

Cambiamento concettuale e insegnamento

Anna Emilia Berti*

Sia la teoria di Piaget che l'approccio del cambiamento concettuale sottolineano la necessità di prendere come punto di partenza le strutture mentali dei discenti. Mentre però la teoria di Piaget considera tali strutture costituite da operazioni logiche, l'approccio del cambiamento concettuale considera le strutture cognitive come reticoli di concetti e credenze interrelati, ponendo l'accento sui contenuti di pensiero anziché sulla sua forma.

L'espressione "cambiamento concettuale" viene usata con diverse sfumature di significato: a volte come sinonimo di apprendimento, altre per indicare un tipo di apprendimento particolare. In questa seconda accezione, l'espressione compare, sia nella psicologia dello sviluppo sia in quella dell'educazione, all'interno di approcci che hanno conquistato nell'ultimo ventennio delle posizioni sempre più dominanti.

CAMBIAMENTO CONCETTUALE IN PSICOLOGIA DELLO SVILUPPO

Nella psicologia dello sviluppo, è stata la psicologa americana Susan Carey (1985) a usare per prima l'espressione "cambiamento concettuale", proponendo una nuova vi-

* Anna Emilia Berti insegna Psicologia dello sviluppo presso la Facoltà di Psicologia dell'Università di Padova. Le sue ricerche riguardano lo sviluppo delle conoscenze economiche e politiche e i modi più efficaci per promuoverle nella scuola elementare. Alcune di esse sono presentate nel saggio *Lo sviluppo delle concezioni politiche* nel volume *Psicologia politica* a cura di V. Girotto e P. Legrenzi (Milano, Raffaello Cortina, 1996). Ha pubblicato con A.S. Bombi *Il mondo economico nel bambino* (Firenze, La Nuova Italia, 1981) e alcuni manuali di psicologia dello sviluppo: *Psicologia del bambino* (Bologna, Il Mulino, 1985), *La psicologia e lo studio del bambino* (Torino, Petrini, 1988), *Psicologia dello sviluppo. 1. Storia, teorie, metodi* (Bologna, Il Mulino, 1985). (ae.berti@unipd.it).

sione dello sviluppo cognitivo che aveva lo scopo di superare i limiti sia dell'approccio piagetiano, sia di quello della elaborazione dell'informazione. Secondo la teoria stadiale di Piaget, esistono delle strutture cognitive ampie e pervasive, che vengono applicate ai più diversi contenuti (sono cioè *generalis per dominio*) e che consentono di caratterizzare i bambini a diversi livelli di età. Ad esempio, i bambini in età prescolare sono egocentrici e il loro pensiero è estraneo a molti principi della logica; quelli della scuola elementare sanno ragionare in modo logico, effettuando operazioni di classificazione e seriazione o altri tipi di operazioni simili ad esse nei confronti di oggetti e situazioni concrete; nell'adolescenza emerge la capacità di ragionare in modo ipotetico deduttivo su qualsiasi contenuto, anche espresso in termini verbali o astratti (Piaget 1971).

La teoria di Piaget fu messa in discussione, nella seconda metà degli anni '70, da numerose ricerche che mostrarono come il pensiero e le abilità dei bambini fossero molto più variabili ed eterogenei di quanto lasciasse prevedere la teoria stadiale. L'approccio della elaborazione dell'informazione, affermatosi in quegli anni, propose perciò un punto di vista alternativo, secondo il quale ad ogni livello di età i bambini possiedono una moltitudine di abilità e nozioni distinte, che si sviluppano lungo itinerari in larga parte indipendenti. Anche questa visione "pluralistica" non riusciva però a rendere conto delle competenze cognitive e del loro sviluppo, per ragioni opposte a quelle che avevano determinato la crisi della teoria "olistica" di Piaget. L'approccio proposto da Susan Carey aveva appunto lo scopo di superare i punti deboli della teoria piagetiana, senza naufragare nell'opposto scoglio di una eccessiva frammentazione.

Quando abbiamo abbandonato la teoria stadiale di Piaget, abbiamo abbandonato delle idee che promettevano di ridurre ad un numero ragionevole le centinaia (migliaia) di singoli cambiamenti evolutivi che avvengono durante la prima fanciullezza. [...] Io credo che esista una analisi alternativa, che ci consente di considerare diversi cambiamenti evolutivi come riflesso di uno stesso, unico cambiamento, pur evitando i problemi contro cui si è scontrata la teoria piagetiana degli stadi. Questa analisi sostiene che i bambini rappresentano solo alcune strutture cognitive simili a teorie, nelle quali sono inserite le loro nozioni di causalità e nei termini delle quali sono esplicitati i loro impegni ontologici. Lo sviluppo cognitivo consiste, in parte, nell'emergere di nuove teorie da quelle vecchie, nella contemporanea ristrutturazione dei concetti ontologicamente importanti e nell'emergere di nuove nozioni esplicative (Carey 1985: 14).

All'idea piagetiana che esistono strutture cognitive e cambiamenti generali per dominio, questo nuovo approccio opponeva l'idea che le strutture cognitive e i loro cambiamenti sono specifici per dominio, riguardano cioè argomenti distinti. Esso inoltre spostava l'attenzione dalle operazioni intellettuali, che costituiscono la for-



ma del pensiero e hanno un ruolo centrale nella teoria piagetiana, al contenuto del pensiero, cioè i concetti e le concezioni (i sistemi di credenze) in cui sono inseriti. Il contenuto del pensiero infantile è ben presente nelle ricerche piagetiane – si pensi a quelle sulla rappresentazione del mondo nel bambino (Piaget 1966) – ma come via d'accesso alle strutture (o ai modi di ragionamento, le operazioni intellettuali, o gli “atteggiamenti mentali”) sottostanti, più che come fine in sé. La tesi che le strutture cognitive possedute dai bambini sono simili a teorie suggeriva inoltre un'analogia tra bambini e scienziati, sviluppo cognitivo e storia delle scienze, stimolando a indagare le relazioni tra i due termini dell'analogia.

L'approccio inaugurato dalla Carey ha prodotto negli ultimi anni molte ricerche, concentrate soprattutto sulle concezioni biologiche, fisiche, psicologiche (chiamate anche “teoria della mente”). Le ricerche empiriche sono state accompagnate da numerose riflessioni e dibattiti sulla natura di tali concezioni e sui processi sottostanti le loro trasformazioni. Alcuni studiosi hanno negato la legittimità del parallelismo tra bambini e scienziati, tra concezioni infantili e teorie (ad esempio Harris 1991). Altri invece hanno sostenuto che i bambini possiedono vere e proprie teorie e che le trasformano attraverso processi cognitivi simili a quelle usati dagli scienziati. Secondo Gopnik e Meltzoff (2000), tra i più convinti sostenitori di questo punto di vista, ciò avviene non perché il bambino è un “piccolo scienziato”, ma perché gli scienziati sono dei “grandi bambini”. A differenza degli altri adulti, il cui lavoro di solito prevede l'applicazione di conoscenze acquisite in precedenza, gli scienziati continuano a trasformare le conoscenze mantenendo vivi i processi mentali che sono alla base dello sviluppo cognitivo e che operano soprattutto durante l'infanzia e la fanciullezza.

