

L'apprendimento¹

Il problema centrale nell'insegnamento di qualsiasi disciplina è quello dell'apprendimento, entità non facilmente definibile né misurabile. Chiunque si accinga a svolgere un corso è tenuto a precisare il modello di apprendimento che utilizza nell'impostazione di una metodologia didattica. Le differenze applicative nell'insegnamento fra diversi modelli e, spesso, anche all'interno di uno stesso modello di base sono molto rilevanti e possono avere pesanti riflessi sulla cultura di intere generazioni. Per questo è importante ripercorrere rapidamente la storia di come la didattica delle scienze e della Fisica in particolare è stata concepita negli ultimi 200 anni. A partire dalla fine del Settecento nei Paesi anglosassoni si affermava l'**empirismo**, movimento di pensiero fondato sull'analisi concreta della realtà e sul profondo convincimento del valore assoluto della Scienza. Queste idee positiviste furono alla base delle rivoluzioni industriali, profondamente legate allo sviluppo delle Scienze e della Tecnologia. Non suscita alcuna meraviglia il fatto che l'idea positivista abbia influenzato e continui ad influenzare il modo in cui l'educazione scientifica viene concepita. Tuttavia, se il positivismo ha assolto in modo egregio il compito dello sviluppo tecnico-scientifico del mondo industrializzato e dei Paesi produttori, dal punto di vista della cultura di massa ha invece prodotto l'inevitabile distacco del cittadino medio dalla Scienza e dalla Tecnica, i cui frutti vengono utilizzati e consumati nella vita quotidiana senza alcuna partecipazione conoscitiva. Si è creato un distacco crescente fra gli specialisti e i fruitori che, almeno negli Stati Uniti, ha ricevuto notevoli attenzioni da parte dei governi senza risultati apprezzabili nei tentativi di contrastarlo. Vedremo più avanti i motivi alla base di un simile fallimento.

La figura dominante sulla scena pedagogica degli anni '40 e successivi è Dewey, la cui opera di grande profondità ed impatto è legata allo sviluppo del **modello comportamentista dell'apprendimento**.

Rifacendosi alle ragioni fondanti dell'empirismo e quindi dando preminente importanza alla Scienza ed al suo sviluppo, Dewey imposta il problema educativo sull'associazione del metodo scientifico (applicato poi con una rigidità che andava ben al di là delle intenzioni dello stesso Dewey) con elementi di comunicazione e condivisione sociale del razionalismo critico sviluppato nella Scienza. Questo schema, che conteneva alcuni elementi di apertura verso un discorso culturale più ampio di quello consentito dal positivismo radicale, venne adottato nelle scuole americane (ed anche in molte nazioni europee) fino agli anni sessanta.

Successivamente, ebbe grande successo presso gli educatori statunitensi lo **strutturalismo** di Bruner, eminente studioso di problemi cognitivi e critico delle teorie di Piaget sul-

¹ Tratto da:

La Fisica nella Scuola, XXXVI, 2 Supplemento 2003 – XL Congresso Nazionale AIF, Senigallia, 2001 pp. 10-29

la struttura dell'intelligenza. Lo strutturalismo rivendica ad ogni disciplina una struttura ben definita che la distingue dalle altre, sia sotto il profilo delle chiavi di lettura utilizzate che dal punto di vista cognitivo. Di qui la necessità di tenerle separate esaltandone il valore individuale e di compiutezza formale. Questa teoria, più tardi ridimensionata dallo stesso suo autore, ebbe effetti disastrosi (e continua ad averne) sulla scuola occidentale nel suo complesso. Molti dei nostri insegnanti (a partire dalla scuola media, ma spesso anche alle elementari) sono strutturalisti e i nostri programmi scolastici sono intrisi di disciplinarietà e tecnicismo. Per non parlare dei libri di testo, la cui ansia disciplinare non corrisponde ad altrettanta qualità dei contenuti, spesso acritici e scontati.

Sulla base strutturalista la scuola USA (e non solo) affinava gli strumenti di valutazione dell'efficienza dell'insegnamento basandosi sull'apprendimento strutturato e nozionistico delle discipline.

Tra questi ha preso il sopravvento il test vero/falso che viene ancora adoperato in alcuni Stati per decidere se rinnovare o meno l'incarico d'insegnamento ad un docente. I suoi allievi vengono sottoposti ai test e, se l'esito medio è insoddisfacente, l'insegnante viene licenziato. Si può facilmente immaginare in cosa consista il lavoro di un insegnante in questa situazione: egli addestra i propri allievi a rispondere ai test facendo appello alla loro memoria e mortificando ogni forma di ragionamento critico. La cosa più sconvolgente è che molto spesso i test di apprendimento contengono risposte sostanzialmente errate in corrispondenza del "vero", e sono quantomeno imprecise nel linguaggio e ambigue nell'interpretazione (per chi usa il ragionamento e non la memoria).

L'esagerata importanza data al valore strutturale delle discipline conduce ad una diffusa convinzione fra gli insegnanti di tutti i livelli che **"qualsiasi argomento può essere spiegato usando le parole e le strategie opportune"**. Questo convincimento ha dato luogo alla produzione di un numero sterminato di testi disciplinari sempre più sofisticati, illustrati con figure a colori e/o con dischetti per computer, attrezzature multimediali, ecc., ma anche a libri esageratamente amichevoli verso il lettore nel tentativo di rendere semplici e comprensibili argomenti spesso non capiti dagli autori stessi, la cosiddetta "divulgazione". Ad onta di ciò, le opzioni per le materie scientifiche sono sempre più diminuite nel tempo ed il distacco fra il cittadino medio e la cultura scientifica si è allargato.

Contemporaneamente a Dewey e Bruner, si sviluppava il **cognitivismo** di Piaget che viene spesso presentato come una teoria pedagogica.

In effetti è esistita una scuola di educatori che si rifacevano alle geniali teorie elaborate da Piaget sulla struttura dell'intelligenza, ma Piaget stesso è molto lontano dal problema educativo. Infatti, egli usava le interviste con i bambini con l'unico scopo di provare la propria teoria dei livelli cognitivi: un bambino, una volta sottoposto all'intervista, era considerato "rovinato" ai fini di investigazioni successive.

Un educatore, invece, interviene sul bambino più volte con l'intento di modificarne l'apprendimento in qualche modo (che vedremo in maggior dettaglio più avanti). La cosa curiosa è che il metodo dell'intervista assegna a Piaget il marchio di "costruttivista". Tale metodo, centrato sul colloquio fra adulto e bambino con notevole spostamento dell'attenzione sul bambino, è uno dei cardini del costruttivismo. Come si è

detto, Bruner si rapportava criticamente a Piaget sul piano cognitivo. Il doppio filone, cognitivo e pedagogico si ritrova in molti studiosi dell'apprendimento: tra questi giganteggia la figura del russo Vigotsky che, negli anni '30, sulla base di esperienze concrete d'insegnamento anche con ragazzi emarginati, elaborò una teoria di **"sviluppo dell'area potenziale"** in contrasto col modello piagetiano. Il suo modello di apprendimento include una visione multipolare della conoscenza umana che integra gli aspetti razionali (privilegiati in modo esclusivo da Piaget) con altri non meno importanti come **la creatività, la fantasia, il gusto estetico, la socialità e gli affetti**.

