una falsa sicurezza. Molto meglio affrontare i ragazzi disarmati e pronti a qualunque evenienza.

Come abbiamo ripetuto tante volte è chiaro che la discussione non può essere lasciata completamente libera. Ma talvolta, se i tempi non stringono, si possono cogliere delle stupende occasioni per iniziare nuovi argomenti, non necessariamente contemplati nella programmazione. Per esempio nella discussione di cui stiamo parlando a un certo punto un ragazzo dice: «I figli superano sempre i genitori. Magari a forza di nutrirsi meglio la gente arriverà a tre metri, ma poi dovrà pur fermarsi...». Vedete cosa c'è in questa frase? Un chiarissimo riconoscimento del grosso problema dell'interazione fra eredità e ambiente. Meglio di così non si potrebbe introdurre l'argomento! Potrebbe essere un'ottima occasione per infilarsi in questa strada.

Conclusioni

Alla fine di questa prima parte di studio dei fenomeni termici sorge immediata l'esigenza di fare il punto della situazione.

Dobbiamo confrontarci con alcuni contenuti disciplinari, quelli proposti nella mappa e vedere a quale punto ci troviamo del cammino per acquisirli. Risulta evidente che il cammino non è concluso, ma si è percorsa una lunga fase preparatoria, in cui i concetti non vengono presentati con le loro definizioni rigide e formalizzate, ma in modo flessibile, utilizzando il potere evocativo del linguaggio e l'analogia a partire da fenomenologie sia di tipo fisico che biologico.

Non si trova in questo volume la trattazione sistematica delle fasi successive della proposta in classe che pure sono tracciate nella mappa e che più riguardano la fisica.

Noi però nelle classi abbiamo provato l'intero percorso e abbiamo notato che anche questa seconda parte più tradizionale assume un significato diverso rispetto alla situazione «cominciare subito per la strada tradizionale». I ragazzi procedono nella costruzione dei concetti fino ad arrivare alla definizione delle grandezze (calore, temperatura, calore specifico, massa, volume ecc.), ai procedi-

menti di misura, alle relazioni quantitative fra le grandezze. Inoltre i ragazzi riescono a reinterpretare le fenomenologie da cui erano partiti alla luce delle conoscenze che via via vanno acquisendo. Questo dà a noi e a loro la misura di quanto siamo riusciti a costruire come «interpretazione scientifica della realtà».

Il discorso sulla valutazione non è stato mai affrontato in modo sistematico nel libro.

Proponiamo qui alcune riflessioni da cui risulterà evidente il significato molto ampio che noi diamo alla parola «valutazione» e come di fatto questa sia sempre presente nel nostro lavoro in classe.

Sollecitiamo spesso i ragazzi a esprimersi (a parole, attraverso scritti, gesti, disegni, manipolazioni) per avere il maggior numero di informazioni da utilizzare nella programmazione del nostro lavoro. Siamo consapevoli del fatto che è un problema molto complesso sapere che cosa un ragazzo «pensa davvero» (sarà poi possibile?) rispetto alla realtà proposta.

Scegliamo allora di raccogliere elementi che sappiamo legati al tipo di sollecitazione (la scelta di diversi canali espressivi ci aiuta però a superare in

parte questa limitazione) e che utilizziamo come indicazioni di massima del «livello» a cui si trovano i ragazzi in quel momento.

Nella nostra esperienza ci ha aiutato, nella lettura e interpretazione dei dati raccolti, il riferimento all'ampia letteratura esistente su «sviluppo cognitivo, rappresentazioni mentali e schemi concettuali» di cui si fa cenno in bibliografia.

Nell'evolvere del lavoro di ogni giorno in classe si possono cogliere nelle attività dei ragazzi spunti per una valutazione significativa. Tentiamone una schematizzazione.

- a) Le conversazioni collettive della classe. Suggeriamo, se è possibile, di registrare almeno qualche volta il dibattito e di riascoltarlo, o almeno di prendere nota degli interventi più significativi.
- b) Le relazioni orali e scritte di gruppo e/o individuali.
- c) L'interrogazione, concepita soprattutto come richiesta ai singoli di spiegazioni, sintesi, commenti, collegamenti interni e con altri temi già trattati, riguardo alle relazioni di gruppo, alle discussioni di classe, al lavoro pratico svolto, e così via.
- d) Prove di valutazione più rigide e strutturate (test, questionari ecc.); queste prove di tipo «oggettivo» nella tradizione di scuola sono fra le più diffuse. A nostro avviso bisogna però rendersi conto che sono utili per verificare nozioni e abilità ben definite e circoscritte, ma non permettono in generale di cogliere le capacità complessive e la preparazione globale (della quale si potrà avere un quadro più attendibile solo con l'insieme dei momenti di verifica).

Alcune richieste troppo schematiche di risposta: vero o falso; sì, no; crocette ecc., possono non risultare significative.

Poiché a volte la bassa padronanza del linguaggio rischia di falsare i dati (sia di comprensione che di comunicazione) invitiamo a far seguire a queste prove, ad esempio, delle interviste individuali ai ragazzi in cui si chiede di spiegare e giustificare le loro risposte.

- e) RegISTRAZIONI sistematiche e progressive delle attività svolte e dei concetti affrontati, dei problemi aperti ecc. Questo può essere fatto sia alla fine di una singola lezione sia alla fine di un gruppo di lezioni attraverso una riflessione collettiva sulle «cose» fatte che porti praticamente all'«indice» della Guida.

Questo serve tra l'altro per far prendere coscienza al ragazzo del suo grado di approfondimento e di acquisizione dei concetti, del metodo di lavoro ecc.

- f) Prove di «laboratorio». Non dimentichiamo l'aspetto sperimentale delle scienze!

Da tutto questo insieme di momenti di verifica si può dunque ricostruire l'evolvere della classe perché ogni momento di verifica ha senso se riferito al passato e proiettato sul seguito. Ma è possibile seguire oltre alla storia collettiva della classe quella individuale dei suoi componenti. Per vedere l'evolvere del singolo ragazzo in questo panorama di classe, abbiamo costruito la sua «storia» attraverso i suoi lavori scritti, il suo atteggiamento nel gruppo sia nel piccolo gruppo che nel gruppo-classe e in generale i risultati nelle diverse prove suddette.

Vedere se e come si modifica nel tempo la situazione di partenza del singolo ragazzo o dell'intera classe ci dà indicazioni, dunque, sull'efficacia del nostro intervento nel produrre il processo di costruzione di conoscenza.

Elaborati

Elaborato 1

Come riusciamo a valutare il caldo e il freddo

- Se guardiamo fuori dalla finestra e c'è la brina, questo significa che la temperatura non è calda, cioè fredda.
- Con l'udito possiamo percepire il rumore della caffettiera che emana quando il caffè è pronto. Questo significa che bisognerà lasciarlo raffreddare prima di berlo.
- Entrando in cucina posso capire se un bicchiere contenente acqua è molto freddo se lo vedo appannato.
- Quando la mamma versa il caffè caldo in un bicchiere, il bicchiere si appanna.
- Quando c'è una pentola sul fuoco con dentro l'acqua con la vista possiamo percepire se è calda o fredda dalla quantità di bollicine.
- Con l'odorato possiamo percepire se una cosa è calda o fredda se c'è puzza di bruciato sì o no.
- Col tatto; per esempio toccando qualcosa sempre che una persona non sappia già a che temperatura è.
- Col gusto; per esempio assaggiando una cioccolata calda, prima lentamente, per poi decidere se bisogna raffreddarla o se è una giusta temperatura.

Elaborato 2

Frasi tratte dal lavoro dei ragazzi di II: «Descrivo la mia mattinata con le sensazioni di caldo e di freddo provate»

- Mi sono alzato e avevo freddo.
- Il latte è troppo caldo, aggiungo del latte freddo per raffreddarlo.
- Per strada vedo il fumo uscire dalle bocche delle persone, gli alberi spogli, alcune pozzanghere ghiacciate, la brina nei giardini.
- Avevo freddo alle mani e allora le ho messe in tasca.
- Avevo freddo alle mani e allora le ho alitato sopra.
- Dal freddo non sentivo più le orecchie e il naso.
- Sono salita sulla [linea] 93 e ho provato una sensazione di caldo perché era affollata.
- Vedevo le mie amiche che si strofinavano le mani per il freddo.
- Il cappotto era caldo.
- La maniglia della porta di casa era fredda.
- Le gambe del banco sono gelate perché sono di metallo e sono più fredde.
- La sedia è calda perché ci siamo seduti sopra e appoggiati, le gambe sono fredde.
- Ho toccato il banco e sento che è freddo. Le gambe del banco sono gelate, ma se tocco prima le gambe del banco e poi il banco, sento le gambe del banco ghiacciate e il banco caldo.
- Avevo freddo anche perché pensavo che dovevo ricominciare la scuola.

Elaborato 3

Osservazioni, riflessioni, sensazioni

Apro la finestra

Mi avvicino alla finestra, appoggio la mano sulla maniglia di ottone: è fredda. Appoggio l'altra mano sul vetro: è ancora più freddo. Tolgo la mano dal vetro e vedo che è rimasto il segno di dove prima c'era la mano che pian piano scompare. Giro la maniglia verso destra e tiro verso di me, un'improvvisa ventata di freddo entra dalla finestra nella stanza. La richiudo in fretta perché avevo freddo. Accosto la finestra spingo verso fuori e giro la maniglia verso sinistra. La maniglia col calore della mano si è scaldata.

Tiro su le tapparelle

Apro lo sportello della finestra, afferro la cinghia ruvida, né calda, né fredda, e tiro verso il basso. Poi lascio la cinghia porto la mano più in alto e tiro verso il basso; così per 3 volte in tutto e quando la tapparella è alzata entra aria dallo sportello. Accosto lo sportello e lo chiudo con cura.