CAMBIAMENTO CONCETTUALE IN PSICOLOGIA DELL'EDUCAZIONE

Nel campo dell'educazione, un approccio simile a questo è nato, in modo indipendente, ad opera di studiosi interessati all'insegnamento delle scienze. Alcuni di essi erano insoddisfatti della visione empiristica, secondo la quale tutta la conoscenza deriva dall'esperienza e si accumula additivamente (Strike e Posner 1985); altri, che provenivano dalle fila piagetiane, arrivarono alla conclusione che era meglio rivolgere l'attenzione ai contenuti delle concezioni dei discenti, anziché considerarli il prodotto di strutture logiche soggiacenti (Novak 1977).

Nella psicologia dell'educazione si affermò così l'idea che i concetti degli studenti sono organizzati in strutture simili a teorie e che compito dell'insegnamento è di trasformare sia queste che quelli. L'obiettivo (ovvero l'esito desiderato) dell'istruzione sarà diverso a seconda del rapporto intercorrente tra le concezioni presenti negli studenti e quelle scientifiche che devono essere acquisite. Nel caso di un'ampia concordanza sui concetti e gli assunti più importanti, si tratterà di un arricchimento o

accrescimento delle concezioni preesistenti attraverso l'aggiunta (o, per usare un termine piagetiano, l'assimilazione) di altre informazioni con esse congruenti. Nel caso invece di profonde divergenze, come ad esempio quelle che hanno opposto la fisica aristotelica a quella galileiana, si tratterà di effettuare una ristrutturazione radicale che richiede non solo una revisione delle credenze ma anche una riformulazione dei concetti (o un loro accomodamento). È a questo secondo tipo di cambiamenti che viene di solito riservata l'espressione "cambiamento concettuale".

I due filoni di studio sul cambiamento concettuale, quello evolutivo e quello educativo, hanno contribuito in modo complementare alla costruzione di un quadro dettagliato delle concezioni (o "teorie ingenuie" "intuitive", "alternative" "popolari", tutti modi per sottolinearne le differenze da quelle scientificamente accreditate) presenti in età diverse. Gli studiosi dello sviluppo cognitivo si sono dedicati soprattutto a bambini della scuola elementare o più giovani, spingendo le loro indagini sempre più indietro nel tempo, fino a coinvolgere, grazie a tecniche di ricerca di crescente raffinatezza, i primi mesi di vita al fine di individuare le basi innate dei concetti (Gardner 1993; Wellman e Gelman 1998). Gli studiosi di educazione hanno esaminato un ventaglio di argomenti e una gamma di età molto più ampi, includendo studenti di tutti i livelli scolari, compresa l'università, e si sono anche dedicati a sperimentazioni per identificare i tipi di intervento che favoriscono il cambiamento.

Alcuni studiosi dell'Università di Cornell (Strike e Posner 1985), paragonando gli studenti agli scienziati, si rivolsero alla storia e alla filosofia della scienza, e in particolare all'opera di Thomas Kuhn sulle rivoluzioni scientifiche e al dibattito che era seguito alla sua pubblicazione (Lakatos e Musgrave 1976; Laudan 1979), per ricavarne indicazioni sulle condizioni che facilitano e quelle che ostacolano il cambiamento concettuale. L'analisi delle condizioni che hanno indotto alcuni scienziati ad aderire ad nuovo punto di vista (ad esempio la teoria copernicana del sistema solare) e altri a rimanere a tutti i costi abbarbicati a quello vecchio (ad esempio la teoria tolemaica) può, in questa prospettiva, fornire delle indicazioni sia sui fattori che ostacolano negli studenti il cambiamento, sia sugli interventi didattici che lo possono promuovere.

Secondo i suggerimenti originariamente formulati da Strike e Posner (*ibidem*), sono quattro le condizioni da soddisfare perché si realizzi il cambiamento concettuale. Innanzitutto bisogna suscitare nell'allievo una certa insoddisfazione nei confronti della concezione che si vuole modificare. Ciò può essere realizzato in vari modi: mostrando che essa non riesce ad interpretare una certa esperienza (esperienza che viene così a costituire un'anomalia), o che ha implicazioni palesemente false, o che è in contraddizione con concezioni relative ad altre aree. La presenza di anomalie non porta di per sé al rifiuto della vecchia concezione: vedremo più avanti che ci sono diverse soluzioni alternative e più probabili.

Questa prima condizione ha un forte sapore piagetiano: essa richiama il concet-



to di equilibrare e i suggerimenti di facilitare l'emergere di strutture logiche di livello più elevato, creando le condizioni in cui i bambini possono accorgersi della contraddizione tra le previsioni da loro formulate e l'effettivo andamento di un certo fenomeno (Schwebel e Raph 1977). A rendere diverso questo punto di vista da quello piagetiano è il quadro molto più ricco e differenziato che esso, come vedremo, offre delle strutture mentali coinvolte sia nel cambiamento concettuale sia nella resistenza ad esso.

La seconda condizione è che la nuova concezione sia comprensibile per il discente, anche ad un livello minimale. L'insegnante deve perciò realizzare, mediante analogie e metafore, dei collegamenti con conoscenze già possedute, o proporre le nuove informazioni in un ordine che ad ogni passo costruisca le basi per la comprensione di quelli successivi. La comprensione delle nuove informazioni non assicura però che esse vengano anche credute. E in effetti, chi legga un libro sulla storia delle scienze o sul pensiero di popoli primitivi incontrerà molte teorie e credenze che capirà, se esposte in modo chiaro, pur senza lasciarsi convincere da esse.

Le ricerche sulla storia delle scienze hanno messo in evidenza che l'accettazione o il rifiuto di una nuova teoria e talora addirittura dei dati su cui essa si basa non dipende soltanto dalle relazioni che essa intrattiene con quella a cui viene proposta come alternativa, ma anche da come essa si inquadra in una "ecologia mentale" che include una moltitudine di altri prodotti intellettuali: teorie più o meno imparentate con quella in questione, conoscenze attinenti ad altri ambiti della realtà, credenze religiose e metafisiche, convinzioni di tipo metodologico sui requisiti che una teoria o i metodi per verificarla devono soddisfare, idee generali sulla natura della conoscenza. Affinché una nuova teoria o i dati che la suffragano vengano accettati, oltre che compresi, occorre la realizzazione della terza condizione: essi devono cioè sembrare plausibili, il che avviene quando sono in armonia con questa più ampia "ecologia mentale".

Infine, la quarta condizione che si deve realizzare secondo Strike e Posner (*ibidem*) perché si verifichi il cambiamento concettuale è che la nuova concezione appaia fruttuosa, cioè offra, o faccia balenare, la promessa di una più ampia comprensione della realtà e una più efficace interazione con essa.

L'analogia tra studenti e scienziati e l'idea di una popolosa ecologia mentale hanno stimolato la progressiva estensione delle indagini sulle concezioni degli studenti. Originariamente circoscritte alle nozioni, soprattutto di fisica, chimica, biologia, previste nei curricoli scolastici (si vedano, ad esempio, Grimellini Tomasini e Segrè 1991), esse hanno cominciato a includere le concezioni su altri temi eminentemente cognitivi ma non compresi nelle tradizionali materie scolastiche, come ontologia (i tipi fondamentali di entità, come ad esempio oggetti materiali, suddivisi in naturali e artefatti; processi; stati mentali; secondo Chi, Slotta, e deLeeuw 1994) ed epistemologia (cos'è la conoscenza e come viene acquisita; Mason 2001). Infine, la ricerca sulle concezioni degli studenti si è ulteriormente estesa a temi che travalicano

quelli suggeriti da sociologia e storia delle scienze, ma che si riflettono sulle motivazioni ad apprendere e l'impegno nello studio, come le concezioni che gli studenti hanno sull'apprendimento, sulle proprie abilità, e sul valore delle diverse materie scolastiche (Pintrich 1999).