Vigotsky, poco noto in vita nel suo stesso Paese dove le teorie da lui elaborate erano a quel tempo considerate eretiche, è stato riscoperto negli anni '70 anche in Occidente e può considerarsi il vero antesignano del moderno costruttivismo, la nuova metodologia avanzante nella scuola a livello mondiale e, con esso, della teoria delle intelligenze multiple di Gardner.

Il costruttivismo

Per chiarire le idee, è opportuno rilevare che esistono tanti tipi di costruttivismo anche molto differenti fra loro e che genericamente affondano le radici nelle scuole attive nate un secolo fa.

Tutti i costruttivisti concordano sull'asserto di base che **"la conoscenza è il risultato di una costruzione individuale"**, ma esistono forti differenziazioni riguardo al problema della "trasmissione" della cultura, alle sue modalità ed agli obiettivi.

Sia pure con notevoli variegature, tutti i costruttivisti riconoscono l'importanza della **riflessione epistemologica** (ricostruzione del modo di pensare con discussione e confronto fra i diversi modi) ai fini della costruzione della conoscenza.

Tutti, in maggior o minor misura, riconoscono che gli individui sono portatori di **concezioni spontanee** e che queste costituiscono la conoscenza di base sulla quale costruire l'apprendimento. Il pensiero spontaneo viene quindi rivalutato.

Le differenze fra i diversi approcci sorgono soprattutto a livello applicativo di questo concetto ampiamente condiviso, specie quando esso viene ad interagire con le discipline strutturate, in particolare con le Scienze. E quando ricompare la sostanziale ambiguità della parola "apprendimento".

È oggi in gran voga la teoria del **"cambiamento concettuale"**, secondo la quale attraverso il lavoro di riflessione e l'esercizio costruttivista nel concreto, le **concezioni spontanee originali vengono progressivamente modificate e portate sempre più vicine agli schemi scientifici più accreditati**.

Numerosi anni di analisi di esperienze tese al cambiamento concettuale e miseramente fallite, hanno spinto me ed il mio gruppo ad elaborare una teoria originale nella quale **l'apprendimento è un processo di affiancamento e addizione di nuovi concetti a quelli esistenti senza che questi ultimi vengano modificati** (né esiste la possibilità di modificarli).

Le differenze fra queste due posizioni sono sul piano pratico molto rilevanti: chi crede nel cambiamento concettuale è portato a riaccreditare la Scienza come corpo di conoscenze privilegiate che dovrebbero prevalere sulle altre. Più o meno volonta-

riamente viene esercitato un plagio in tal senso sugli allievi: in molti costruttivisti statunitensi si avverte la preoccupazione di dimostrare che col nuovo metodo si apprendono le scienze in modo altrettanto efficiente che col metodo tradizionale inducendo l'idea che gli studenti alla fine sapranno compilare in modo giusto i test vero/falso.

Ma esistono molte sfumature: anche dove la preoccupazione dei test non esiste, permane il rispetto per la scienza consolidata e per il valore assoluto delle sue strategie come unico schema concettuale cui riferirsi ed al quale tendere. Sia pure in modo più blando, ricompaiono le stesse contraddizioni dei metodi di "scoperta guidata" inventati nel mondo anglosassone negli anni '50 per favorire l'avvento delle conoscenze scientifiche in modo attivo.

Esiste anche un **approccio radicale al costruttivismo** che tende a ridurre al minimo (e forse annullare) l'intervento esterno sui processi individuali di apprendimento. I costruttivisti radicali **reclamano l'indipendenza del pensiero individuale e del suo sviluppo da qualsiasi schema precostituito** e, in sostanza, **rifutano il valore delle scienze come riferimenti concettuali dominanti** ai fini dell'apprendimento.

Compiti ed utilità di un insegnante in questo processo di sviluppo spontaneo risultano poco definiti, essendo messo in particolare rilievo l'aspetto negativo del plagio esterno sugli allievi, elemento sicuramente importante negli insuccessi scolastici. A mio avviso, invece, occorre dare maggior dignità alla professione dell'insegnante rendendolo protagonista dello sviluppo del pensiero creativo insieme ai suoi allievi, la cui capacità spontanea di produrre idee non deve essere mortificata. Certo, si è portati a ritenere che sia meglio "nessuna scuola" che una cattiva scuola, ed è molto facile fare cattiva scuola con le migliori intenzioni del mondo.

Ma "nessuna scuola" implica, nel migliore dei casi, l'autodidattica con tutti i difetti culturali che comporta. Nel peggiore dei casi, la totale assenza di cultura (come del resto riesce spesso a fare la scuola).

Anche dopo l'avvento del costruttivismo, l'educazione scientifica negli USA non sembra essere migliorata, ma il problema va visto anche in funzione dei modi utilizzati per applicare le idee costruttiviste ed, in sostanza, sulle profonde convinzioni degli insegnanti che hanno tentato di applicarle. Queste convinzioni sembrano pesare soprattutto sul modo in cui viene concepito l'insegnamento della matematica, vero elemento discriminante fra chi è "portato per gli studi scientifici" e chi non è "portato". È indubbio che una valutazione di questo tipo passa ancora oggi attraverso schemi di lettura delle conoscenze acquisite ignorando le capacità individuali di produrre idee nuove appoggiandosi all'intuizione ed alla creatività più che alla memoria e alla ripetitività.

Lo stesso discorso vale naturalmente per la Fisica, troppo spesso vista come summa di idee standardizzate da consumarsi secondo canoni abbastanza rigidi senza ricorrere a strategie personali di lettura del mondo.

Il problema della coerenza. Le concezioni spontanee e il linguaggio

Un elemento su cui è opportuno meditare è la coerenza. Nella cultura scientifica la coerenza viene considerata un elemento irrinunciabile. Ma è vero e utile?

Sulla più o meno avvertita necessità di coerenza nello sviluppo delle idee esiste un accordo di fondo fra tutti.

Il ragionamento dell'uomo tende alla coerenza in modo del tutto generico creando l'illusione che l'attività del cervello sia completamente razionale. Ma non è così: **l'uomo è in realtà una mistura inestricabile di razionalismo ed irrazionalismo**. Per convincersene basta riflettere sul fatto che il principale modo utilizzato per costruire nuove conoscenze in campo scientifico è l'intuizione, facoltà squisitamente irrazionale. La successiva ricostruzione analitica alla ricerca della coerenza fra la nuova conoscenza e le precedenti appartiene invece alla logica e si appoggia a "certezze" o, quantomeno, a "canoni" o "leggi" assunte momentaneamente come "giuste".

Ma, come si è detto, la scelta irrazionale predomina nell'avanzamento delle conoscenze verso nuovi orizzonti. **La scienza stessa non è strettamente coerente** al suo interno, in quanto, come minimo, si appoggia ad un principio base assunto per fede (principio di Gödel).