Apro la porta

Afferro la maniglia liscia di ottone piuttosto fredda e la giro verso il basso. La maniglia fa un semicerchio. Tiro verso di me e lascio con la mano la maniglia. La porta si è aperta; prendo la maniglia opposta la giro verso il basso e tiro nel senso opposto di prima, lascio la maniglia con la mano e la porta si è chiusa.

Elaborato 4

Gruppo A

Abbiamo a disposizione tre barattoli, 2 di vetro uno di plastica, acqua e ghiaccio.

Ermanno chiede se l'acqua è calda o fredda.

Stefano: «Il ghiaccio si sa che è freddo».

Ermanno dice che magari il recipiente di vetro ci fa sentire l'acqua più fredda di quello di plastica.

Abbiamo verificato che l'acqua è fredda.

Dipende forse dallo spessore dei recipienti; sembra più calda l'acqua contenuta nel recipiente di plastica, anche se l'acqua è stata presa dallo stesso secchio.

Decidiamo di provare a sentire un solo barattolo (vetro) e considerare due temperature della mano.

Abbiamo proceduto così.

1. Abbiamo unito il palmo delle due mani per verificare se avevano uguale temperatura.
2. Abbiamo messo una mano sul collo per scaldarla (e per portarla a temperatura diversa dall'altra mano che abbiamo sospeso nell'aria). L'abbiamo scaldata per circa 3 minuti.
3. Abbiamo riaccostato per verificare che erano ora a temperatura diversa.
4. Abbiamo toccato, col palmo delle mani, il barattolo di vetro e abbiamo verificato che il barattolo ci dava sensazioni diverse: due ragazzi sostengono che la mano tenuta sul collo, quindi più calda, dava la sensazione di più caldo, quattro ragazzi invece che la mano più calda ci fa sentire il barattolo più freddo.

Giorgio e Ermanno ripetono la prova scaldando una mano sul termosifone. Dopo 3 minuti ripetono la prova e concludono come gli altri 4.

Le mani possono servirci per sentire la temperatura però entro certi limiti, perché con esse possiamo fare dei confronti.

Si nota che i ragazzi hanno utilizzato solo i recipienti e l'acqua.

Pur nella essenzialità delle frasi iniziali, si può cogliere un progredire consequenziale tutto incentrato sulle sensazioni.

Ci sembra rilevante la scansione delle azioni e il procedere contemporaneamente verso la «taratura dello strumento mani» e la coscienza della relatività delle sensazioni. Significativa la conclusione che le mani possono servire a fare confronti e non a misurare la temperatura.

Conoscendo i componenti del gruppo, possiamo segnalare che questo livello di sistematicità e di chiarezza è riconducibile alla presenza nel gruppo di due ragazzi già dotati di buone capacità di astrazione e di particolare senso critico.

Elaborato 5

Gruppo B

Abbiamo davanti a noi dei contenitori di diversa capacità e di diverso materiale. Ci viene data dell'acqua e dei cubetti di ghiaccio e noi decidiamo di:

1. Vedere se il ghiaccio si scioglie prima in un contenitore pieno d'acqua o in uno senza. Osservazioni al punto 1.

Il ghiaccio man mano che si scioglie diventa più trasparente.

Abbiamo visto che il ghiaccio si sta sciogliendo prima nel recipiente contenente acqua. Toccando il contenitore all'esterno possiamo sentire che l'acqua e il contenitore si stanno raffreddando molto velocemente.

Abbiamo verificato che il ghiaccio si scioglie prima nell'acqua che all'aria dell'ambiente per definirlo meglio avremmo dovuto usare un termometro.

2. Decidiamo di far scaldare due recipienti pieni d'acqua sul calorifero uno per 10 minuti l'altro per 20 minuti. Mettiamo dei cubetti in questi due recipienti per vedere dove il ghiaccio si scioglie prima.

In ciascuno dei 2 recipienti abbiamo messo 300 millilitri.

3. Proviamo a vedere se un cubetto di ghiaccio si scioglie prima in mano o nell'acqua in un recipiente tiepido.

4. Proviamo a mettere in un recipiente pieno d'acqua un cubetto di ghiaccio e in un altro recipiente con meno acqua un altro cubetto di ghiaccio e proviamo a vedere dove si scioglie prima.

Osservazioni al punto 3.

Contrariamente alle nostre previsioni si scioglie prima il cubetto nell'acqua tiepida invece che nella mano.

5. Decidiamo di verificare se un cubetto di ghiaccio si scioglie prima in un recipiente di plastica o in uno di vetro. Secondo noi si scioglierà prima in quello di plastica.

6. Decidiamo di verificare se un cubetto di ghiaccio si scioglie prima in un recipiente immergendo le nostre mani e uno senza immergerle.

Osservazioni all'esperimento n. 4.

Il ghiaccio si scioglie prima nel recipiente con più acqua.

Osservazioni al punto 5: secondo la maggioranza il cubetto si scioglie prima nel recipiente di plastica.

Osservazioni 6: abbiamo verificato che il cubetto si scioglie prima nel recipiente in cui abbiamo immerso le mani.

Osservazioni 5: il cubetto si è sciolto prima nel recipiente di plastica.

Osservazioni 2: il cubetto si scioglie prima nel recipiente scaldato da 20 minuti.

7. Proviamo a mettere 2 recipienti uno di plastica l'altro di vetro pieni d'acqua sul calorifero. Vogliamo vedere dove il ghiaccio si scioglie prima in uno o nell'altro.

8. Facciamo riscaldare un recipiente senz'acqua e ci mettiamo dentro un cubetto e un altro recipiente con acqua con dentro un cubetto. Decidiamo di vedere quale si scioglie prima.

I ragazzi usano tutto il materiale a disposizione e puntano tutta la loro attenzione alla influenza «dell'ambiente» sullo scioglimento del ghiaccio (acqua in diverse quantità e a diverse temperature; aria; diverso materiale dei contenitori; il ruolo delle mani). Sottolineiamo che, a confronto del gruppo A, questo gruppo ha organizzato molte osservazioni. Tra questi ragazzi infatti il leader è dotato di notevole intuizione ed è un elemento molto attivo.

Elaborato 6

Gruppo C

Esperienze sulla fusione del ghiaccio

Abbiamo a disposizione per le esperienze due barattoli (di vetro) da marmellata, acqua e cubetti di ghiaccio.

Abbiamo misurato il tempo dello scioglimento di un cubetto nelle seguenti condizioni:

- confronto fra un cubetto di ghiaccio immerso nell'acqua e uno in un barattolo senza acqua.

L'acqua riempiva quasi totalmente il barattolo ed era fresca di rubinetto. Il cubetto nell'acqua ha impiegato 10 minuti a sciogliersi invece quello senza acqua ne ha impiegati 37.

Avevamo previsto che il cubetto senza acqua avrebbe impiegato più tempo a sciogliersi. Avevamo anche previsto che il tempo di scioglimento sarebbe stato di 10 minuti ma non ci aspettavamo una differenza così grande fra i due.

Proviamo a sciogliere un cubetto di ghiaccio nell'acqua che ha già sciolto il primo. Avevamo previsto che il tempo sarebbe stato uguale a quello del primo.

Il secondo cubetto ci ha messo 13 minuti.

L'agitazione avrà un effetto sul tempo di scioglimento?

Previsione: il tempo di scioglimento sarà più breve.

Abbiamo agitato l'acqua con una biro. Con l'agitazione il tempo di scioglimento è stato di 2 minuti. Non ci aspettavamo una differenza così grossa.

I ragazzi usano tutto il materiale e procedono in maniera sistematica in esperienze di fusione del ghiaccio. In confronto al gruppo B, questi fanno meno esperienze, ma procedono nella successione tenendo ogni volta conto del risultato precedente.

Elaborato 7

Gruppo D

Prendiamo 4 cubetti di ghiaccio e li mettiamo in un recipiente di plastica. Poi andiamo a sentire le sensazioni di caldo e freddo dentro e fuori dal recipiente.

Previsione: prevediamo che fuori sentiamo meno freddo che dentro. Prevediamo che mettendo i cubetti la plastica si appanna dentro.

Prevediamo la prima cosa perché all'interno siamo più vicini al ghiaccio e possiamo toccare il ghiaccio direttamente.

Prevediamo la seconda cosa perché siamo in una situazione simile a quando entriamo in macchina e si appannano i vetri.

- Non si appanna il recipiente.
- Per il fondo del recipiente la nostra prima previsione è esatta, per le pareti solo per la parte inferiore.

N.B. Nel frattempo il ghiaccio si sta sciogliendo.

Se ci soffio dentro si appanna. Togliendo i cubetti di ghiaccio abbiamo toccato ancora le pareti e la differenza tra caldo e freddo dura poco.

Abbiamo messo il ghiaccio in un contenitore di metallo.

Se continuiamo a toccare con le mani cambia qualcosa perché le mani sono calde.

Nel caso del metallo c'è meno differenza tra dentro e fuori (per la sensazione di freddo).

Previsione: prevediamo che il ghiaccio si scioglie di più nella plastica che nel metallo nello stesso periodo di tempo. Franco invece dice che è eguale perché non c'è una ragione precisa di differenza. Gli altri prevedono diversamente perché nel metallo che è più freddo il freddo si mantiene di più che nella plastica che è calda.

Si nota che i ragazzi hanno utilizzato solo i recipienti e i cubetti di ghiaccio.

Scelgono di provare le loro sensazioni tattili e visive (più freddo, meno freddo, l'appannamento) e verificano che il toccare con le mani, che serve ad analizzare le loro sensazioni, di fatto perturba l'evolvere della situazione.