Anche nel filone di orientamento educativo sono emersi gli stessi contrasti che si sono manifestati in quello evolutivo. Le obiezioni al parallelismo tra scienziati e studenti sono simili a quelle avanzate dagli studiosi dello sviluppo. Il rifiuto di considerare le concezioni degli studenti come teorie, cioè come insiemi di credenze sistematicamente interconnesse, che includono il riferimento ad entità e processi non osservabili (come ad esempio atomi e forze) ha ricevuto, in questo campo, un supporto particolarmente convincente nell'analisi della fisica ingenua operata da Di Sessa (1993). Secondo questo autore, le conoscenze fisiche degli studenti e delle persone comuni sono un insieme frammentario di schemi originati dall'osservazione di eventi circoscritti (ad esempio, il progressivo rallentamento della velocità con cui si muove, prima di fermarsi, un oggetto a cui è data una spinta). Compito dell'insegnante, in questa ottica, non è tanto quello di aiutare gli studenti a prendere coscienza delle loro teorie e comprenderne le insufficienze in modo da preparare il terreno alla loro revisione, secondo le indicazioni di Strike e Posner, quanto piuttosto di collegare in modo corretto i vari schemi tra di loro e con dei concetti che si riferiscono a entità e processi non osservabili e che è compito della scuola trasmettere.

Un altro punto di contrasto tra gli studiosi di psicologia dell'educazione riguarda l'espressione "cambiamento concettuale" e il tipo di trasformazioni che essa suggerisce. La questione su cui verte la controversia è il destino delle concezioni o dei concetti "cambiati". La parola "cambiamento" fa pensare che essi perdano la loro identità o diventino qualcos'altro nella riorganizzazione che porta ad una diversa concezione; il parallelismo tra cambiamento concettuale e rivoluzioni scientifiche suggerisce che essi vengano abbandonati e sostituiti con qualcosa di diverso. Alcuni studiosi sostengono che ciò che di fatto avviene, e che dovrebbe anche costituire l'obiettivo dell'istruzione, molto spesso non è un cambiamento delle concezioni elaborate al di fuori della scuola e spesso utili per risolvere problemi pratici, ma la comprensione del tipo diverso di interrogativi che le varie scienze si propongono, e del modo in cui i concetti scientifici sono adeguati a rispondervi:

Molti cosiddetti concetti ingenui e strategie ingenue per la soluzione di problemi sono molto utili in quasi tutte le situazioni della vita quotidiana. Il ragionamento scientifico non è in grado di sostituire il pensiero di senso comune. Lo studente deve imparare a distinguere quali concetti e quali strategie per la soluzione di problemi sono adeguati alle varie situazioni (Spada 1994: 115).

In fondo, per illustrare questo punto di vista con un esempio che rischia di banalizzarlo, ma che ha il vantaggio di poter essere proposto in poche righe, l'idea del-



la terra immobile e del sole che si muove attorno ad essa ben corrisponde alla nostra esperienza quotidiana e al tipo di linguaggio che la esprime. E chi si figurasse di contestare espressioni come “sorgere” o “tramontare” in quanto vestigia di una visione superata del sistema solare, verrebbe preso per eccentrico, anziché per persona colta. La conoscenza della moderna astronomia, più che soppiantare le concezioni di senso comune, ad esse si aggiunge, e viene usata in altri contesti (ad esempio, per spiegare il ciclo delle stagioni).

Le divergenze riguardo alla natura delle concezioni ingenuie, ai tipi di cambiamento che si verificano sia spontaneamente sia per effetto dell’istruzione, e ai modi più efficaci per indurli, possono fare pensare che le ricerche raggruppabili sotto l’etichetta “cambiamento concettuale” (o altre di significato affine, come “teorie ingenuie” o “conoscenze specifiche per dominio”) siano di scarsa utilità fintantoché tali nodi non vengano sciolti.

L’opinione di chi scrive è che le controversie potrebbero derivare dalla pretesa di ricavare conclusioni di portata generale da ricerche su nozioni specifiche. Se si accetta l’idea che l’ecologia mentale comprende un’ampia varietà di prodotti intellettuali, si può ammettere che ci siano strutture concettuali simili a teorie accanto ad altre che non assomigliano per nulla a teorie, e che anche i cambiamenti siano di tipi diversi. Alcune credenze vengono sia abbandonate che dimenticate: tra esse rientrano molte di quelle studiate da Piaget. Ad esempio, i bambini che hanno acquisito le nozioni di conservazione non ricordano che quando erano più piccoli pensavano che una pallina di plastilina aumentasse di quantità dopo essere stata schiacciata (Piaget e Inhelder 1971). Altre credenze vengono abbandonate ma non dimenticate. I concetti a cui si riferiscono non scompaiono né vengono riassorbiti in altri, ma cambia il loro statuto ontologico, ovvero il tipo di mondo (James 1890) o sfera di realtà in cui vengono collocati. È questo, ad esempio, che avviene a Babbo Natale, il purgatorio, la teoria secondo cui gli esseri viventi sono stati creati da Dio nella loro forma attuale, quando qualcuno li sposta dalla sfera della realtà a quelle, rispettivamente, della fantasia, di una religione in cui non crede più, e di una teoria scientifica ormai superata. Col modificarsi delle credenze che li riguardano, alcuni concetti vengono invece radicalmente cambiati, anche se rimane una continuità con le loro versioni anteriori e più primitive. È questo, ad esempio il caso della banca: custode di soldi dai ladri e generosa distributrice di soldi per chi ne ha bisogno, secondo i bambini più piccoli; azienda erogatrice di vari servizi finanziari (tra cui deposito in conto corrente e prestiti) per i ragazzi più grandi (Aquino, Berti e Consoletti 1996; Berti e Bombi 1981).

Ma indipendentemente dalle cause e dalla risoluzione delle controversie, chi scrive è anche convinta che le ricerche minuziose su svariate concezioni presenti a diversi livelli scolari siano di estrema utilità per gli insegnanti. Conoscendo in anticipo le idee presumibilmente presenti nei loro allievi e facendo una verifica di massima con una discussione in classe, essi possono stabilire i percorsi e tempi più adatti per l’in-

segnamento o, più modestamente, rendersi conto delle difficoltà a cui i loro allievi vanno incontro. Come ciò possa avvenire può essere illustrato con alcuni esempi.

LA COMPRESIONE DEL CICLO DELL'ACQUA NEI BAMBINI

Cominciamo con una ricerca che ha ripreso un tema studiato anche da Piaget, in modo da mettere in luce le differenze tra i due approcci.