La ricerca della coerenza può essere spinta a diversi livelli.

Sul piano cognitivo, pretendere una coerenza assoluta porta alla ricerca della distruzione delle concezioni spontanee degli individui considerate "errate" rispetto ai "canoni ufficiali". Molti studiosi hanno tuttavia dimostrato la sostanziale indistruttibilità delle concezioni spontanee, per cui l'esito di una simile opera di distruzione sarà sicuramente l'insuccesso. Di qui dunque la necessità di rinunciare alla coerenza a tutti i costi, anche nell'educazione scientifica.

Occorre una posizione più blanda e più vicina alle constatazioni effettuate da un grande numero di insegnanti (e raramente riconosciute nei documenti ufficiali per una sorta di ritegno sociale) circa la sostanziale resistenza degli individui all'indottrinamento.

Come detto, almeno a parole, sono sempre più numerosi i fautori dell'accettazione delle concezioni spontanee che non vengono più combattute frontalmente ma aggirate. Molti pensano in tal modo di relegarle nelle soffitte della mente e di sostituirle con altre concezioni costruite razionalmente o, addirittura, di modificarle con un lento lavoro metodologico.

Secondo il nostro modello di apprendimento, **le concezioni spontanee sono utili come punto di partenza per lo sviluppo di nuove conoscenze che vengono aggiunte ed affiancate alle precedenti. E che fra nuove e vecchie strutture non vi sia coerenza importa poco, anzi, sembra quasi che giovi all'uomo una buona dose d'incoerenza**. Ricordo di aver sostenuto questa tesi nel Congresso AIF di Pisa diversi anni fa e che le mie affermazioni furono contestate da un eminente Collega con le parole: "Non si possono accettare come giuste le idee sbagliate!". Il problema sta qui, nei concetti di "giusto" e di "sbagliato".

Innanzitutto, è opportuno rilevare che spesso le affermazioni fatte dagli individui a proposito di fenomeni osservati dipendono in modo cruciale dal **linguaggio e dal signi-**

ficato delle parole adoperate e non condivise. La maggior parte del lavoro di un insegnante costruttivista è infatti dedicato alla **costruzione di un linguaggio comprensibile e condiviso**.

A1 di là di banali confusioni di linguaggio, su numerosi fatti sperimentalmente verificabili le concezioni spontanee diffuse sono difformi da quelle accreditate scientificamente. È vero che si può dimostrare che conducono ad ipotesi non verificabili, tuttavia, i portatori di queste concezioni si appoggiano ad esse per vivere e non sono per nulla disposti a modificarle anche di fronte ad una dimostrazione che le contrasta. Sono sbagliate? A che scopo combatterle? Molto meglio accettarle e usarle per aggiungerne altre costruite in modo consapevole.

Io stesso, pur insegnando fisica da moltissimi anni, conservo le mie concezioni spontanee e le uso: dipende dal contesto. Per esempio, moltissime persone, me compreso, associano spontaneamente un'idea di forza alla velocità: da un'analisi dei motivi per cui ciò accade, emergono numerosi esempi della vita quotidiana nei quali in effetti alla velocità è legittimo assegnare il significato di forza. Al mare, quando le onde si infrangono alte sulla spiaggia, se un bagnante si oppone col corpo al movimento di un'onda, percepisce una notevole forza che lo spinge nella stessa direzione della velocità. Lo stesso accade ogni volta che in qualche modo ci si oppone al movimento di un qualsiasi oggetto cercando di contrastarne la velocità. In altre parole, si percepisce l'effetto della velocità nel momento in cui si cerca di ridurla: l'associazione con la forza ha dunque una sua motivazione pratica in quanto suggerisce di evitare il contrasto frontale con qualsiasi oggetto dotato di velocità.

Dal punto di vista della Fisica, invece, alla velocità non si può associare una forza, che viene invece associata ad una variazione della velocità, cioè ad un'accelerazione (positiva o negativa). Quindi si può pensare che il contrasto fra le concezioni spontanee ed i concetti di fisica verrebbe a cadere se si usasse il linguaggio adeguato e, di fatto, si segnerebbe la fine delle concezioni spontanee.

Ma, come detto prima, la visione di una forza associata alla velocità va oltre l'ambiguità del linguaggio. Costituisce per molti individui il punto di vista naturale che è opportuno accettare ed utilizzare anche se in contrasto con la rigida visione disciplinare "giusta" (che necessita maturità ed esperienze per essere accettata come ipotesi di lavoro e non come verità assoluta).

La ricerca della coerenza a tutti i costi, sempre ed in ogni momento, finirebbe col dare al punto di vista disciplinare un'indebita preminenza (ed inutile nella maggior parte dei casi). **Teniamoci dunque le nostre concezioni spontanee e cerchiamo di costruirne altre**, magari in contrasto tra loro e con le precedenti e permettiamoci di usarle nei loro contesti naturali.

Il nostro lavoro sarà invece teso alla costruzione di un linguaggio adeguato al contesto in cui si opera e che serva per comunicare agli altri la ricchezza delle nostre concezioni e delle nostre idee in modo da confrontarle con quelle degli altri alla **ricerca di coerenze "locali"**, la cui validità ed i cui limiti siano compresi e costruiti **in modo consapevole**.

Il confine fra concezioni profondamente spontanee e apparenti discrepanze d'opinione dovute al linguaggio può essere indefinito ed incerto: di qui l'illusione di riuscire a produrre cambiamenti concettuali operando sul linguaggio e, soprattutto, facendo prevalere

le forme più raffinate ed accreditate di linguaggio come quelle sviluppate all'interno delle discipline.

Ma sappiamo che l'esito di questa operazione è fallimentare.

Molto meglio **imparare ad ascoltare** ciò che dicono gli allievi, stimolarli al colloquio, al confronto ed al chiarimento delle idee invece che tentare inutilmente di imbonirli con le "nozioni giuste".

Ciò richiede strategie che richiedono in primo luogo apertura e **disponibilità al colloquio** da parte dell'insegnante, la cui figura non dovrebbe essere "aliena" rispetto ai bisogni degli allievi.

L'alienità di un insegnante può apparentemente ridursi, ma non può essere rimossa con la confidenza e l'atteggiamento amichevole. Si richiedono scelte ben più profonde che riguardano la sfera cognitiva oltre a quella sociale ed affettiva.

Occorrono anche conoscenze cui fare riferimento, pur essendo sempre pronti a rinunciare.

Occorre soprattutto una **chiara metodologia di approccio alle conoscenze che tolga al maestro il ruolo di comunicatore di verità rivelate.**

Nel caso delle discipline scientifiche, come si è detto, il punto di partenza non dovrebbe essere basato sulla trasmissione di un linguaggio raffinato e di principi presentati come veri, ma l'instaurazione di un rapporto cognitivo ben diverso fra l'insegnante ed i suoi allievi, cioè l'uso di alcuni elementi di una metodologia scientifica applicata alla costruzione di conoscenze, mantenendo la coscienza dei limiti di questo processo.