Le cose che hanno scelto di guardare riguardano aspetti vicini alla realtà comune, alla quale, anzi, fanno esplicito riferimento.

Elaborato 8

26 novembre 1985

Ci vengono consegnati dei contenitori di vetro, di plastica e di metallo, dell'acqua e dei cubetti di ghiaccio.

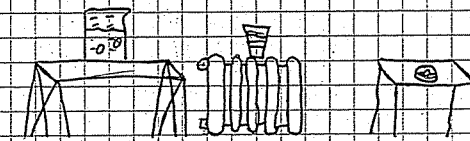
Ci dividiamo a gruppi e organizziamo qualche esperimento.

Esperimento

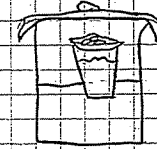
Oggi in classe o gruppi ci siamo partiti di acqua, ghiaccio, un recipiente di vetro graduato, un bicchiere di plastica e un piccolo recipiente d'alluminio dell'espositone.

Abbiamo riempito il recipiente graduato di vetro di acqua fredda, cioè ml 400, nel bicchiere di plastica abbiamo messo acqua tiepida e siccome di calda non ne avevamo, l'abbiamo messa a scaldare sul calorifero, mentre l'altra con del ghiaccio la raffreddiamo.

Abbiamo poi messo del ghiaccio in quello d'alluminio senza acqua.



Abbiamo messo dentro al recipiente graduato il bicchiere di plastica e galleggiante abbiamo poi appoggiato sul bordo del bicchiere la scatola d'alluminio.



Abbiamo coperto con un foglietto di carta e della plastica trasparente e sopra un cubetto di ghiaccio e quando lo muovevamo si muoveva anche il bicchiere con i ghiacci sopra.

Elaborato 9

Il gruppo ha messo dell'acqua dentro un recipiente con sopra un foglio di carta. Questo l'abbiamo messo sul calorifero, attendiamo il risultato finale: noi prevediamo che prima che l'acqua si riscaldi ci vorrà molto tempo, secondo Alessandro bisognerebbe diminuire il livello dell'acqua.

Adesso hanno messo dell'acqua in un bicchiere fuori dalla finestra e pretendono che si ghiacci, secondo me è impossibile che si ghiacci prima di un paio d'ore.

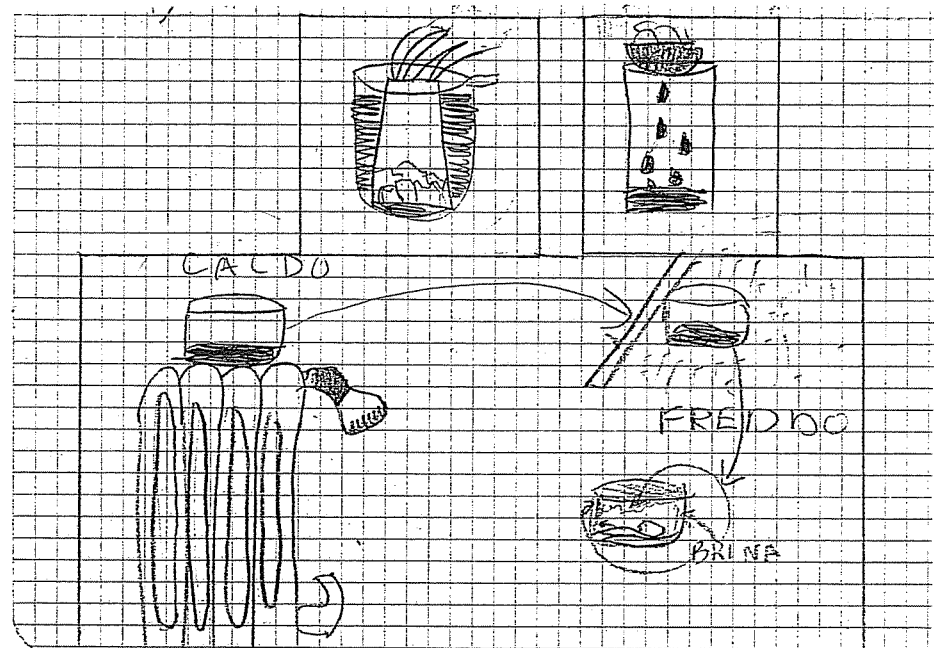
È finito il tempo e gli esperimenti sono stati piantati lì, la carta non si è bagnata però abbiamo visto che l'acqua bollendo si è pulita e ha lasciato dello sporco sul fondo del barattolo.

Il secondo esperimento non ha avuto tempo di ghiacciare.

Elaborato 10

Oggi abbiamo fatto degli esperimenti con l'acqua e il ghiaccio. Siamo arrivati alle seguenti conclusioni.

1. Se si mette un bicchiere in una bacinella d'acqua fredda e si preme forma una ventosa e il ghiaccio resta in fondo.
2. Se si mette una bacinella piena d'acqua chiusa sul calorifero in modo che diventi tiepida e poi metterla subito in un luogo freddo e si forma della brina.



Elaborato 11

Osservo un cubetto di ghiaccio

Alle 14,49 ho tirato fuori un cubetto di ghiaccio e lo ho posato su un piattino da caffè tirato fuori dalla credenza: sopra c'era una specie di brina.

Il ghiaccio è in parte trasparente e in parte bianco, all'interno sembra che ci siano delle nervature e poi ci sono anche delle bollicine d'aria dentro.

Alle 14,54 in parte si era già sciolto ed era molto viscido. Man mano che si scioglie diventa più piccolo e gli angoli si arrotondano sempre più.

Man mano che si scioglie diventa più ruvido.

Alle 15,00 nel piattino c'era una pozza d'acqua.

Ho tenuto un altro cubetto di ghiaccio in mano e quando lo ho tolto la mano era rossa e calda; quel cubetto l'ho buttato via e ho continuato a osservare l'altro.

Ho notato che il cubetto stava diventando sempre più rotondeggiante; ho notato anche che esso si è abbassato di più da una parte piuttosto che dall'altra, sopra si forma come una valle e sotto come se diventasse sempre più rotondo.

Alle 15,06 il cubetto non era ancora del tutto sciolto però la pozza nel piattino si era ingrandita di un bel po'.

Ho visto che man mano che si scioglie diventa sempre più trasparente.

Alle ore 15,10 era diventato una lastrina sottilissima. Alle 15,11 sembrava un'unghia, era della stessa grandezza; e alle 15,12 si era sciolto e il piattino era quasi pieno.

Elaborato 12

Alle elementari ho fatto un esperimento: abbiamo preso un barattolo, pieno di acqua calda, e invece del tappo abbiamo messo un po' di carta stagnola con su del ghiaccio. L'acqua evaporava e si attaccava alla carta stagnola ma siccome era freddo incominciava a cadere l'acqua, cioè a piovere. Questo esperimento l'ho chiamato «nuvole in scatola».

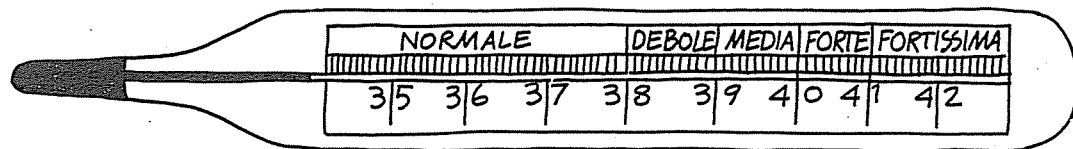
Elaborato 13

In quinta elementare io con la mia classe ho fatto un esperimento. Abbiamo preso una pentola, l'abbiamo messa su un fornellino e l'abbiamo fatta riscaldare e dopo abbiamo portato la pentola fuori in giardino e col cambiare della temperatura dentro la pentola vuota senza coperchio si sono formate delle piccole goccioline di vapore.

Elaborato 14

Dal quaderno di Alessandra

«Il termometro è fatto così: ha una punta di colore argentato dove c'è il mercurio. Ci sono dei numeri che stabiliscono quando uno ha la febbre. I numeri cominciano da 35 e arrivano a 42, da 37 in su uno ha la febbre. Ci può essere la febbre normale (37) oppure la febbre che ti indebolisce (38), media (38), forte (40), fortissima (41), (42). Sopra ai numeri ci sono scritte quando è normale, debole, media, forte, fortissima. La febbre si vede, perché c'è una linea blu che segna quando uno ha la febbre».