Piaget (1966), nel suo libro sulla rappresentazione del mondo nel bambino, ha esaminato separatamente le idee sull'origine delle nubi e quelle sull'origine della pioggia. Riguardo alle nubi egli riporta tre stadi. Nel primo (fino a 5/6 anni) le nuvole sono solide e costruite con terra o pietre da Dio o dai primi uomini. Secondo Piaget, queste credenze manifestano nella forma più netta l'atteggiamento artificialistico che sottende le prime concezioni infantili sull'origine delle più svariate entità (astri, materie prime, montagne, fiumi, alberi) e fenomeni (notte, lampi, tuoni, pioggia), di cui viene attribuita la costruzione agli uomini o a una divinità antropomorfa. Nel secondo stadio (dai 6 ai 9 anni) l'artificialismo si stempera nell'idea che le nuvole siano fatte del fumo uscito dai camini. Nel terzo stadio (9-10 anni) non c'è più alcuna traccia di intervento umano o divino. Le nuvole sono aria, umidità, calore o vapore condensati. Piaget non si è soffermato oltre a distinguere tra queste concezioni, perché esse sono accomunate dal fatto di attribuire alla natura l'azione produttrice o trasformatrice che negli stadi precedenti era appannaggio umano, denotando così il superamento dell'artificialismo.

Anche le concezioni sull'origine della pioggia si presentano in una simile sequenza di tre stadi (sui cui confini cronologici Piaget questa volta non dà indicazioni). La pioggia è dapprima descritta come acqua (ma certi risolini suggeriscono a Piaget che i bambini abbiano in mente dei liquidi più imbarazzanti) che Dio fa uscire dal cielo. Nel secondo stadio la pioggia proviene dalle nuvole che si formano grazie al fumo uscito dai camini; la pioggia è fumo liquefatto oppure acqua che le nuvole hanno raccolto dal mare calandosi su di esso. Infine la pioggia riceve delle spiegazioni interamente naturali (seppure sbagliate o imprecise) che la raffigurano come nebbia o aria condensata, o addirittura come il sudore del sole.

Alla base di queste e altre analoghe trasformazioni che le idee dei bambini subiscono con l'avanzare dell'età ci sono, secondo Piaget, due processi. Il primo è il progressivo superamento dell'egocentrismo dal quale derivano l'artificialismo e numerose altre caratteristiche del pensiero dei bambini più piccoli. L'egocentrismo, che consiste nel prendere il proprio punto di vista come assoluto, induce anche a non distinguere tra attività umana e processi naturali. Il secondo processo consiste nello sviluppo delle operazioni di partizione, una delle acquisizioni del pensiero operatorio concreto che compare verso i 7/8 anni. Queste operazioni consentono di immaginare che ogni oggetto si possa dividere in parti sempre più piccole, fino a giunge-



re a dei componenti invisibili. Emerge così nei bambini una concezione atomistica della materia, e con essa l'idea che le particelle possano avvicinarsi (condensamento) o allontanarsi (rarefazione), facendo sì che una cosa si trasformi in un'altra: il fumo in pioggia, le nuvole in terra o astri, il vapore in acqua.

Gli interventi attraverso cui gli adulti possono facilitare la comprensione di vari fenomeni naturali, tra cui nuvole e pioggia, sono, secondo Piaget, indiretti: "Non possono essere esperienze propriamente dette a portare il fanciullo alla rinuncia dell'animismo e artificialismo [...] L'insegnamento adulto non può, a sua volta, disingannare il fanciullo" (Piaget 1966: 389). Quello che rimane da fare è solo aiutare i bambini a superare la causa prima delle loro concezioni, cioè l'egocentrismo, favorendo i loro scambi sociali con i coetanei.

In una ricerca condotta nella prospettiva del cambiamento concettuale, Varda Bar (1989) ha invece cercato di mettere in relazione le idee dei bambini sul ciclo dell'acqua con il possesso di numerose altre idee necessarie alla sua comprensione. Una di queste riguarda i cambiamenti di stato. A 5 e 6 anni i bambini credono che l'acqua delle pozzanghere (o le gocce versate sul pavimento senza asciugarle) semplicemente scompaia. A 7-8 anni, quando emergono le nozioni di conservazione della quantità, i bambini si rendono conto che l'acqua non può cessare di esistere e pensano che penetri nella terra o nel pavimento. Verso i 9-10 compaiono le prime idee sull'evaporazione, associata all'inizio all'ebollizione. Dapprima i bambini credono che l'acqua evapori entro qualche contenitore: all'aperto riempiendo le nuvole, in una stanza raccogliendosi vicino al soffitto, poi comprendono che l'acqua evaporata si diffonde ovunque. Per capire la formazione di nuvole e pioggia sono necessarie anche altre nozioni, come la conservazione dell'aria (l'idea cioè che l'aria diversamente dal vento esiste anche quando non la percepiamo), la condensazione, il peso di corpi non visibili (vapore, aria, granelli di polvere), il cui sviluppo Piaget ha studiato senza metterlo però in relazione con la comprensione della pioggia.

La sequenza che la Bar ha ricavato intervistando numerosi bambini da 5 a 14 anni è la seguente. Dapprima, a un'età compresa tra 5 e 7 anni, non c'è conservazione né di acqua né di aria, oppure c'è solo la conservazione dell'acqua, senza alcuna idea sull'evaporazione. Per alcuni bambini tra pioggia e nuvole non c'è alcuna relazione; ad esempio essi affermano che le nuvole sono fatte di cotone o fumo e che piove quando Dio apre dei serbatoi pieni di acqua. Altri bambini rappresentano le nubi come sacchi che si riempiono di acqua calandosi a raccoglierla dal mare, e che fanno uscire sotto forma di pioggia quando si squarciano scontrandosi. Con la comparsa delle prime idee sull'evaporazione mediante ebollizione (6-9 anni), i bambini affermano che le nubi contengono (anziché essere fatte di) vapore uscito dalle pentole oppure salito dal mare che bolle per il calore del sole. Questo non cambia però le loro idee sulla pioggia, che essi continuano a descrivere come acqua uscita dalle nuvole quando si lacerano o si strizzano come spugne venendo scosse dal vento o scontrandosi le une contro le altre. Tra i 7 e i 10 anni i bambini affermano che le nuvole sono fatte di vapore e si trasfor-

mano in pioggia a causa di cambiamenti di temperatura (per alcuni raffreddandosi, per altri riscaldandosi), senza però sapere il perché. A partire dagli 11 anni, in concomitanza con l'attribuzione di un peso al vapore e all'aria, i bambini affermano che il vapore dà origine alle nuvole raffreddandosi, e che la pioggia cade quando le gocce, prodotte in questo modo, diventano grandi e pesanti.

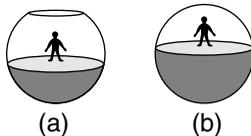
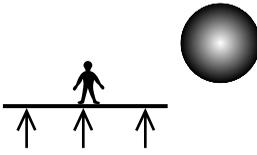
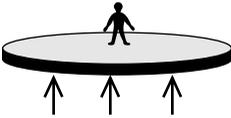
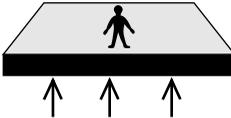
Si può dunque concludere che esistono degli schemi strutturati che connettono diverse idee, come quelle sulla conservazione di acqua e aria, sull'ebollizione, l'evaporazione, ecc. Il fallimento di alcuni tentativi di mettere in discussione le risposte dei bambini durante le interviste ha mostrato che questi schemi resistono alle contraddizioni. Ad esempio, è stato chiesto ad un bambino secondo il quale l'acqua evapora quando il sole la fa bollire, se davvero il mare è così caldo, ottenendo la risposta che ciò avviene lontano dalla spiaggia. Le indicazioni operative che la Bar suggerisce sono di trattare il ciclo dell'acqua a partire dai 9 anni, quando sono già presenti alcune idee sull'evaporazione, e di tenere conto del complesso intreccio tra diverse nozioni emerso dalla sua ricerca.