La ricerca delle cause che provocano effetti

Per superare il problema filosofico dell'ontologia, cioè della reale esistenza di ciò che cade sotto i nostri sensi, ci si riferisce all'idea di realtà che, a mio avviso, è condivisa nella sua essenza da tutti a livello istintivo: **ciò che viene percepito dai nostri sensi esiste ed è importante per la nostra sopravvivenza.** Certamente l'Uomo adotta inconsapevolmente questo modello quando agisce per difendere e migliorare la propria esistenza, l'autentico supporto reale su cui costruisce la conoscenza.

Elemento fondamentale della realtà così concepita è **il principio di causa-effetto** che viene adoperato dalla mente umana come criterio di giudizio ed azione sui fatti che entrano nella sua sfera di conoscenze.

Come accennato in precedenza, la ricerca delle cause che danno luogo ad un fatto può avvenire in contesti differenti con risultati del tutto differenti senza che ciò provochi crisi di coerenza.

L'assunzione del principio di causa-effetto non implica l'assunzione di logicità della relazione né la sua coerenza con altre relazioni. D'altro canto, la scienza si è sviluppata intorno a **tentativi di modellizzare ciò che accade** in modo il più coerente e completo possibile.

Questa metodologia costituisce un pezzo importante della **conoscenza di specie** anche se non se ne deve accettare la presunzione di essere totalizzante, cioè di essere

capace di spiegare tutto in modo non contraddittorio. Perciò, se non è nemmeno lecito pretendere di sviluppare conoscenze del tutto coerenti, all'interno di un certo problema è opportuno perseguire una coerenza da definirsi attraverso un linguaggio condiviso e scelte ben chiarite.

Alla base di un processo di apprendimento scientifico sta un modello mentale di ciò che accade.

La semplice osservazione di un fenomeno non è neutrale, poiché richiede la scelta di una **chiave di lettura** del fenomeno. Per convincersene basta chiedere ad un gruppo di adulti o bambini di descrivere le loro osservazioni durante una passeggiata senza influenzarli in alcun modo riguardo ai fatti da osservare. Le descrizioni, purché effettuate per iscritto ed in modo indipendente, sono molto diverse fra loro.

A parità di stimoli, i risultati sono differenti a causa delle diverse chiavi di lettura adottate dagli individui che formano il gruppo. Ma se il conduttore del gruppo chiede di concentrare l'attenzione su un determinato fenomeno o fornisce comunque una chiave di lettura, le osservazioni potranno differire fra loro, ma presenteranno molti elementi comuni in più rispetto al caso precedente.

Fornire una chiave di lettura iniziale implica quindi la scelta di un modello: niente di male se questo compito viene affidato all'insegnante che produce nel gruppo determinati stimoli che egli giudica importanti. Non va bene invece, per quanto si è detto, se il modello usato è troppo stringente e contiene elementi tesi alla chiusura verso obiettivi troppo precisamente determinati.

Il modello osservativo dovrebbe soltanto servire a stimolare un gruppo a **cercare in un fenomeno le variabili che agiscono causando gli effetti osservati.**

Un elemento importante per catturare l'attenzione e la partecipazione degli allievi è il **gioco.**

Molti giochi potrebbero avere solo lo scopo di esaminare da vicino fenomeni che accadono nella vita quotidiana. Da essi si potrebbe partire per sviluppare attività di laboratorio tese a rappresentare con modelli le caratteristiche salienti dell'osservato. Per esempio, in giardino, cercare le condizioni in cui un getto d'acqua produce l'arcobaleno e poi riuscire ad ottenere lo stesso effetto in classe senza utilizzare un getto d'acqua, ma con una sola goccia, analizzare le immagini che si formano in uno specchio piano o in più specchi piani orientati fra loro, cosa succede guardando attraverso una lente, ecc.

Questi ed altri giochi impegnativi potranno essere proposti dall'insegnante per stimolare la discussione su un argomento che egli ritiene importante per lo sviluppo dell'apprendimento. A tale scopo egli preparerà i materiali di partenza. Ad esempio, come scenario iniziale un insegnante potrebbe far rotolare un barattolo sul pavimento, proponendo un gioco basato sulla capacità di far giungere il barattolo in una certa casella ad una certa distanza. Dopo diversi tentativi e diverse abilità dimostrate dai bambini, l'insegnante può chiedere di descrivere il fenomeno e di cercare le variabili che producono il rotolamento per esempio con lo scopo di controllare meglio il gioco e rendere l'esito (per quanto possibile) indipendente dal lanciatore.

La richiesta, così formulata, implica un lavoro notevole da parte degli allievi. Le descrizioni saranno approssimate, conterranno parole il cui significato non sarà chiaro ai più, si riferiranno inevitabilmente ad elementi animistici (come il braccio di chi lancia il barattolo), saranno insomma molto lontane da un processo di generalizzazione del fenomeno osservato, obiettivo ultimo del lavoro educativo che ci si accinge a fare.

Si tratterà di cercare condizioni che producano il rotolamento in modo controllabile e riproducibile, quindi sostituire al lanciatore umano qualche dispositivo di lancio adatto allo scopo.

Si dovranno ideare dispositivi che permettano la misura delle posizioni del barattolo nel tempo (ecco due delle variabili in gioco: posizione nello spazio e tempo).

In breve, attraverso le discussioni e le ipotesi su ciò che accade o si presuppone possa accadere cambiando questo o quello, il rotolamento del barattolo diventerà un problema di ricerca.

Se si vuole che il lavoro abbia successo (cioè generi apprendimento), deve però verificarsi una condizione essenziale: che il problema susciti interesse e che l'interesse cresca con la discussione. Senza interesse non esiste motivazione e **senza motivazione ogni lavoro è inutile**. Per questo, l'insegnante dovrà astenersi dalla pretesa di completare a tutti i costi una ricerca in tutti i suoi risvolti quando si accorgerà che il problema ha perso interesse per gli allievi. Occorre ricordare che "un bel gioco dura poco".

Una motivazione importante nel lavoro scientifico è la **scoperta**. È opportuno stabilire cosa significhi "scoperta" per un individuo qualsiasi che sta studiando un qualsiasi fenomeno che la scienza pretende di aver spiegato fino in fondo. **L'elemento di scoperta esiste ogni volta che il nostro cervello apprende qualche cosa attraverso un'attività costruttrice individuale.**

Per esempio, la ricezione di un'informazione e la sua memorizzazione possono difficilmente contenere elementi di scoperta. Il ricevente sarà in grado di ripetere ad altri la stessa informazione più o meno distorta, ma la sua attività costruttrice di idee sarà rimasta inattiva. Nessuna scoperta, quindi.

Diverso è il caso in cui il soggetto va alla ricerca di un'informazione che gli serva per confermare o scartare una certa ipotesi che ha in testa. Il ritrovamento di un dato o della descrizione di un fatto può diventare scoperta.