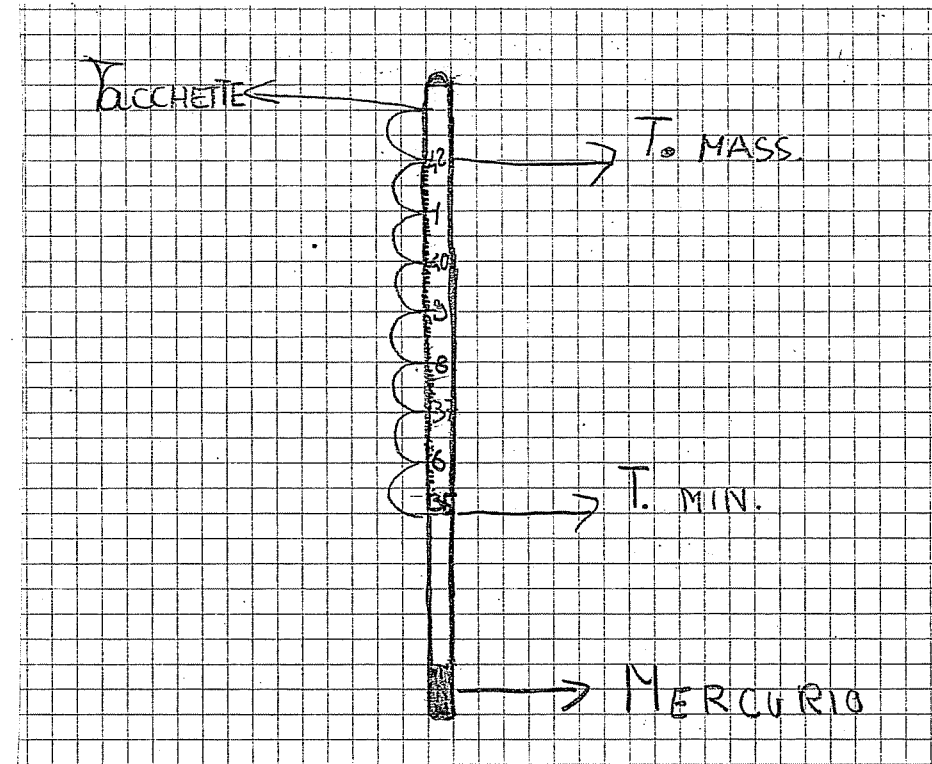


Elaborato 15

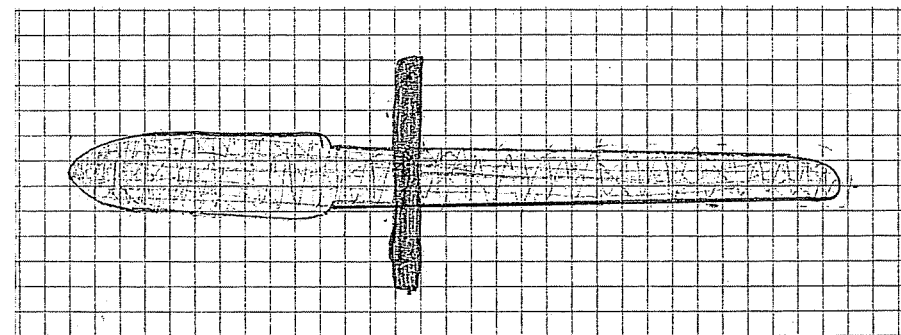
Dal quaderno di Filippo

IL MIO TERMOMETRO

«Il mio termometro è di forma cilindrica con alla fine un tondino argentato che si chiama mercurio. Il grado minore è +35 e il grado superiore è +42. Questi numeri sono contrassegnati da tacchette, in modo che ogni tacchetta segna un grado. È fatto di vetro».



«Quando lo si mette via ha una fodera gialla di plastica a forma di spada».



Elaborato 16

In data 22-2-84 ci siamo posti questo problema:
come riscaldare l'acqua in un barattolo?

Un gruppo ha formulato le seguenti ipotesi:

L'acqua si riscalda avvolgendola con una coperta di lana pesante.

Il gruppo che ha formulato questa ipotesi ha strutturato in data 22-2-84 un'esperienza non conclusiva.

Decidiamo quindi di strutturare un'esperienza per verificare come l'ipotesi posta all'inizio.

- abbiamo preso due Beker e vi abbiamo versato un ugual volume di acqua.

- Abbiamo misurato la temperatura dell'acqua nei due Beker che è di 20°C.

- Abbiamo misurato la temperatura dell'ambiente vicino ai due Beker che è di 20°C.

- Marina ha avvolto uno dei due Beker nel giaccone foderato di pelo, che sostituisce la coperta di lana.

Marina si è impegnata a farlo e far sì che non ci fossero spifferi d'aria.

- Decidiamo di ripetere la misura delle tre temperature, due o tre ore circa.

IO PREVEDO CHE...

L'acqua non si riscalderà, mantenendo la stessa temperatura se quella dell'ambiente non aumenterà.

Se invece l'ambiente si riscalderà anche l'acqua subirà la stessa influenza.

Quindi il giaccone non è un'isolante proprio niente.

Alle ore 10,45 abbiamo rilevato le seguenti temperature:

L'acqua del Beker non avvolto ha la temperatura di 20,5°C;

la temperatura dell'ambiente è di 20°C; la temperatura

dell'acqua del Beker avvolto nel giaccone è di 21°C.

	temperatura ambiente	temperatura finale
	20°C	20°C
Beker avvolto	20°C	21°C
Beker non avvolto	20°C	20,5°C

Elaborato 17

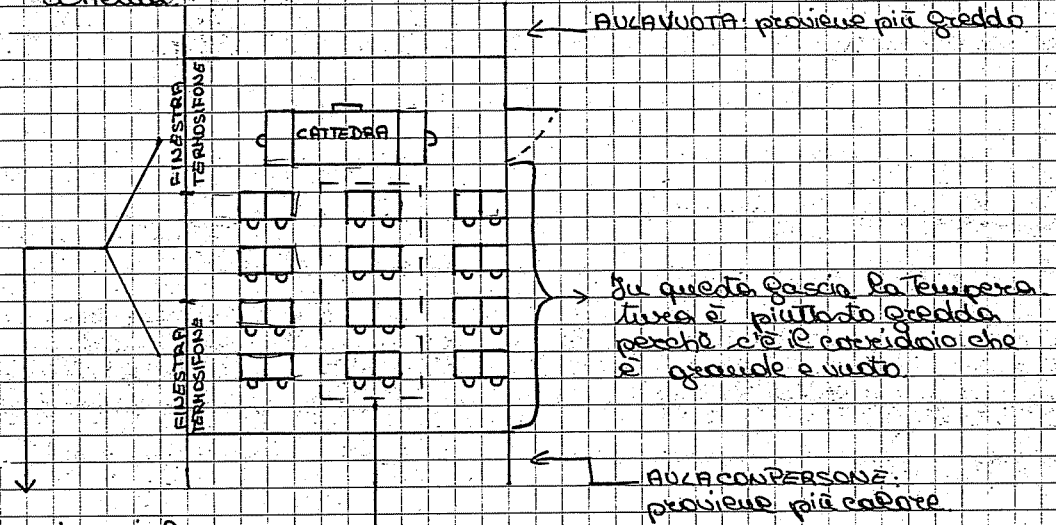
18-2-1986

Lavoro individuale.

Faccio una previsione sulle diverse temperature dell'aula (Siamo tutti d'accordo su questo: nell'aula la temperatura non è uguale in tutti i punti).

La temperatura normale secondo me è circa 20°C in quest'aula con variazioni nelle diverse parti.

Schema:



Fare in cui le finestre potrebbero dare aria, fredda, ma in ogni caso sarebbe regolata dai termostati se accesi.

FASCIA CENTRALE: l'aria è temperata.

Se noi ragazzi siamo in classe c'è più caldo perché respiriamo ed emettiamo aria calda. Nella classe accanto, ad esempio, non c'è nessuno, è vuota, e quindi anche con i termostati accesi sarà una

- Temperatura più fredda

Osserviamo che è determinante la presenza di:

- Termosigari accesi;
- Lampade accese;
- La presenza di ragazzi nell'aula
- La presenza di ragazzi in una delle aule accanto
- Le tubature del riscaldamento in alcune parti del muro (nel nostro caso nel pavimento)

4.3.86

Confermiamo le ipotesi individuali:

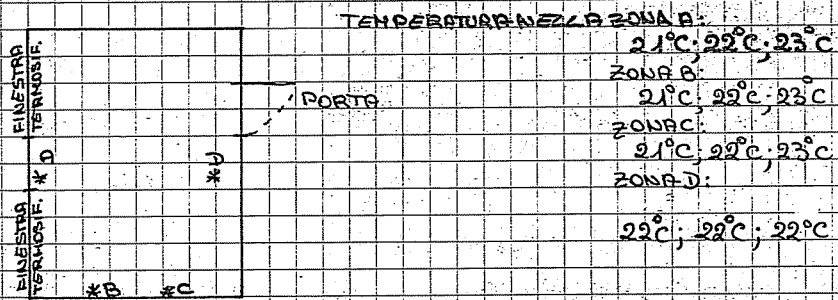
La temperatura è più bassa a mano a mano che ci alziamo dal pavimento verso il soffitto. Altri

hanno formulato l'ipotesi contraria.

Per verificare le ipotesi abbiamo misurato la temperatura a tre livelli diversi:

- 1) Terra, livello del pavimento;
- 2) Giro del bordo verde della parete (con metro quadrato)
- 3) A circa due metri e mezzo dal pavimento.

Abbiamo misurato le temperature in 4 punti diversi dell'aula



Possiamo osservare che nelle zone A-B-C la temperatura aumenta quando passiamo dal livello del pavimento agli altri livelli.

Nella zona D la temperatura si mantiene costante, però vediamo che al secondo e al terzo livello ci possono essere degli spigori.

Abbiamo poi formulato la seguente ipotesi:

La presenza di termosigari, lampade accese e di persone fa aumentare la temperatura, per verificare l'ipotesi relativa alla presenza di persone:

A- Abbiamo osservato che alle 8.15 l'aula è più fredda che nelle ore successive.

B- Quando torniamo da ed. Fisica l'aula si è riscaldata.

C- Un gruppo ha misurato le temperature nell'aula vuota accanto alla nostra: la temperatura era più bassa.