LE CONCEZIONI ASTRONOMICHE

Varda Bar ha collocato, come abbiamo visto, le concezioni dei bambini sul ciclo dell'acqua entro il contesto delle loro idee su tutte le entità (acqua, aria, nuvole) e processi (evaporazione e condensazione) coinvolti. Stella Vosniadou (1991; 1994) ha situato le idee dei bambini sulla forma e la collocazione della terra in un contesto ancora più vasto, costituito da strutture concettuali di portata molto generale, che ella chiama "presupposizioni" o "teorie cornice". Le prime idee, o meglio "modelli mentali", dato il loro carattere iconico, che i bambini hanno della terra derivano da quanto essi percepiscono e dalla sua interpretazione nel quadro di due teorie cornice. La prima riguarda le caratteristiche fondamentali degli oggetti fisici, e fa parte perciò di un'ontologia, è costruita grazie all'esperienza del mondo fisico che il bambino e la bambina hanno accumulato fin dai primi mesi di vita, e descrive varie proprietà degli oggetti, tra cui quella di cadere quando sono privi di sostegno. La seconda riguarda la conoscenza, fa parte dunque di un'epistemologia, e afferma che le cose sono così come le vediamo. Queste due presupposizioni, condizionando l'interpretazione di ciò che il bambino percepisce, portano ad un modello intuitivo (cioè basato sull'esperienza) o iniziale, secondo cui la terra è piatta, e sotto di essa c'è terreno. Quando i bambini ricevono, attraverso discorsi o immagini, le informazioni sulla sfericità della terra, le interpretano alla luce delle loro presupposizioni ontologiche ed epistemologiche, formulando una serie di modelli sintetici (o misconcezioni), in cui tali informazioni vengono in vari modi travisate. Il progressivo abbandono delle teorie cornice iniziali, o la limitazione del loro ambito di validità, si traduce in una successione di modelli sintetici diversi, fino ad arrivare a quello scientifico (vedi fig. 1).

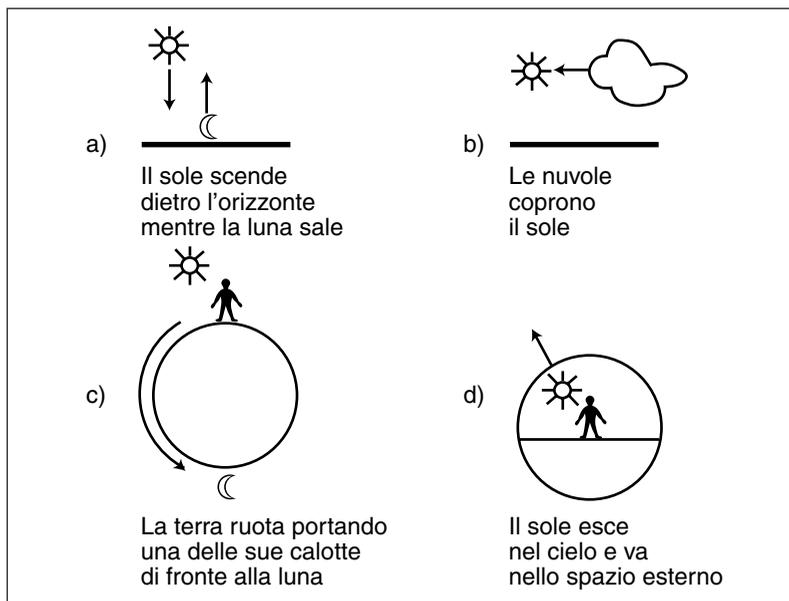


Figura 1. Modelli mentali della Terra.

Nome	Tipo di modello	Età in cui è presente
Sfera		Modello scientifico 8-10
Sfera appiattita		
Sfera cava		Modelli sintetici 8-10
Terra doppia		6-8
Terra a disco		Modelli iniziali 6
Terra rettangolare		

I bambini più piccoli si limitano ad attribuire una forma rotonda alla Terra piatta, raffigurandola come un disco, oppure aggiungono una terra sferica al di sopra di quella piatta che continua a contenere persone e città. Diversi bambini dagli 8 agli 11 anni pensano invece alla Terra come ad una massa rotondeggiante sospesa nel cielo, mostrando così di aver abbandonato, o smesso di applicare alla terra, l'idea

Figura 2. Spiegazioni del ciclo giorno-notte: a) e b) sono compatibili con l'idea che la terra sia piatta. La spiegazione c) richiede il modello della terra come sfera e mostra come esso non sia sufficiente ad assicurare la comprensione del ciclo giorno-notte. La spiegazione d) è congruente con il modello della terra come sfera cava.



che un corpo non sorretto da qualcosa cade. Invece l'idea che le cose sono così come appaiono (che perciò la terra è piatta) persiste più a lungo. Per conciliare la forma sferica della terra con la percezione della sua orizzontalità, alcuni bambini la rappresentano come composta di due emisferi (il modello denominato “sfera cava”), divisi da una superficie piatta, il superiore dei quali forma la calotta celeste. Altri bambini invece le attribuiscono la forma di una sfera schiacciata.

La nozione che la terra è sferica è necessaria per comprendere l'alternanza di giorno notte e il ciclo delle stagioni, anche se non impedisce di per sé che ci siano dei fraintendimenti: alcune idee dei bambini al riguardo sono illustrate nella figura 2. La comprensione della sfericità della terra richiede a sua volta quella della forza di gravità, altrimenti non si capisce come la gente rimanga appoggiata al suolo (specie quella vivente nell'emisfero raffigurata in basso). Raramente i libri di testo tengono conto di queste priorità quando affrontano questi argomenti (Vosniadou 1991).

La relazione tra vari tipi di teorie (quelle cornice rispetto ai modelli della terra; i modelli della terra rispetto alla spiegazione del giorno e della notte) indica anche l'ordine di propedeuticità in cui gli argomenti dovrebbero venir presentati per poter essere compresi e accettati. Dai dati della Vosniadou (1991) si ricavano anche altri suggerimenti didattici. Bisogna stare attenti a non presentare come dati di fatto informazioni che contrastano con le teorie degli allievi o con quello che essi posso-



no ricavare dalla percezione. Ad esempio, è tutt'altro che evidente che il sole è molto più grande della terra e ancor meno che esso è una stella, dato che compare solo di giorno e sembra molto più grande delle stelle che si vedono di notte. Se ci si limita a dire che il sole è una stella, si rischia di mettere i bambini di fronte a due alternative: aggiungere l'informazione, così come sta, alle loro concezioni, rendendole incoerenti, oppure distorcerla per renderla compatibile con esse, creando così una nuova idea sbagliata. Se si vuole realizzare una terza alternativa, cioè correggere la concezione errata dei bambini, bisognerà fornire ulteriori informazioni. Ad esempio, si può dire che le stelle sono grandi pur sembrando piccole e spiegare come mai di giorno non si vedono.