Elementi di scoperta sono contenuti nel linguaggio, nell'imparare a scrivere e leggere. Miliardi di persone hanno fatto questa esperienza: tutti hanno scoperto più o meno consapevolmente i segreti più elementari del linguaggio.

Nessuno ha fatto però analizzare ai soggetti e rilevare l'importanza di queste scoperte. Imparare a leggere e scrivere viene considerato come un aspetto quasi naturale dell'Uomo e l'incapacità a scoprirli viene considerata con fastidio ed intolleranza. Metterne invece in evidenza gli elementi di scoperta (ed il modo di imparare è diverso da un individuo all'altro) favorisce l'interesse del soggetto e le sue motivazioni anche future

a continuare a coltivare il linguaggio come un bene prezioso invece che come una tortura alla quale è stato sottoposto nell'infanzia.

Ogni atto di apprendimento dovrebbe quindi ricevere attenzione ed essere stimolato attraverso una ricerca sempre nuova che coinvolga l'insegnante in un'attività tutt'altro che meccanica.

La **ricerca della scoperta** avviene in tre fasi spesso indistinguibili ed inseparabili: **pensiero, azione e riflessione**.

Ogni azione ha dietro di sé un progetto (spesso inconsapevole) elaborato dalla mente. Il compito di un insegnante costruttivista consiste nel **rendere consapevole il pensiero che sta dietro ad ogni azione**. Perciò è necessario associare alle azioni ed ai pensieri anche la riflessione. Tutto questo viene mediato dal linguaggio che viene sviluppato e chiarito nella pratica della riflessione.

L'azione può consistere in attività pratiche, come la costruzione o il reperimento di strumenti o la misura di variabili, ma anche in attività teoriche come l'elaborazione di dati raccolti nelle misure, la ricerca di relazioni matematiche fra le variabili o la stesura di relazioni nelle quali vengano descritte le idee e le esperienze. Ognuna di queste azioni richiede al contempo l'uso del pensiero e della riflessione in misure diverse. L'atto della scoperta è il risultato ultimo della riflessione che però (di solito) trova supporto in qualche azione o pensiero o riflessione precedenti.

Nel nostro modello di conoscenza, **la scoperta coincide quindi con l'apprendimento che consiste nell'affiancamento alle concezioni esistenti di nuove concezioni elaborate attraverso un complesso processo fatto di pensieri, azioni e riflessioni**. Questo affiancamento (o addizione) non può essere meccanico come quello preteso da chi "trasmette" cultura in modo sostanzialmente acritico (anche quando una disciplina viene presentata criticamente con criteri di linguaggio interni). Duecento anni di pratica scolastica fallimentare ne sono la prova.

Il ruolo di un insegnante viene dunque ridisegnato in modo molto diverso da quello tradizionalmente accettato. Gli si chiede una capacità di ascolto associata ad una capacità di proporre e discutere problemi senza fare appello a false certezze.

Una metodologia scientifica basata sui processi di ricerca applicati all'analisi dell'apprendimento dei suoi allievi (considerando la classe come un fenomeno che necessita studio) può essere di grande aiuto nello sviluppo del lavoro.

Uno schema di analisi dei fenomeni come quello allegato in Appendice 1 (dedicata al problema della continuità educativa) può servire per mettere in evidenza le principali fasi di uno studio completo di un fenomeno quale si potrebbe condurre a livello adulto fino all'ultimo stadio, quello disciplinare. **Le fasi indicate** nella prima scheda sono tuttavia presenti in diversa misura ai vari livelli di età, ma **compaiono inestricabilmente mescolate fra loro**.

Per esempio, la chiave di lettura che si adotta all'inizio delle osservazioni costituisce un sia pur rozzo modello del fenomeno, che appartiene alle fasi successive, è dunque impossibile pretendere di applicare una stretta logica a questo processo di costruzione del sapere scientifico. Occorre invece stimolare gli allievi a ricercare le variabili efficaci che agiscono nel fenomeno. Tale ricerca, a mio avviso la più importante, implica l'elaborazione di

modelli, osservazioni, ipotesi, esperimenti mentali, ecc. in forma inconsapevole. Si tratta di far emergere le idee sottese alle parole espresse in relazione allo stimolo osservativo del fenomeno. Più che a risolvere problemi, occorre abituarli a ricercare e a definire i contorni dei problemi.

È quindi necessaria una pratica basata sulla riflessione.

Un simile approccio non può essere codificato in procedure e contrasta con i metodi tradizionali basati sull'uso di procedure ripetitive. La differenza fra i due approcci è evidente: le procedure tendono a generare un apprendimento meccanico di conoscenze già codificate tese a sostituire le concezioni ed i linguaggi spontanei. La metodologia costruttivista che proponiamo parte da questi elementi rivalutandoli per costruire nuova conoscenza attraverso processi di stimolo dell'attività individuale tesa alla scoperta.

Sappiamo tutti cosa vuol dire insegnare per procedure; meno facile è sapere cosa vuol dire insegnare per pratica riflessiva su problemi (che non va assolutamente confusa con il cosiddetto "problem solving" che ripropone i temi disciplinari in forma problematizzata sotto forma di esercizi).

Per capire cosa sia la pratica riflessiva occorre provare ad applicare i concetti qui esposti nella pratica quotidiana dell'insegnamento. Ciò può apparire difficile ed inefficiente, ma ben presto, dopo le prime paure e gli inevitabili insuccessi, se si ha la convinzione di ciò che si sta facendo (l'attuazione di un progetto) verranno le soddisfazioni, mai le certezze.

La principale abitudine dalla quale occorre liberarsi è quella di spiegare e padroneggiare tutto a tutti i costi e di dover dare la risposta "giusta" a domande spesso mal poste.

Se mai, argomenti dei quali si parla normalmente a scuola in forma conclusa come nozioni vanno presentati dall'insegnante in una forma ben diversa, come **ipotesi di lavoro** sulle quali **esercitare il senso critico** e da confrontare con altre ipotesi. L'esercizio della pratica riflessiva può porre spesso l'insegnante in situazioni che egli non è in grado di padroneggiare dato che il processo delle idee si sviluppa verso soluzioni nuove ed inattese. **La bellezza del lavoro costruttivista sta in queste situazioni creative destinate a generare nuove scoperte per tutti, insegnante incluso.** In Appendice 2 viene riportato un dialogo che esemplifica idealmente il rapporto fra insegnante ed allievo che studiano insieme le conseguenze di una preconcisione molto comune su forze e velocità.

La creatività è dunque un elemento importante da rivalutare e stimolare in questo gioco di idee ed azione.

Questo stato di cose è ben diverso da quello che si instaura in una classe tradizionale dove il protagonista principale è l'insegnante con le sue certezze e le sue procedure consolidate che egli riesce a padroneggiare in ogni momento e che gli permettono di spiegare qualsiasi cosa (arroganza della Scienza).

La valutazione

E veniamo alla valutazione dell'apprendimento. Occorre introdurre un criterio di giudizio ben diverso da quello che richiede risposte precise a domande preconfezionate.