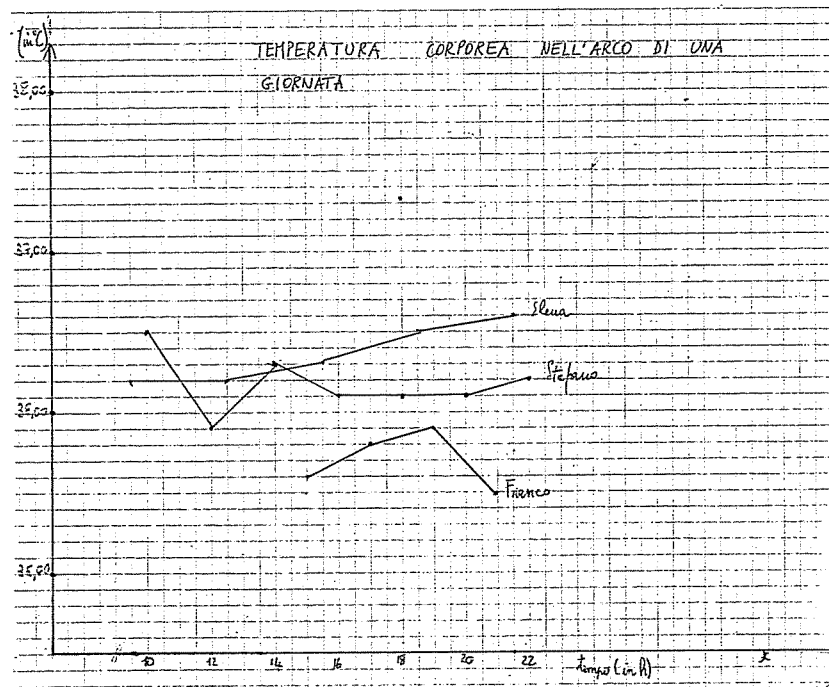
Elaborato 18

Rilevazioni eseguite durante le vacanze di Pasqua di Marina

LA MIA TEMPERATURA CORPOREA

data	T alle ore 10.00 (in °C)	T alle ore 20.00 (in °C)
19-4-'84	35,9	36,3
20-4-'84	36,0	36,8
21-4-'84	36,0	36,4
22-4-'84	36,1	36,4
23-4-'84	36,0	36,4
24-4-'84	36,0	36,4
25-4-'84	35,9	36,8

Elaborato 19



Elaborato 20

TABELLA DELLE TEMPERATURE CORPOREE PRIMA DI ALZARSI E DOPO CIRCA MEZZ'ORA (compito per le vacanze di Pasqua)

nome del ragazzo	ora della prima rilevazione	ora della seconda rilevazione	T ₁ (in °C)	T ₂ (in °C)	T ₂ - T ₁ (in °C)
Stefano S.	7.15	7.45	36,2	35,9	-0,3
Mauro	7.00	7.30	36,0	35,5	-0,5
Alessandro	8.15	9.00	36,5	36,6	+0,1
Stefano C. *	6.15	6.45	35,9	36,2	+0,3
Stefano	10.00	10.35	36,1	36,3	+0,2
Andrea A.	6.45	7.15	36,5	36,4	-0,1
Marina	11.05	11.30	36,0	35,9	-0,1
	7.15	7.40	35,9	36,2	+0,3
Monica	7.15	7.50	35,8	36,2	+0,4
	7.15	7.50	36,1	36,4	+0,3
Paola C.	—	—	—	—	—
Franco C. *	9.15	9.45	36,6	36,8	+0,2
Chiara	7.15	7.45	35,9	35,9	0
Michela	9.00	9.40	36,5	36,8	+0,3
Stefania	9.00	9.30	36,2	36,5	+0,3
Marisa	9.05	9.30	36,1	36,2	+0,1
Andrea B. *	—	—	—	—	—
Andrea C.	6.45	7.20	35,9	36,0	+0,1
Federico	7.15	7.45	35,8	36,3	+0,5
Ermanno	7.30	8.10	36,4	36,7	+0,3
Paolo V. *	7.40	8.15	36,6	36,8	+0,2
Stefano *	7.35	7.50	36,6	36,7	+0,1
Stefano *	9.00	9.30	36,5	36,5	0
Franco B.	7.30	7.50	36,3	35,9	-0,4
Stefano P.	7.45	8.20	36,0	35,5	-0,5
Stefano	7.15	7.45	36,0	36,2	+0,2

N.B. I ragazzi segnati con l'asterisco si sono alzati prima della misura di T₁

Osservazioni sulla tabella (concordate dalla classe).

Notiamo che in 16 casi la temperatura rilevata da alzati è più alta della temperatura rilevata da sdraiati; in 2 casi la temperatura è uguale; in 6 casi la temperatura rilevata da alzati diminuisce. Nella prima colonna le temperature hanno valori compresi fra 35,8°C e 36,6°C. Nella seconda colonna le temperature hanno valori compresi fra 35,5°C e 36,8°C.

Elaborato 21

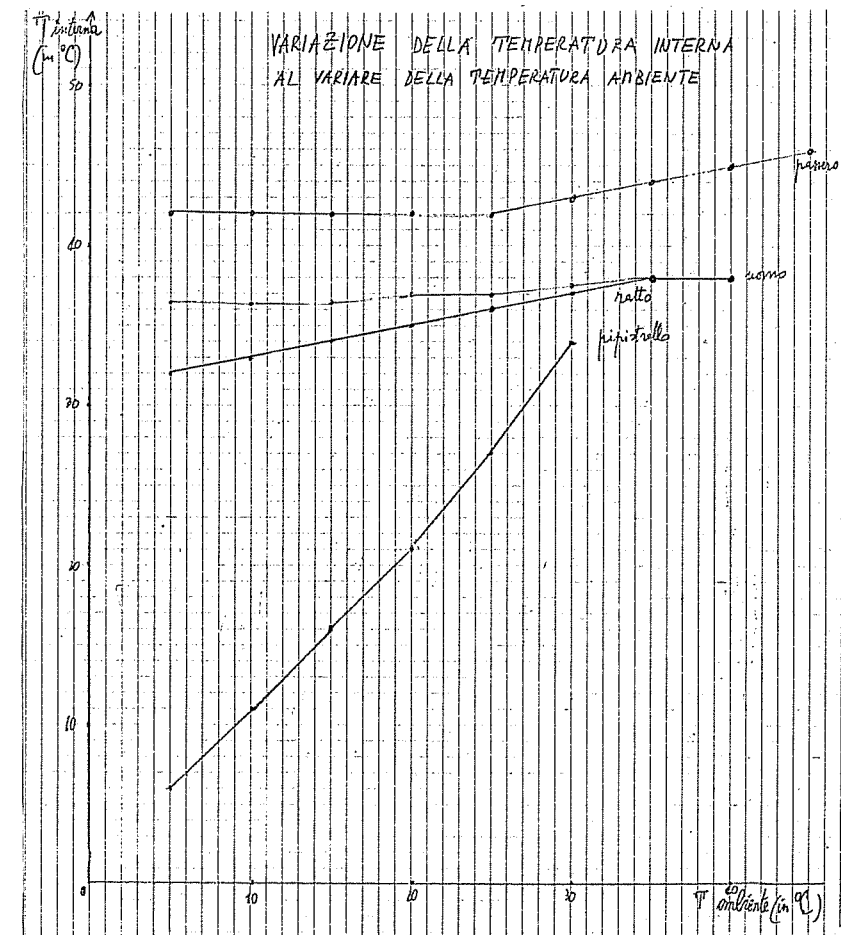
data	T ₁ alle ore 17.00 (in °C)	T ₂ alle ore 17.30 (in °C)	T ₃ alle ore 19.30 (in °C)	T ₄ alle ore 20.30 (in °C)		
16-6-'84	—	—	—	—		
17-6-'84	36,1	39,1 (m 100)	36,4	36,2		
18-6-'84	36,1	36,1	38,3 (m 400)	36,2		
19-6-'84	36,1	36,2	38,5 (m 500)	36,1		
20-6-'84	36,0	36,1	37,9 (m 3500)	36,2		
21-6-'84	36,2	36,2	39,7 (m 200)	36,2		
22-6-'84	36,1	36,2	38,3 (m 5000)	36,2		
23-6-'84	—	—	—	—		
24-6-'84	—	—	—	—		
data	T ₁ alle ore 15.00 (in °C)	T ₂ alle ore 16.00 (in °C)	T ₃ alle ore 18.00 (in °C)	T ₄ alle ore 20.00 (in °C)		
25-6-'84	36,0	36,1	38,2 (m 5500)	36,2		
26-6-'84	36,0	36,1	38,3 (m 5000)	36,1		
27-6-'84	36,2	36,2	38,3 (m 5800)	36,3		
28-6-'84	36,1	36,1	38,2 (m 5000)	36,1		
29-6-'84	36,1	36,2	38,1 (m 5800)	36,2		
30-6-'84	36,2	36,1	38,7 (m 6000)	36,4		
1-7-'84	—	—	—	—		
data	T ₁ alle ore 8.00 (in °C)	T ₂ alle ore 10.00 (in °C)	T ₃ alle ore 13.30 (in °C)	T ₄ alle ore 16.00 (in °C)	T ₅ alle ore 18.00 (in °C)	T ₆ alle ore 20.00 (in °C)
2-7-'84	36,0	38,0 (m 5000)	36,2	36,1	38,8 (m 8500)	36,0
3-7-'84	36,0	37,9 (m 4500)	36,2	36,2	38,9 (m 9000)	36,0
4-7-'84	35,9	38,1 (m 5000)	36,1	36,2	37,8 (m 5000)	36,1
5-7-'84	36,0	38,1 (m 5000)	36,3	36,0	38,9 (m 9600)	36,2
6-7-'84	36,0	38,3 (m 5500)	36,1	36,1	38,9 (m 9900)	36,0
7-7-'84	36,0	38,5 (m 5000)	36,1	36,0	38,8 (m 10000)	36,1
8-7-'84	—	—	—	—	—	—
9-7-'84	35,9	38,4 (m 5200)	36,0	36,0	38,8 (m 9900)	36,2
10-7-'84	35,9	38,3 (m 5500)	36,2	36,2	38,9 (m 10000)	36,1
11-7-'84	35,8	38,5 (m 5900)	36,0	36,0	37,9 (m 6900)	36,1
12-7-'84	35,8	38,6 (m 5500)	36,1	36,0	40,1 (m 14.100)	36,0
13-7-'84	36,0	38,6 (m 5800)	36,2	36,0	38,9 (m 9500)	36,2
14-7-'84	35,9	38,9 (m 6000)	36,0	36,0	39,4 (m 12.500)	36,0
15-7-'84	—	—	—	—	—	—
16-7-'84	35,9	38,3 (m 5000)	36,0	36,1	38,6 (m 8000)	36,0

Rilevazioni della temperatura corporea di Marina nel periodo di allenamento in preparazione a campionati regionali di nuoto. Fra parentesi sono date le lunghezze dei percorsi.