LE CONCEZIONI ECONOMICHE E POLITICHE DEI BAMBINI

Anche riguardo alle istituzioni politiche ed economiche sono state identificate, soprattutto tra i bambini della scuola elementare, varie concezioni che differiscono in vari modi dall'effettivo andamento delle cose (Berti e Bombi 1981). Nonostante tali concezioni siano facilmente rilevabili parlando con i bambini, tanto gli estensori dei programmi scolastici che gli autori dei sussidiari sembrano esserne del tutto ignari, poiché presentano argomenti di enorme complessità senza assicurarsi che le nozioni necessarie a capirli siano già presenti nella fascia di età a cui si rivolgono, né che esse vengano introdotte esplicitamente in un ordine che risponda a dei criteri di propedeuticità. Ad esempio, in terza elementare i bambini sentono parlare di Stati, regni, imperi e di diverse cariche politiche (re, giudice, amministratore, funzionario) quando studiano storia, mentre solo in quinta queste nozioni vengono di solito sistematicamente trattate nell'ambito degli studi sociali. I bambini di terza, generalmente privi sia dell'idea di Stato, sia di quella di organizzazione gerarchica del potere, possono così capire che l'unione di villaggi (di cui spesso i testi parlano per spiegare la fondazione del regno di Egitto) sia consistita nel radere al suolo dei piccoli insediamenti per costruirne uno più grande in cui radunare tutta la popolazione (Berti 1996). La città capitale, di cui sentono parlare studiando geografia, viene intesa da molti bambini delle elementari come la città più grande o geograficamente più centrale; ne discende che è impossibile cambiarla, o che il cambiamento è conseguente ad un aumento di dimensioni (Berti e Migliore 1994).

Nel campo dell'economia, i bambini fino a 8/10 anni sono convinti che i negozianti vendano le merci a prezzo di costo, se non addirittura ad un prezzo più basso, perché chi vende fa meno fatica di chi costruisce. Tuttavia, le nozioni di guadagno spesa e ricavo vengono proposte all'interno dell'aritmetica, in forma di problemi di calcolo, come se i bambini già conoscessero i cambiamenti che i prezzi subiscono nel corso delle diverse transazioni e le ragioni che li giustificano. Questo fa sì che molti bambini arrivino alla conclusione che i negozianti possono variare i prez-

zi come vogliono, aumentandoli (se sono disonesti), mantenendoli invariati (se sono onesti), o diminuendoli (se sono particolarmente generosi).

Concetti superordinati quale industria, servizi, settore primario, secondario, terziario, vengono di solito introdotti nell'ambito della geografia per descrivere le attività prevalenti in un certo territorio, senza assicurarsi che i bambini padroneggino i concetti di base da essi presupposti come la compravendita, il funzionamento della banca, i diversi tipi di produzione di beni e servizi e la divisione del lavoro attraverso cui vengono realizzati, gli scambi di denaro che accompagnano quelli delle merci (Berti e Ferruta 1999).

La sperimentazione di alcuni curricoli costruiti sulla base delle concezioni solitamente presenti ad un certa età, in modo da confutare quelle errate e di arricchire e collegare quelle frammentarie ma corrette, ha prodotto dei risultati che dimostrano la possibilità di far conseguire ai bambini in poche ore o settimane, a seconda del livello scolare, dei traguardi che, in assenza di un esplicito insegnamento, essi raggiungono di solito nel giro di diversi anni.

Ad esempio, in campo economico, il funzionamento della banca è stato insegnato in un paio d'ore di lezione a bambini di quinta elementare, la maggior parte dei quali ignorava l'esistenza degli interessi e non collegava depositi e prestiti, credendo che i soldi di ciascun risparmiatore venissero conservati in contenitori distinti, così da poter essere materialmente restituiti ai proprietari, e che quelli prestati fossero di proprietà della banca (Aquino, Berti, Consolati 1996). La comprensione delle relazioni tra depositi e prestiti e i relativi interessi, realizzata dai bambini dopo l'intervento, viene raggiunta dopo i 14 anni o oltre in assenza di un esplicito insegnamento. Un curriculum sulla banca ha richiesto invece una ventina di ore, distribuite nell'arco di un paio di mesi, per raggiungere questo risultato in III elementare (Berti e Monaci 1998).

Il curriculum comprendeva, oltre a prestiti e interessi, diversi altri argomenti, quali assegni e bancomat e le differenze tra libretti di risparmio e conti correnti. Ciò non basta però a spiegare la diversa durata dei due interventi. Un'altra ragione per cui quello realizzato in III ha richiesto più tempo è stata la mancanza delle abilità e conoscenze necessarie ad una rapida comprensione delle nozioni introdotte. Diverse ore sono state spese in esercizi aritmetici volti a padroneggiare la nozione di interesse attivo e passivo. La miglior conoscenza di fabbriche e negozi si è rivelata, nei bambini di V, un aiuto a comprendere la nozione di profitto nell'ambito della banca (Aquino, Berti, Consolati 1996). Questi risultati aprono degli interrogativi sulla scansione ottimale degli argomenti. È meglio riservare il tema della banca alla V elementare, dove richiede meno tempo, o vale comunque la pena di affrontarlo prima, perché offre un contesto significativo all'esercizio di operazioni aritmetiche oltre a facilitare la comprensione di altre istituzioni economiche? A questo e analoghi interrogativi solo ulteriori sperimentazioni possono dare risposta.

Nel campo dei temi politici, è stato sperimentato un curriculum sulle nozioni di



leggi e Stato in terza elementare per fornire le basi necessarie alla comprensione della storia. Prima dell'intervento i bambini erano privi di qualsiasi concezione su alcuni argomenti e presentavano delle concezioni sbagliate su altri. Essi ignoravano l'esistenza di parlamento e governo, mentre avevano delle concezioni errate di quelle istituzioni, come scuola e polizia, di cui avevano esperienza diretta o indiretta; ad esempio, essi credevano che il mandare o meno i figli a scuola dipendesse esclusivamente dalla volontà dei genitori, e che scuola e polizia avessero al vertice solo il direttore o dei capi, a cui spetterebbero tutte le decisioni e la retribuzione dei dipendenti. Alla fine del curricolo e diversi mesi dopo, i bambini sapevano che lo Stato è un territorio su cui vigono delle leggi, fatte da un parlamento e realizzate dal governo grazie ad una serie di apparati, tra cui scuola, polizia, sistema giudiziario, i cui dipendenti sono pagati con i soldi delle tasse (Berti e Andriolo, in corso di pubblicazione).