A nostro avviso la base di un simile criterio è l'esame della **capacità di operare dell'allievo di fronte ad un problema nuovo** (e per l'insegnante di fronte ad una situazione inaspettata).

Per dare risposte precise e rapide esistono i computer, che invece sono totalmente privi di autonomia operativa. **Lo sforzo educativo ed il giudizio dovrebbero dunque riferirsi all'autonomia e non alla ripetizione acritica di nozioni.**

Ciò può esser fatto proponendo agli allievi l'analisi di un fenomeno o di un insieme di fenomeni che contengano elementi di novità rispetto alle situazioni esaminate durante il lavoro scolastico. Una classe di allievi cresciuti in ambito costruttivista partecipa alle discussioni con molta più disinvoltura ed autonomia di una classe cresciuta in ambiente tradizionale. Questi ultimi cercano sempre di ricondurre i problemi a procedure scolastiche e dimostrano una minore capacità di analisi di fatti non precedentemente studiati.

La dinamica costruttivista non ha tuttavia la pretesa di trasformare in geni bambini dotati di un'intelligenza normale, semplicemente cerca di renderli autonomi nella costruzione di nuove conoscenze, facoltà essenziale nell'attuale dinamica sociale e produttiva che richiede frequenti riconversioni delle professionalità.

Siamo in possesso di numerosi esempi di come si possa avviare una valutazione delle abilità possedute dagli allievi in presenza di situazioni nuove. Non vi è dubbio che questa valutazione abbia elementi di soggettività molto più evidenti che nel caso dei cosiddetti "test oggettivi". Ma è facile dimostrare che qualsiasi valutazione contiene elementi di soggettività (il modello che ha in testa l'estensore dei test, per esempio). L'unico elemento a favore delle prove "oggettive" è la comodità di chi le usa (senza preoccuparsi di chi le subisce). Ma la scuola deve servire a rendere comoda la vita di chi giudica o a formare la mente dei giovani?

Il laboratorio di classe

Le scuole dotate di un laboratorio scientifico sono rare: è invece abbastanza diffusa la tendenza a realizzare piccoli laboratori di classe utilizzando materiali poveri. In ogni caso, la pratica costruttivista ha bisogno di essere supportata da materiali per il laboratorio. Infatti l'attività sperimentale è parte essenziale del processo di apprendimento formale e non formale basati sull'analisi del reale.

Cosa dovrebbe contenere un laboratorio di classe costruttivista?

Dare una lista precisa e completa è impossibile perché il procedimento di ogni insegnante e della sua classe avranno elementi personali imprevedibili e non generalizzabili a priori.

La programmazione del lavoro costruttivista è necessariamente flessibile nei contenuti, essendo il metodo la base su cui fondare gli obiettivi dell'insegnamento.

Tuttavia, il lavoro costruttivista (lo dice la parola stessa) fa scarso uso di materiali strutturati (come quelli illustrati in diversi sussidiari e dedicati alle "dimostrazioni" scientifiche). È invece frequente l'uso di materiali che si prestino alla realizzazione di semplici dispositivi per realizzare condizioni sperimentali adatte (come ad esempio tavole e listelli di legno per far rotolare un barattolo in modo controllato). Saranno di grande utilità supporti con pinze e snodi come quelli usati nei laboratori di chimica, spaghi, fili metallici e non, bacchette in ferro, recipienti di plastica e/o vetro, ecc.

Inoltre, in un laboratorio costruttivista troveranno posto gli strumenti di misura, anche tecnologicamente avanzati, che potranno risultare utili nelle fasi più evolute del metodo (o, a volte, anche nelle fasi iniziali come parte dello scenario preparato dall'insegnante per stimolare partecipazione ed interesse).

Tuttavia, la pratica indica che in diverse situazioni fa parte del lavoro educativo progettare, costruire e assemblare gli strumenti necessari, parti dei quali potranno derivare da strumenti in dotazione.

Gli strumenti ed accessori più comuni sono:

- La bilancia.

Esistono bilance ad alta e bassa portata, cui corrispondono rispettivamente bassa ed alta sensibilità. Disponendo di una bilancia ad alta portata, si può aggirare l'ostacolo della scarsa sensibilità suggerendo tecniche costruttiviste che implicano la realizzazione di bilanci leggeri e sensibilissimi con materiali comuni, come carta, cartoncino, plastica, legno, ecc. I pesi per effettuare le misure possono essere ricavati da fogli di carta ritagliati secondo aree precisamente note e pesando un'intera risma sulla bilancia ad alta portata.

Possono essere utili bilance pesapersona per esperimenti sul peso sotto sforzo.

- Dinamometri a molla per misurare forze orizzontali e verticali.
- Termometri.
- Fornelli elettrici di sicurezza (meglio evitare i fornelli ad alcol o a gas).
- Tester elettrico.
- Pile, lampadine, fili, interruttori, ecc.
- Lenti di varie misure, forme e distanze focali.
- Microscopio.
- Magnetici di varia forma.
- Videocamera con registratore e televisore.
- Registratore di voce e suoni.

Un discorso a parte merita il computer. Nelle scuole elementari può essere utilizzato come editore di testi e per facilitare la capacità di leggere e scrivere (mai in sostituzione della scrittura libera dei bambini che va invece incoraggiata anche se in forma non elegante). Può risultare un notevole ausilio nel caso di handicap fisici gravi che impediscano l'uso coordinato degli arti.

L'uso eccessivo dei programmi grafici a colori è sconsigliabile perché sottovaluta la capacità grafica degli allievi e ne riduce la libera espressività. L'azione legata all'uso di matite, penne e colori fa parte della cultura da costruire e non può essere mortificata da un abituale uso del mouse o della tastiera (ma anche questa abilità va sviluppata, sia pure con moderazione, visto che il mondo dei computer sta comunque invadendo la nostra vita).

L'uso del computer e delle macchinine elettroniche per il calcolo richiede grande equilibrio da parte dell'insegnante. Da un lato è opportuno far rilevare la sostanziale meccanicità delle operazioni matematiche e la notevole rapidità dei sistemi elettronici nell'applicarle. Dall'altro occorre sviluppare negli allievi l'autonomia e la comprensione approfondita di ciò che alle operazioni matematiche è sotteso sul piano cognitivo. Lo strumento matematico può facilmente degenerare in una ripetitività senza alcuno scopo educativo.

Proprio l'uso del computer e le sue caratteristiche possono utilmente dar luogo ad un lavoro costruttivista con un gruppo di bambini con lo scopo di far prendere loro consapevolezza delle prerogative e dei limiti di questo strumento così importante nell'era attuale.

Anche l'uso del computer on-line per effettuare misure di movimento, forze e grandezze elettriche va dosato con attenzione. I software che accompagnano le diverse interfacce disponibili sul mercato tendono a presentare i dati in forma grafica evoluta saltando a piè pari i processi di costruzione dei grafici stessi e le notevoli difficoltà di comprensione che inevitabilmente accompagnano i fenomeni che coinvolgono spazio e tempo (nel caso del movimento) e concetti disciplinari avanzati come forza ed energia, modelli corpuscolari ecc. (nel caso di altre interfacce per la fisica). È necessario ricostruire lentamente ciò che il computer realizza rapidamente.