Elaborato 22

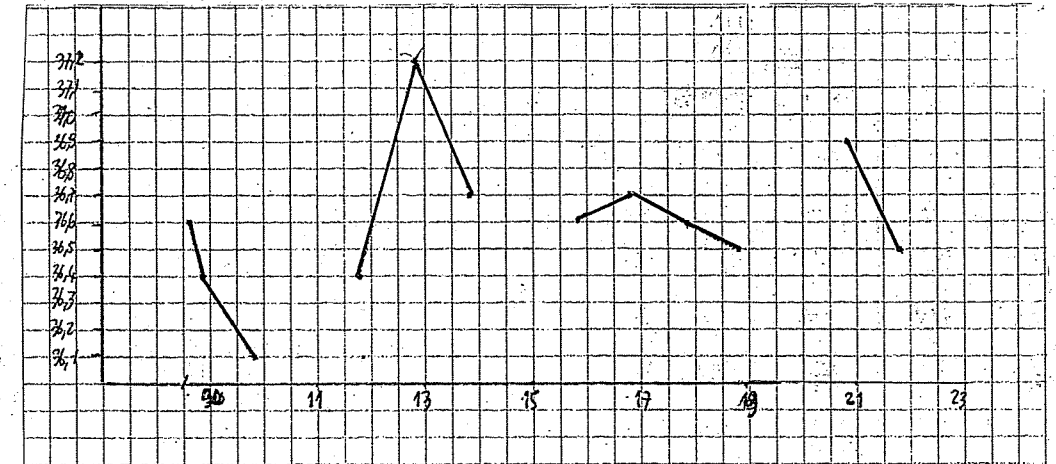
Temperatura interna di alcune specie animali in funzione della temperatura ambiente

T ambiente (in gradi centigradi)	T interna del corpo			
	pipistrello	ratto	uomo	passero
5	6	32	36,5	42
10	11	33	36,5	42
15	16	34	36,5	42
20	21	35	37	42
25	27	36	37	42
30	34	37	37,5	43
35	—	38	38	44
40	—	—	38	45
45	—	—	—	46

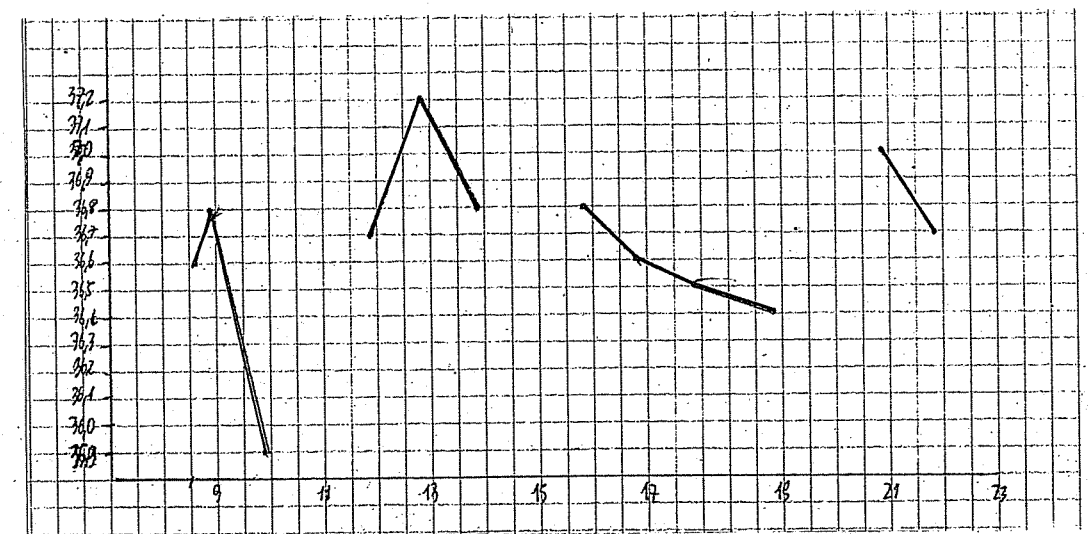


Elaborato 23

Temperatura corporea di Veronesi misurata sotto l'ascella destra in data 6/5/84



Temperatura corporea di Veronesi misurata sotto l'ascella sinistra in data 6/5/84



$$\Delta T(\text{pipistrello}) = 28^\circ\text{C per } 5^\circ\text{C} \leq T(\text{ambiente}) \leq 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta T(\text{ratto}) = 6^\circ\text{C per } 5^\circ\text{C} \leq T(\text{ambiente}) \leq 35^\circ\text{C}$$

$$\Delta T(\text{passero}) = 4^\circ\text{C per } 5^\circ\text{C} \leq T(\text{ambiente}) \leq 45^\circ\text{C}$$

$$\Delta T(\text{uomo}) = 1,5^\circ\text{C per } 5^\circ\text{C} \leq T(\text{ambiente}) \leq 40^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta T(\text{uomo})}{\Delta T(\text{ambiente})} = \frac{1,5}{35} = 0,04$$

$$\frac{\Delta T(\text{passero})}{\Delta T(\text{ambiente})} = \frac{4}{40} = 0,1$$

$$\frac{\Delta T(\text{ratto})}{\Delta T(\text{ambiente})} = \frac{6}{30} = 0,2$$

$$\frac{\Delta T(\text{pipistrello})}{\Delta T(\text{ambiente})} = \frac{28}{25} = 1,12$$

$$\frac{\Delta T(\text{ratto})}{\Delta T(\text{ambiente})} = \frac{6}{30} = 0,2$$

$$\frac{\Delta T(\text{pipistrello})}{\Delta T(\text{ambiente})} = \frac{28}{25} = 1,12$$

Osservazioni sul grafico

- L'andatura del grafico dell'uomo e del passero sono abbastanza costanti, tendono ad alzarsi alla fine. Il pipistrello e il ratto variano molto, con l'alzarsi della temperatura ambiente aumenta la temperatura interna.
- Il pipistrello e il ratto sono eterotermi, il passero e l'uomo sono omeotermi anche se il passero dopo che la T ambiente è salita a 30-35 gradi comincia ad avere una T interna che si comporta da eterotermi.
- Il pipistrello, con l'aumentare della T ambiente di 5 gradi in 5 gradi, aumenta la sua T di 5-6 gradi. Il ratto 1 grado per volta.
- L'uomo e il passero pur essendo omeotermi sono influenzati dalla T ambiente (per lo scambio di calore e per le calorie accumulate con il cibo).

Elaborato 24

Ossidazione

Dall'elenco fatto nelle lezioni scorse ci siamo accorti che abbiamo confuso vari fenomeni. Ripensando ci siamo accorti che: *fondere e bruciare sono 2 fenomeni diversi.*

La fusione è un fenomeno reversibile. Per esempio:

Ghiaccio Acqua Ghiaccio.

La fusione è un fenomeno fisico.

Il bruciare è un fenomeno irreversibile.

Per bruciare sono necessari ossigeno e calore.

Il bruciare è un fenomeno chimico chiamato *ossidazione*.

Le prime ossidazioni a cui abbiamo pensato sono:

la benzina che brucia

la carta che brucia.

Queste sostanze bruciano producendo calore e una fiamma. Per iniziare questo processo di ossidazione bisogna portare queste sostanze ad una certa temperatura (caratteristica per ogni sostanza).

Il calore prodotto da una sostanza che brucia è diverso a seconda della sostanza.

Cambiamento di colore di una mela tagliata.

Cambiamento di colore della carta.

Abbiamo poi visto che alcuni alimenti che devono essere conservati per un certo periodo di tempo contengono degli anti-ossidanti.

In questi casi non è visibile la fiamma, c'è comunque produzione di calore.

Reazioni di ossidazione senza produzione di fiamme ma con produzione di calore avvengono nel nostro corpo.

Gli alimenti scissi dalla digestione nei loro composti di base si combinano con l'ossigeno.

Bibliografia

Riferimenti disciplinari: la fisica

Nessun libro di testo presenta la stessa impostazione seguita in questo libro. I riferimenti ad argomenti specifici e in particolare alla parte più formalizzata si possono trovare ad esempio su testi per la scuola media superiore. Tra i più recenti si consigliano:

P. CALDIROLA, G. CASATI, F. TEALDI, *Corso di fisica*, Ghisetti e Corvi.

G. TORALDO, CIANCHI, MANCINI, *Fisica*, La Nuova Italia.

SEXL, RABB, *Fisica*, Zanichelli.

Più specifici:

G. DABINI, *Introduzione alla termodinamica*, Sansoni.

A. PRAT BASTAI, *Calore, materia e moto*, Zanichelli.

Per quanto riguarda problemi più generali quale quello dell'equilibrio, riesaminato dal punto di vista cognitivo e didattico, si veda ad esempio:

M. ARCÀ, P. GUIDONI, *Guardare per sistemi, guardare per variabili*, Emme Edizioni 1987. Nello stesso volume si trovano molte riflessioni anche sui concetti di peso e volume.