DIFFERENZE TRA L'APPROCCIO PIAGETIANO E QUELLO DEL CAMBIAMENTO CONCETTUALE

Poiché una delle radici dell'approccio del cambiamento concettuale è la teoria di Piaget e il tentativo di superarne alcuni limiti, esso può essere considerato come una prosecuzione dell'impresa piagetiana oppure come un'alternativa ad essa, a seconda che si mettano in risalto gli aspetti di continuità o quelli di contrasto. Riguardo alle implicazioni didattiche, entrambi gli approcci sottolineano la necessità di prendere come punto di partenza le strutture mentali dei discenti, ma si differenziano per il modo in cui le concepiscono. Secondo quello piagetiano, tali strutture sono costituite da operazioni logiche il cui sviluppo viene promosso dall'attiva sperimentazione sugli oggetti fisici e da rapporti sociali di cooperazione. A tale sviluppo anche l'azione educativa si dovrebbe ispirare. L'approccio del cambiamento concettuale considera invece le strutture cognitive come reticoli di concetti e credenze interrelati, ponendo l'accento sui contenuti del pensiero anziché sulla sua forma, e ispirando una miriade di ricerche su argomenti più numerosi e vari di quelli a cui si è dedicata la ricerca piagetiana. Queste ricerche offrono indicazioni su come distribuire gli argomenti in modo da costruire ad ogni passo le fondamenta di quelli successivi, così da evitare la distorsione e il rifiuto di quanto viene insegnato. Riguardo alle attività didattiche, restano aperte svariate opzioni tra cui quelle, suggerite da Piaget, della sperimentazione e della cooperazione tra pari.

L'organizzazione dei contenuti secondo criteri di propedeuticità, suggerita dall'approccio del cambiamento concettuale, non coinvolge soltanto le singole discipline separatamente ma anche i loro rapporti, poiché esse possono vicendevolmente fornirsi "conoscenze di sfondo", cioè conoscenze che non fanno parte di una certa teoria o di una certa disciplina, ma sono necessarie per la sua comprensione (Chinn e

Brewer 1993). Con il sottolineare che la comprensione e l'accettazione delle nozioni offerte dalla scuola è determinata dal rapporto che esse hanno non solo con le rispettive versioni ingenuie possedute dagli studenti, ma con una più vasta ecologia mentale, l'approccio del cambiamento concettuale richiama l'attenzione sulla necessità di fare posto, nell'istruzione scolastica, a tematiche che ne sono di solito escluse, come l'epistemologia e l'ontologia.

Infine, la ricerca sulle concezioni possedute dagli studenti consente di identificare quelle che si distinguono solo per il carattere meno organizzato e preciso dei concetti e quelle che differiscono radicalmente dalle conoscenze scientificamente accreditate. Gli interventi didattici nei due casi sono diversi, perché nel primo basta rifinire, arricchire, collegare, nel secondo invece occorre sostituire, riorganizzare, o collocare in un diverso contesto. Quando si verifica il secondo caso, l'approccio del cambiamento concettuale mette in guardia gli insegnanti dalle varie deformazioni che possono subire le informazioni che essi stessi offrono o che emergono dalle attive ricerche e sperimentazioni dei loro allievi, e propone una tipologia delle diverse reazioni che gli studenti possono avere, assieme ad alcune indicazioni per promuovere quelle che vanno nella direzione desiderata.

LE REAZIONI ALLE ANOMALIE

Gli studenti a cui si presentano dati o teorie profondamente discordanti con le loro concezioni possono essere paragonati agli scienziati che incontrano delle anomalie, cioè dati non spiegabili dalle teorie a cui essi aderiscono (Carey 1985; Strike e Posner 1985). Una disamina accurata delle reazioni che si verificano in questi è stata effettuata da Chinn e Brewer (1993), esaminando numerosi studi sia di sociologia e storia delle scienze sia di psicologia dell'educazione. Essi hanno identificato così sette reazioni alle anomalie, che si possono trovare tanto negli scienziati che negli studenti, e le hanno ordinate a seconda del grado di cambiamento apportato alle concezioni o teorie preesistenti.

1) *Ignorare (non prendere in considerazione i dati anomali)*. In questo caso i dati che contrastano con le proprie convinzioni non vengono neppure presi in considerazione. Ad esempio, può capitare che leggendo un testo uno studente si soffermi solo sui punti che collimano con le sue idee, senza neppure accorgersi di quelli che le contraddicono.

2) *Rifiutare i dati anomali*. A differenza del caso precedente, qui i dati vengono presi in considerazione, ma senza accettarne la validità. Nella storia della scienza il caso più famoso è probabilmente quello di Galileo Galilei. Mentre gli astronomi tolemaici erano convinti che la luna fosse una sfera di cristallo dotata di luce propria, Galileo sosteneva che era un corpo simile alla terra e come essa illuminato dal sole, perché osservandola al telescopio si potevano vedere monti e avvallamenti simili a



quelli terrestri. Diversi astronomi contemporanei di Galileo rifiutarono queste conclusioni, sostenendo che ciò che si vedeva al telescopio era dovuto alle proprietà dello strumento, e non a qualcosa di effettivamente esistente sulla luna. Una reazione simile a questa è stata manifestata da studenti di scuola media che, rifiutando la dimostrazione che in un circuito elettrico la corrente che esce dal bulbo è uguale a quella che entra, hanno affermato che gli strumenti di misurazione erano guasti.

3) *Escludere i dati anomali dall'ambito di fenomeni oggetto della teoria.* In questo caso si riconosce la validità dei dati, ma si nega che abbiano a che fare con la teoria di cui ci occupa. Gli esempi nella storia delle scienze sono troppo complessi per poter essere presentati in questa sede. Nel caso degli studenti, questo fenomeno, chiamato *compartimentalizzazione*, è molto frequente e consiste nel separare nettamente quello che si impara a scuola dalle idee che ci si è fatti al di fuori di essa, negando ai contenuti scolastici ogni relazione con la vita quotidiana.

4) *Tenere in sospeso i dati anomali.* In questo caso i dati vengono ritenuti validi, ma non si riesce a farli quadrare con quello che si sa, né si è disposti ad abbandonare le proprie concezioni o teorie, delle quali si è convinti per varie ragioni. Si mettono allora i dati, per così dire, tra parentesi, in attesa che il futuro sviluppo delle teorie o concezioni a cui si aderisce, o l'acquisizione di nuovi dati, sanerà la contraddizione. Tra gli scienziati questo è avvenuto ad esempio con la scoperta dell'orbita di Mercurio, che pareva in contrasto con la meccanica newtoniana. I bambini (ma non solo essi) si comportano in questo modo quando qualcuno di cui si fidano (genitore, insegnante, sacerdote, persona colta, libro di testo o rivista che riporta più o meno fedelmente informazioni scientifiche) fornisce un'informazione che, mal inquadrandosi con quello che sanno, appare sbagliata, incredibile, o oscura. Proprio perché si fidano della fonte, i bambini memorizzano l'informazione come qualcosa di vero, in attesa di poterla integrare con altre e capirla meglio. Questo, ad esempio, potrebbe accadere ad un bambino o una bambina di 8 anni a cui venga insegnato che molte piante hanno un sesso. Prima di modificare le proprie idee sul sesso o sulle piante, i bambini potrebbero limitarsi a memorizzare questa informazione, per capirne il significato qualche tempo dopo.

5) *Reinterpretare i dati discordanti in modo da renderli compatibili con la propria teoria o concezione.* Anche in questo caso la validità dei dati non viene messa in discussione. Tuttavia il loro significato viene modificato, rispetto a quello attribuito da chi li propone, o da quello inizialmente ad essi assegnato dal soggetto stesso, in modo da renderli compatibili con la propria teoria o concezione. Ad esempio, dei bambini di 6 anni, convinti che due pesi uguali posti sui due bracci della bilancia l'avrebbero fatta andare su e giù come un'altalena, una volta constatato che la bilancia rimaneva in equilibrio, hanno concluso che i pesi erano troppo leggeri per farla muovere.