Alcuni esempi di lavoro teso a problematizzare in fisica (ed in scienze in genere)

Studio delle forze

Esistono diversi scenari possibili per introdurre l'argomento nel lavoro scolastico. Può accadere che si parli di forze nel contesto di altri argomenti (per esempio a proposito di numerosi sport come il calcio, l'atletica, ecc). Ma il maestro può progettare egli stesso uno scenario iniziale, come quello del rotolamento già descritto, oppure presentando diverse molle con applicati dei pesi che vengono lasciati fermi o posti in movimento, costruendo un bilico e avviando una discussione sul suo comportamento rispetto ai pesi applicati, facendo cadere insieme due corpi di peso vistosamente diverso chiedendo in anticipo di pronosticare quale dei due arriverà primo al suolo, ecc.

Come atto iniziale o anche nel corso della discussione si può chiedere agli allievi di descrivere (prima per iscritto e poi verbalmente) con loro parole cosa ritengano siano le forze. L'insegnante può eventualmente assumersi il ruolo di leggere ad alta voce gli elaborati o una loro sintesi in modo da far emergere le differenze o le convergenze. Ne emergerà un quadro ricco di linguaggi e concezioni sui quali discutere.

La varietà di esempi non deve spaventare: una vera definizione di forza non esiste, se ne descrivono piuttosto gli effetti o le cause. Alcuni metteranno in evidenza gli effetti delle forze sul movimento degli oggetti (azioni dinamiche), altri quelli relativi alle azioni statiche, senza movimento. Il linguaggio adoperato sarà confuso e descrittivo; il

grado di approfondimento verso l'individuazione delle variabili dipenderà dal modo in cui saranno state condotte altre esperienze precedenti.

È inoltre importante vedere se fra le descrizioni date emerge l'azione a distanza (come quella fra una calamita ed un chiodo): può essere utile stimolare una discussione in tal senso mostrando il fenomeno chiedendo semplicemente di descriverlo individuando quali variabili agiscano (scenario iniziale preparato dall'insegnante). È interessante vedere se la forza peso cui siamo soggetti viene vista come azione a distanza e in quale modo venga rapportata alla "gravità", concetto disciplinare che viene generalmente utilizzato senza approfondimento. Tutti sanno (o sono tenuti a sapere) che il peso dipende dalla forza di gravità, ma in forma puramente nozionistica, come un mito. Ben diverso è addentrarsi nella comprensione dei fenomeni associati a questa misteriosa azione a distanza. Per esempio, il fatto che il peso provochi (o non riesca a provocare) la caduta degli oggetti verso il suolo viene scarsamente percepito a livello consapevole. La caduta degli oggetti (o l'uso di supporti per evitarlo) è un fatto talmente naturale della vita quotidiana da apparire banale cercare le cause: esiste e basta. Una riflessione su causa-effetto e sulle variabili che agiscono può essere utilmente avviata. Il ricorso a prove ed esperimenti diventa inevitabile e saranno gli allievi stessi a proporli, a progettarli e ad eseguirli. Una concezione mentale molto diffusa assegna agli oggetti più pesanti una caduta verso il suolo più veloce. In quali termini ed in quali condizioni ciò si verifica? L'insegnante può adottare diverse tecniche di stimolo che daranno luogo a percorsi diversi: come già detto, può presentare due oggetti di pesi vistosamente diversi e chiedere di prevedere quale dei due toccherà il suolo per primo quando verranno lasciati cadere contemporaneamente, oppure far cadere due fogli di carta uguali appallottolandone uno. Nel primo caso, l'esperimento tende a porre in evidenza la sostanziale indipendenza della caduta dal peso, nel secondo caso a porre in evidenza l'influenza delle condizioni sul fenomeno della caduta. Ma ciò che conta è suscitare l'interesse per la ricerca di generalizzazioni che riguardino l'insieme di tutti i fenomeni (sia corpi di peso diverso che cadono in tempi uguali che corpi di peso uguale che cadono in tempi diversi), la ricerca delle variabili coinvolte (evidenti e nascoste che siano), lo sviluppo di un linguaggio adatto a descrivere quanto accade.

Lo stesso vale per altri possibili argomenti (con intrecci più o meno evidenti con la fisica):

- La luce, i colori, le immagini.
- L'occhio. Come è fatto?
- Perché vediamo? Come facciamo a percepire il movimento?
- Vedere col tatto, con l'udito, con l'olfatto ed il gusto. Percepire il proprio movimento e quello altrui ad occhi bendati.
- Luci bianche e luci colorate, colore delle ombre. Le ombre come portatrici di informazione, teatro delle ombre.
- Colore e forma nell'espressione artistica.
- L'arcobaleno, la divisione della luce bianca nei suoi colori.
- Raggi e fasci di luce. Come si rapportano le immagini ed i raggi?

- Immagini e raggi su uno specchio piano. Specchi convessi e concavi. Lenti convergenti e divergenti.
- I suoni, le note, la musica.
- L'orecchio.
- Generazione dei suoni: strumenti antichi e moderni.
- Le note, l'armonia, la musica.
- La voce e l'articolazione del linguaggio.
- I sensi ed il loro uso.
- Riconoscimento di oggetti in base all'uso dei diversi sensi.
- Metodi di misura e confronto.
- Descrizione delle sensazioni con parole nuove.
- Spazio, tempo e movimento. Disegnare e descrivere il percorso casa-scuola.
- Concezioni spontanee dello spazio e del tempo.
- Misure di spazio, riferimenti, sviluppo di procedure e loro significato.
- Percezione e previsione della durata di eventi della vita quotidiana.
- Fenomeni ripetitivi. Oscillazioni di un pendolo, di una molla. Analisi del movimento. Ricerca di regolarità.
- L'acqua. Sua importanza nella vita quotidiana. Dov'è, da dove viene, come si muove. Trasformazioni dell'acqua. L'acqua e la vita. L'acqua e il territorio...
- Miscugli e soluzioni. Unione e separazione delle sostanze. Diluire e concentrare. La percezione delle concentrazioni con i sensi e con gli strumenti.
- Sostanze e materiali (distinzione). Caratteristiche e natura dei materiali più comuni. Gioco di chi individua più sostanze e/o più materiali diversi in un certo ambiente. Forma, colore e lavorazioni dei materiali. Storia di un manufatto ricostruita a partire dall'oggetto finito.
- Trasformazioni e fenomeni termici.
- L'elettricità.
- Forze magnetiche. Azioni su ed attraverso materiali diversi. Applicazioni.
- La Terra e il Sole. Movimenti osservati e loro modellizzazione.
- Osservare e problematizzare l'ambiente cercandovi relazioni.
- Ascoltare i suoni della natura cercandone le cause.
- L'odore ed il gusto delle erbe aromatiche ed il loro uso nell'alimentazione.
- La germinazione. La crescita delle piante. Fattori che le influenzano.
- Le foglie. Forma, colori, comportamento e destino.
- Il mare, il suo colore, i suoi movimenti.
- Sassi e sabbia sulle spiagge.
-