Riferimenti disciplinari: la biologia

Notizie varie su termoregolazione e adattamenti a temperature molto alte o molto basse si possono trovare in testi di biologia generale di cui ecco tre esempi.

S. E. LURIA, S. J. GOULD, S. SINGER, *Una visione della vita. Introduzione alla biologia*, Zanichelli. Nello spazio di quattro pagine illustra gli adattamenti ad alte e basse temperature e la regolazione della temperatura negli omeotermi.

G. HARDIN, C. BAJEMA, *Biologia. Principi e implicazioni*, Zanichelli.

L'argomento è più sviluppato che nel testo precedente. Ci sono alcune pagine su omeo ed eterotermi e altre sulla regolazione della temperatura nell'uomo.

DAVID L. KIRK, *Biologia oggi*, Piccin.

L'argomento compare più volte nel libro. Alcune pagine sono dedicate alla regolazione della temperatura negli omeotermi. Dei tre testi di biologia citati questo è il migliore — almeno per la parte che riguarda gli scambi termici — per l'eccezionale chiarezza.

Notizie molto più particolareggiate sul nostro sistema di termoregolazione si possono trovare in testi universitari di fisiologia, per esempio:

G. RINDI, E. MANNI, *Fisiologia umana*, UTET.

Non è difficile trovare su riviste di divulgazione scientifica articoli che trattano di termoregolazione, adattamento ad alte o basse temperature ecc.

Esempio: H. C. HELLER, L. J. GRAWSHAW e H. T. HAMMEL, "Il termostato dei vertebrati", in *Le scienze*, ottobre 1978, oppure: M. A. BAKER, "Un sistema per la regolazione della temperatura nel cervello", in *Le scienze*, luglio 1979.

Educazione scientifica e processi cognitivi

M. ARCÀ, P. GUIDONI, P. MAZZOLI, *Insegnare scienza*, F. ANGELI ed M. ARCÀ, P. GUIDONI già citato più sopra.

P. MAZZOLI, M. ARCÀ e P. GUIDONI, *Forze e pesi*, Emme Edizioni 1987.

R. DRIVER, *The pupil as a scientist?* (Traduzione italiana in corso di stampa presso Zanichelli).

P. GUIDONI, *La cultura scientifica nella formazione dell'insegnante elementare*, in AA.VV., *Il valore della cultura scientifica nella formazione dell'insegnante elementare*, Atti del Convegno Coassi Montecatini, aprile 1982.

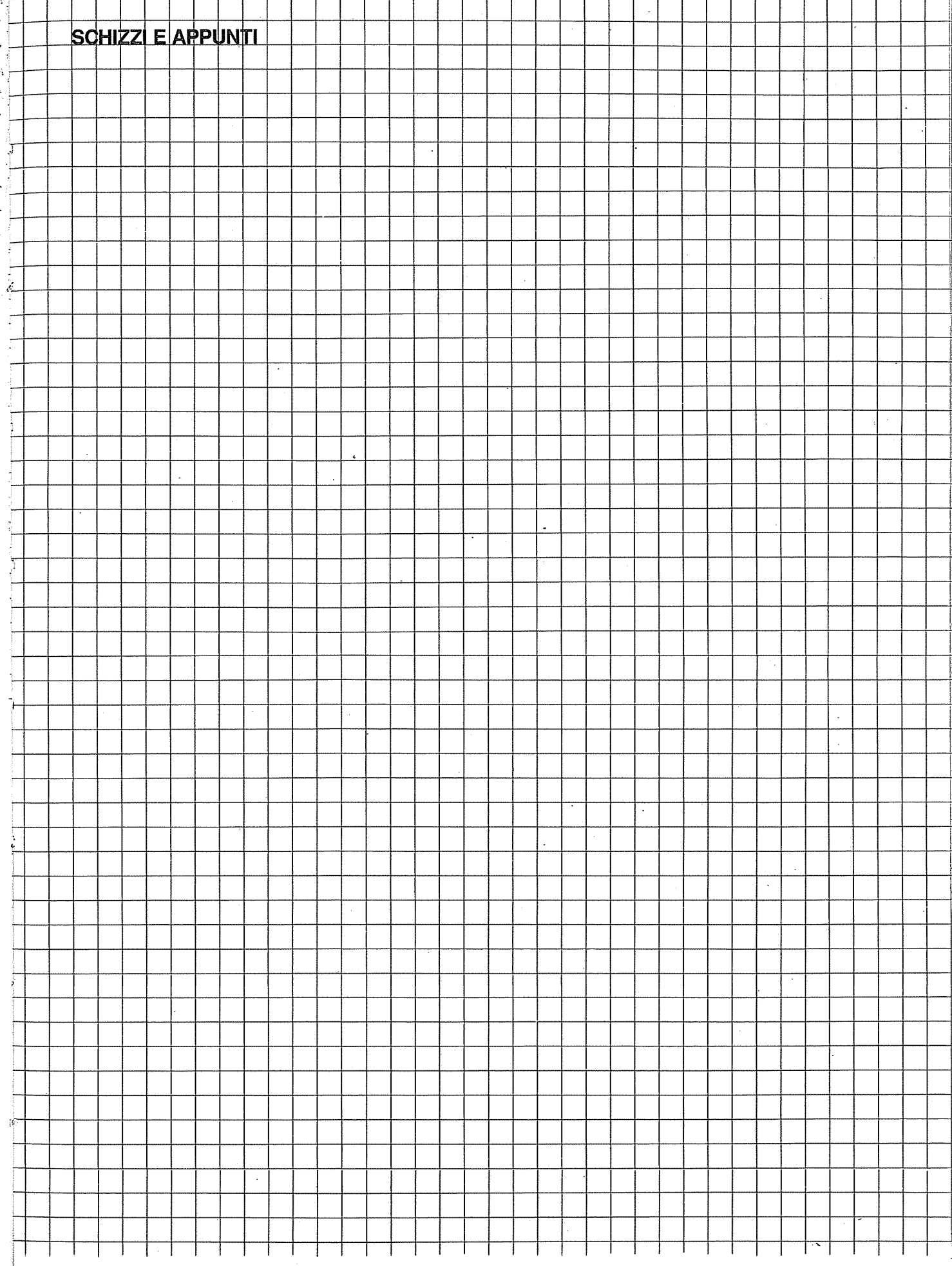
AA.VV., *L'educazione scientifica nella scuola di base*, Seminario bilaterale Italia-Usa ottobre 1983, I Quaderni di Villa Falconieri n. 6, Frascati 1985.

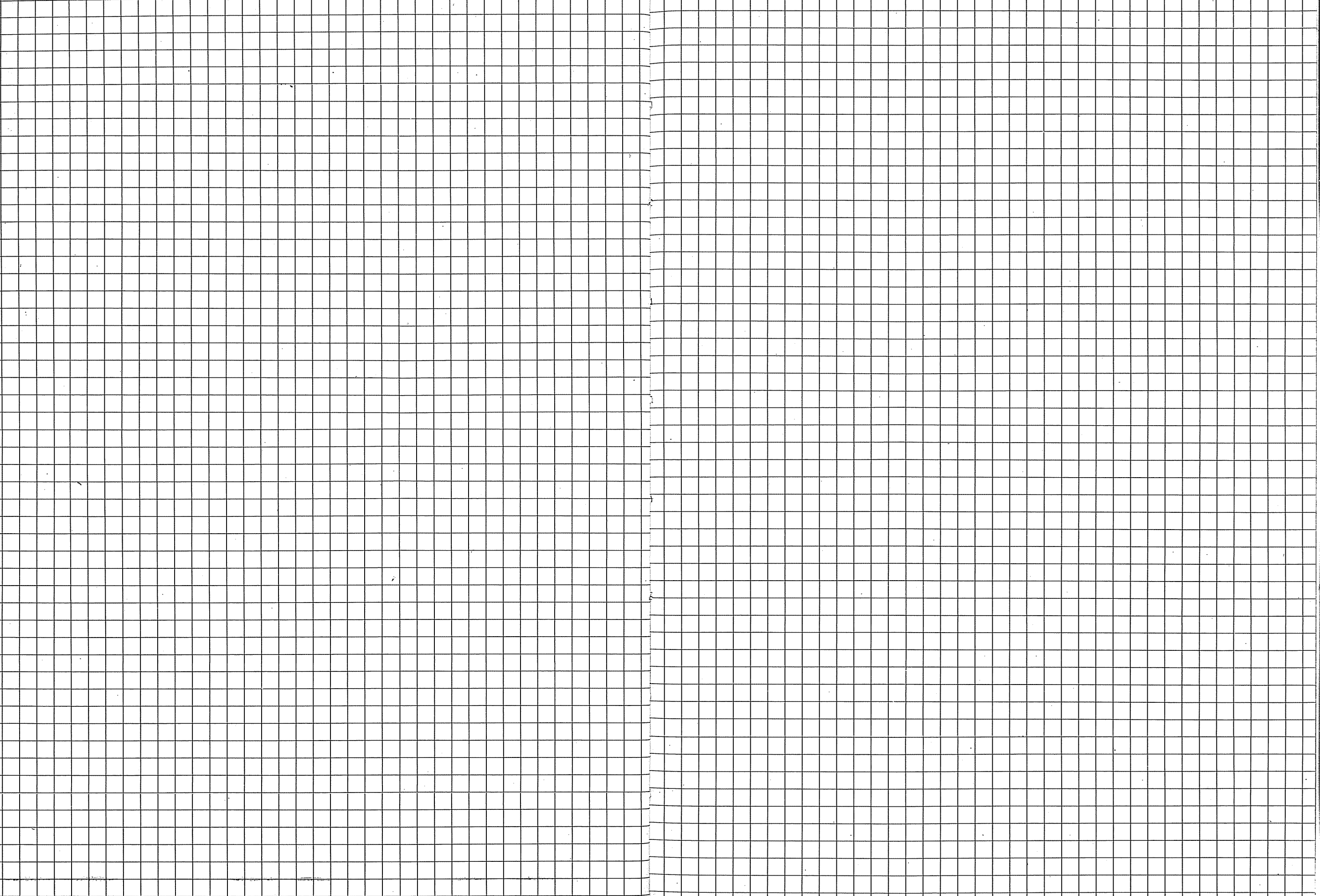
Su "Sviluppo cognitivo, rappresentazioni mentali e schemi concettuali in fisica" si veda il numero monografico della rivista *La fisica nella scuola*, anno XIX, n. 2, 1986, in particolare l'articolo di A. TIBERGHEN "Rassegna critica sulle ricerche che tendono a chiarire il significato dei concetti di calore e temperatura per gli allievi dai 10 ai 16 anni", pp.140-149.