6) *Cambiamenti periferici nella teoria.* In questo caso, oltre ad accettare la validità dei dati, si modificano le proprie concezioni o teorie, limitando però il cam-

biamento a dettagli marginali, come fanno i bambini convinti che la Terra sia piatta quando, sentendo dire che essa è rotonda, si rappresentano un disco anziché una sfera, o pensano che ci sia un'altra Terra sferica che nulla ha a che vedere con quella che conoscono.

7) *Cambiamento radicale nella teoria*. Sia gli scienziati che gli studenti possono cambiare in modo radicale teorie e concezioni. Alla fine, come sappiamo, ha vinto Galileo. E anche la teoria di Darwin ha scalzato la visione religiosa di un mondo creato poche migliaia di anni fa assieme agli esseri che lo popolano e che sarebbero da allora rimasti immutati. Come assicurarsi che questo cambiamento avvenga negli studenti quando il contrasto tra le loro e le teorie scientifiche è tale da richiederlo?

Il rispetto delle relazioni di propedeuticità tra nozioni introdotte a scuola è una condizione fondamentale. Essa è volta ad assicurare che gli studenti possiedano le teorie cornice, le conoscenze di sfondo e quelle disciplinari necessarie a comprendere e accettare le nuove informazioni. Gli esempi forniti nei paragrafi precedenti danno un'idea di come si possa fornirle o assicurarsi che esse siano già presenti. Per dare ai dati anomali maggiore credibilità e ostacolarne il rifiuto o la reinterpretazione, si può ricorrere a fonti particolarmente attendibili o fare in modo che i dati derivino da una sperimentazione o una ricerca personale. In questo modo vengono anche recuperate alcune indicazioni che discendono dall'approccio piagetiano. La revisione delle proprie credenze e la comprensione di contenuti complessi richiedono un notevole sforzo intellettuale, che deve essere sostenuto da una adeguata motivazione. Con questo si apre un nuovo capitolo, che non è possibile sviluppare in questa sede.

BIBLIOGRAFIA

- Aquino, C., Berti, A.E., Consolati, G. 1996. *La ristrutturazione della conoscenza in un sottodominio economico: la banca*. «Giornale Italiano di Psicologia», 23(3): 63-85.
- Berti, A.E. 1996. *Lo sviluppo delle concezioni politiche*. In V. Girotto e P. Legrenzi (a cura di). *Psicologia politica*. Milano: Raffaello Cortina.
- Berti, A.E., Andriolo, A. (in corso di pubblicazione). *Third graders' understanding of core political concepts (law, nation, state, government) before and after teaching*. «Genetic, Social, and General Psychology Monographs».
- Berti, A.E., Bombi, A.S. 1981. *Il mondo economico nel bambino*. Firenze: La Nuova Italia.
- Berti, A.E., Ferruta. 1999. *Il sistema economico: le concezioni dei bambini e le nozioni proposte dai programmi per la scuola elementare*. «Scuola e Città», 50 (7): 276-286.
- Berti, A.E., Monaci, M.G. 1998. *Third graders' acquisition of knowledge of banking: restructuring or accretion?* *British Journal of Educational Psychology*, 68: 357-371.



- Berti, A.E., Migliore, D. 1994. *La formazione nel bambino del dominio concettuale politico*. «Orientamenti Pedagogici», 41 (3): 379-396.
- Carey, S. 1985. *Conceptual change in childhood*. Cambridge Mass: MIT Press.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D., de Leeuw, N. 1994. *From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts*. «Learning and Instruction», 4: 27-43.
- Chinn, C.A., Brewer, W.F. 1993. *The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implication for science instruction*, «Review of Educational Research», 63: 1-49.
- Di Sessa, A. 1993. *Towards an epistemology of physics*. «Cognition and Instruction», 10 (2-3): 105-225.
- Gardner, H. 1993. *The unschooled mind. How children think and how schools should teach*; trad. it. *Educare al comprendere*. Milano: Feltrinelli.
- Gopnik, E., Meltzoff, A. 2000. *Words, thought, and theories*. Cambridge: MA. MIT Press (1997); trad. it. *Costruire il mondo. Una teoria dello sviluppo cognitivo*. Milano: McGraw-Hill.
- Grimellini Tomasini, N., Segrè, G. 1991. *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*. Firenze: La Nuova Italia.
- Harris, P.L. 1991. *Children and emotion. The development of psychological understanding*. Oxford: Basic Blackwell (1989); trad. it. *Il bambino e le emozioni*. Milano: Cortina.
- James, W. 1890. *Principles of Psychology*. New York: Holt & Co.
- Lakatos, I., Musgrave, A. 1976 (Eds.). *Criticism and the growth of knowledge, 3rd edition*, Cambridge: Cambridge University Press (1974); trad. it. *Critica e crescita della conoscenza*. Milano: Feltrinelli.
- Laudan, L. 1979. *Progress and its problems. Towards a theory of scientific growth* (1977); trad. it. *Il progresso scientifico. Prospettive per una teoria*. Roma: Armando.
- Mason, L. 2001. *Verità e certezze*. Roma: Carocci.
- Novak, J.D. 1977. *An alternative to the Piagetian psychology for science and mathematical education*. «Science Education», 61: 393-395.
- Piaget, J. 1952. *La psychologie de l'intelligence*. Paris: Colin (1947); trad. it. *La psicologia dell'intelligenza*. Firenze: Giunti-Barbera.
- Piaget, J. 1966. *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris: Alcan (1926); trad. it. *La rappresentazione del mondo nel bambino*. Torino: Boringhieri.
- Piaget, J., Inhelder, B. 1971. *Le développement des quantités physique chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé (1941); trad. it. *Lo sviluppo delle quantità fisiche nel bambino. Conservazione e atomismo*. Firenze: La Nuova Italia.
- Pintrich, P.R. 1999. *Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change*. In W. Schnotz, S. Vosniadou, M. Carretero (a cura di). *New perspectives on conceptual change*. Amsterdam: Pergamon.
- Schwebel, M., Raph, J. 1977. *Piaget in the classroom*. New York: Basic Book (1973); trad. it. *Piaget in classe*. Torino: Loescher.

- Spada, H. 1994. *Commentary. Conceptual Change or multiple representations?* «Learning and Instruction», 4: 113-116.
- Strike, K.S., Posner, G.J. 1985. *A conceptual change view of learning and understanding*. In L.H.T. West, A. Leon Pines (a cura di). *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press.
- Varda Bar. 1989, *Children's view about the water cycle*. «Science Education», 73 (4): 481-500.
- Vosniadou, S. 1991. *Designing curricula for conceptual restructuring: Lesson from the study of knowledge acquisition in astronomy*. «Journal of Curriculum Studies», 23: 219-237.
- Vosniadou, S. 1994. *Capturing and modeling the process of conceptual change*. «Learning and Instruction», 4: 45-69.
- Wellman, H.M., Gelman, S. 1998. *Knowledge acquisition in foundational domains*. In D. Kuhn, R.S. Siegler, (Eds.) *Handbook of child psychology, Vol. 2: Cognition, perception, and language* (523-473). New York: Wiley.