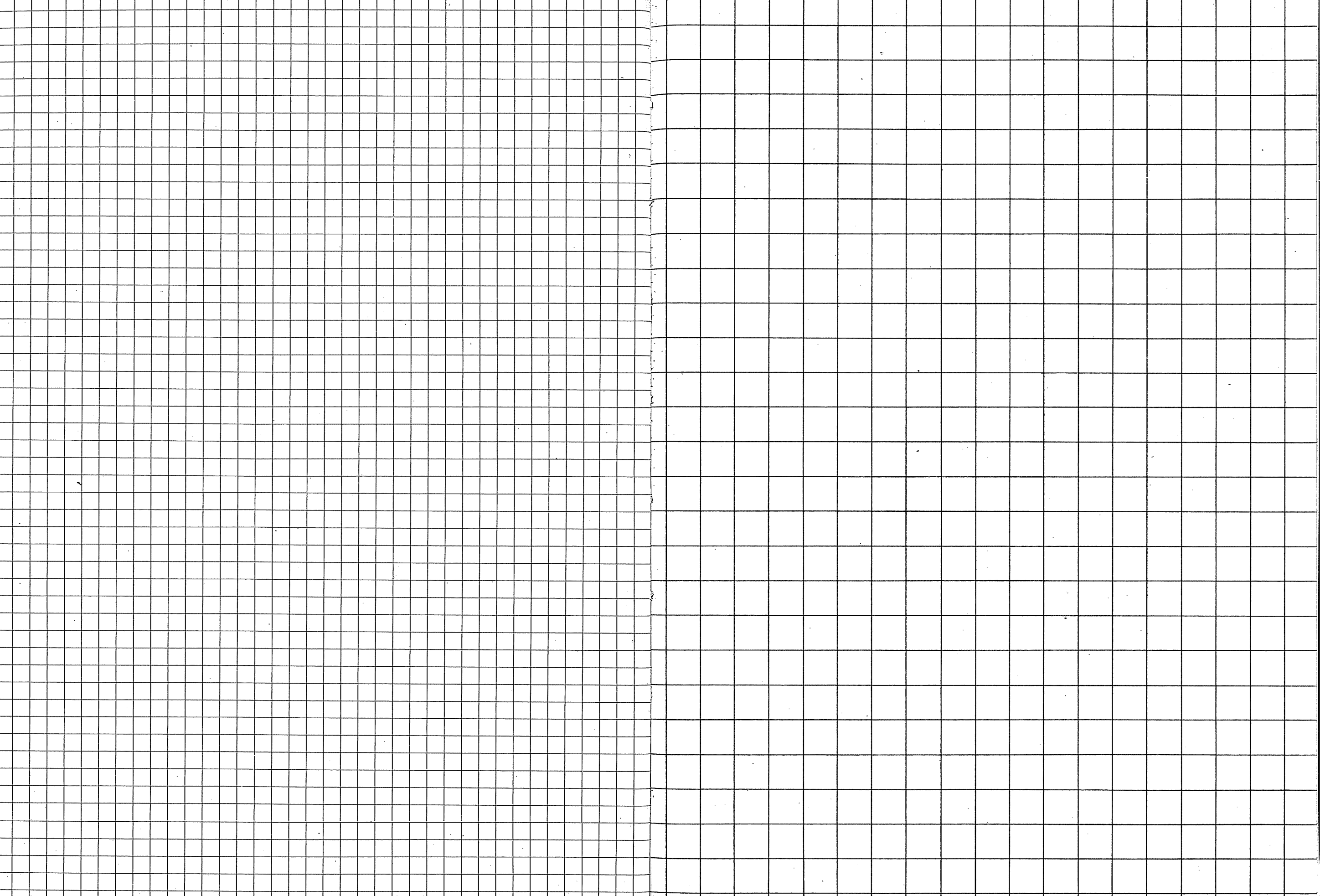
Riferimenti ai nuovi programmi della scuola elementare

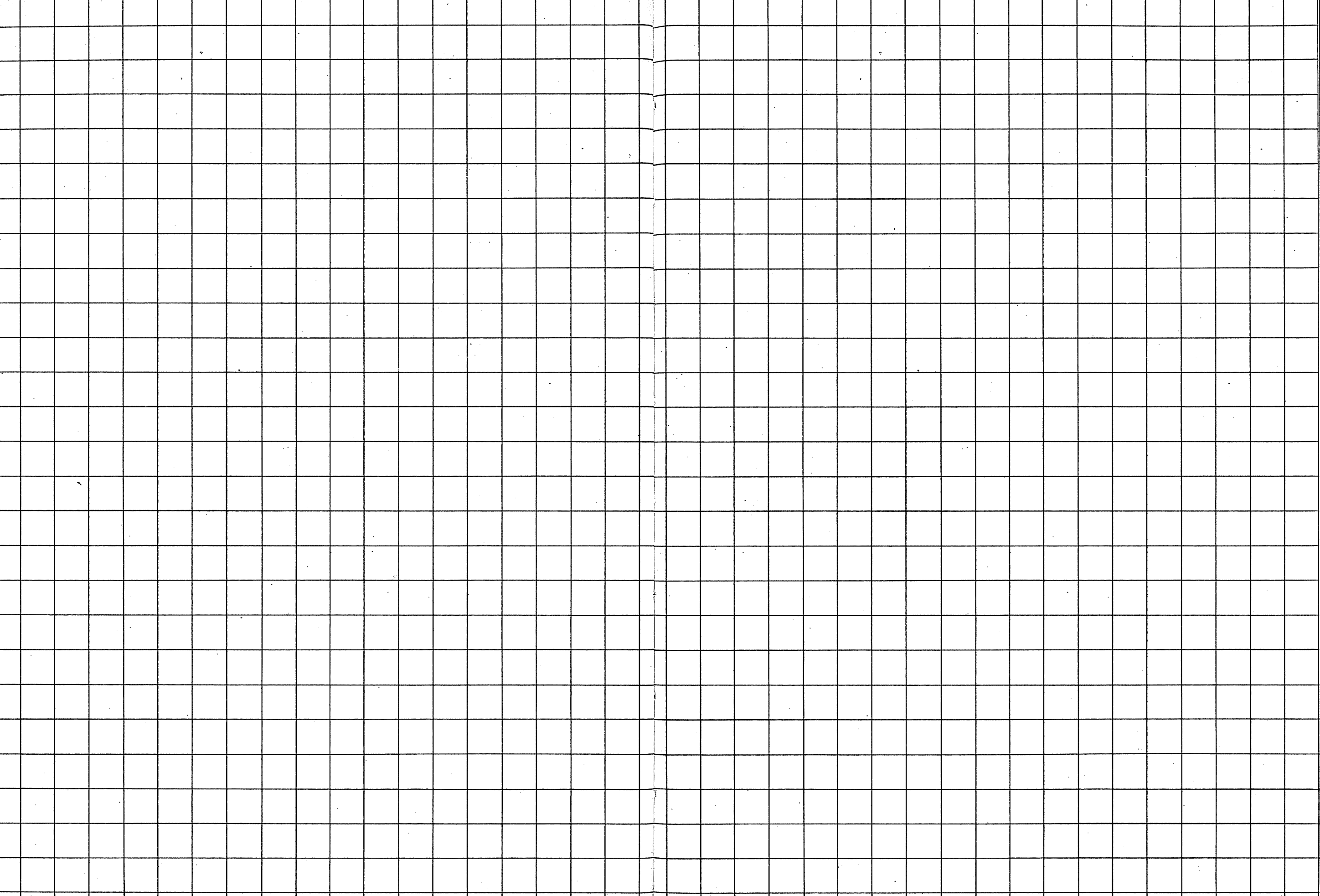
L'Educatore, vol. 32, n. 16, 1 marzo 1985.

Numero monografico dedicato ai programmi di scienze.









- 1 *B. Malfermoni, B. Tortoli Girardi*
Lettura come comprensione
- 2 *M. Arcà, P. Guidoni*
Guardare per sistemi, guardare per variabili
- 3 *P. Mazzoli, M. Arcà, P. Guidoni*
Forze e pesi
- 4 *M. Freddi, C. Marioni, R. Occa*
Inerzia e moto
- 5 *G. Bianchi, G. Bonera, L. Borghi, A. De Ambrosis, P. Mascheretti, C.I. Massara*
Circuiti elettrici
- 6 *L. Bosman, F. Lazzeri, J. Legitimo, P. Violino*
Rappresentazioni spaziali quantitative
- 7 *A. Rimondi*
Terre, metalli e sale
- 8 *B. Pea*
Laboratorio del numero
- 9 *E. Giordano, C. Longo, P. Majorino Bonelli*
Calore e temperatura

di prossima pubblicazione:

Forze, deformazioni e movimento

Organismi viventi

Educazione musicale - I ciclo

Educazione musicale - II ciclo

Educazione all'immagine