Appendice 1

Alcune considerazioni sulla continuità

Il problema della continuità nella scuola di base si risolve, contrariamente a quanto si crede, sul piano del metodo più che su quello dei contenuti. Supponendo di impostarlo sui contenuti, come solitamente accade nei libri di testo e nella programmazione del lavoro, si parte dall'idea che i fenomeni naturali vadano in primo luogo inquadrati in un contesto disciplinare teorico e portati al livello dell'allunno mediante un'opera di mediazione compiuta dall'insegnante. I risultati di un simile metodo sono spesso insoddisfacenti ed originano frustrazioni sia nell'insegnante che nei suoi allievi. Nella migliore delle ipotesi, alcuni allievi più predisposti al consenso e più dotati di memoria arrivano a ripetere all'insegnante la lezione, ma le conoscenze acquisite in tal modo sono labili e destinate ad una rapida scomparsa. Né è utile rinforzare i concetti mediati nella lezione con esercizi ripetitivi: lo studente "bravo" esegue meccanicamente le "procedure giuste" perché intuisce meglio degli altri i desideri dell'insegnante, ma difficilmente riuscirà a risolvere correttamente un qualsiasi esercizio con elementi di novità rispetto a quelli "standard". L'esercizio può essere utile solo se associato ad un diverso modo di costruire la conoscenza. Se ci si propone come fine dell'educazione il reale sviluppo di capacità di apprendere i concetti e di affrontare problemi nuovi, i contenuti diventano marginali rispetto al metodo utilizzato per trattarli. Il protagonista principale dell'apprendimento è l'allievo: il compito dell'insegnante è quello di aiutare gli allievi a costruirsi "chiavi di lettura del mondo". Il rapporto con i fenomeni viene ribaltato rispetto all'approccio contenutistico: si parte dal fenomeno e dalle operazioni che si devono compiere per "leggerlo". Le varie fasi di questo lavoro di appropriazione del reale sono schematizzate nella prima scheda allegata, dove si vede che l'inquadramento in ambito disciplinare è l'ultimo scalino, non il primo. La seconda scheda riduce l'analisi alle fasi fondamentali e può essere utilmente impiegata specialmente nei primi esperimenti osservativi.

Questo metodo di apprendimento è dunque basato sulla **ricerca e scoperta, l'unico che permette la costruzione delle conoscenze da parte del soggetto**. Ribaltando il processo, occorre stare molto attenti alle preconcezioni degli allievi ed evitare di sovrapporvi le proprie (spesso di origine disciplinare, talvolta mal digerite e mescolate col senso comune). Dal notevole bagaglio di conoscenze non strutturate dell'allievo occorre far emergere elementi che permettano di indirizzare il suo lavoro verso la costruzione di un metodo di approccio ai problemi. Si parte dal fenomeno, dalla sua osservazione e descrizione (ed il livello di linguaggio è evidentemente diverso a diversi livelli d'età), e si continua definendo variabili, formulando ipotesi, progettando esperimenti ed apparecchi, eseguendo misure e confrontando i risultati con le ipotesi. Questo, in sintesi, il processo metodologico sul quale basare la continuità.

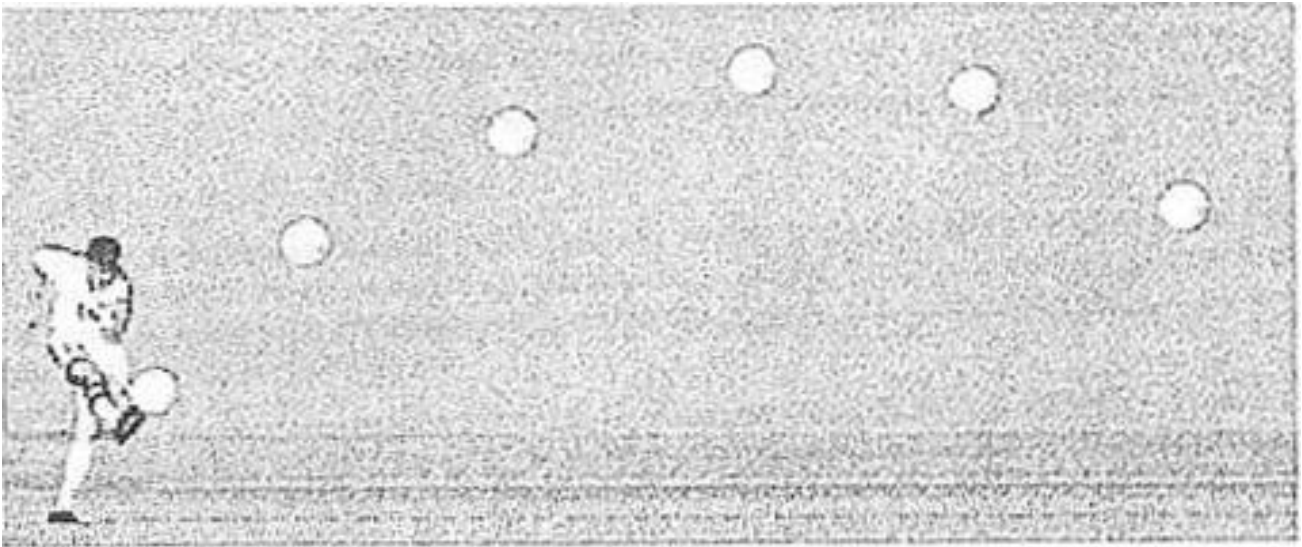
Scheda di osservazione e misura dei fenomeni

- A) DESCRIZIONE QUALITATIVA DEL FENOMENO (*Analisi e costruzione di chiavi di lettura*)
- B) RICONOSCIMENTO DELLE VARIABILI IN GIOCO (*Definizioni, linguaggio, scelte*)
- C) IPOTESI SULLE RELAZIONI FRA LE VARIABILI (*Separazione, principio di causa-effetto*)
(*Eventuale riformulazione del problema con ritorno ad A oppure B*)
- D) PROGETTAZIONE DI ESPERIMENTI (*Scelta delle variabili e del metodo di misura*)
- E) SCELTA DEGLI STRUMENTI (*e/o progettazione e costruzione*)
- F) ESECUZIONE DEGLI ESPERIMENTI (*Raccolta dei dati e loro trattazione sperimentale*)
Eventuale ritorno a C oppure a B, ovvero:
- G) CONFRONTO CON LE IPOTESI (*e controllo di corrispondenza delle condizioni*)
- H) FORMULAZIONE DI LEGGI EMPIRICHE (*Modelli validi localmente*)
(*Scelta di altri fenomeni da correlare?*)
- INQUADRAMENTO IN AMBITO DISCIPLINARE (*Rete di modelli, teorie*)

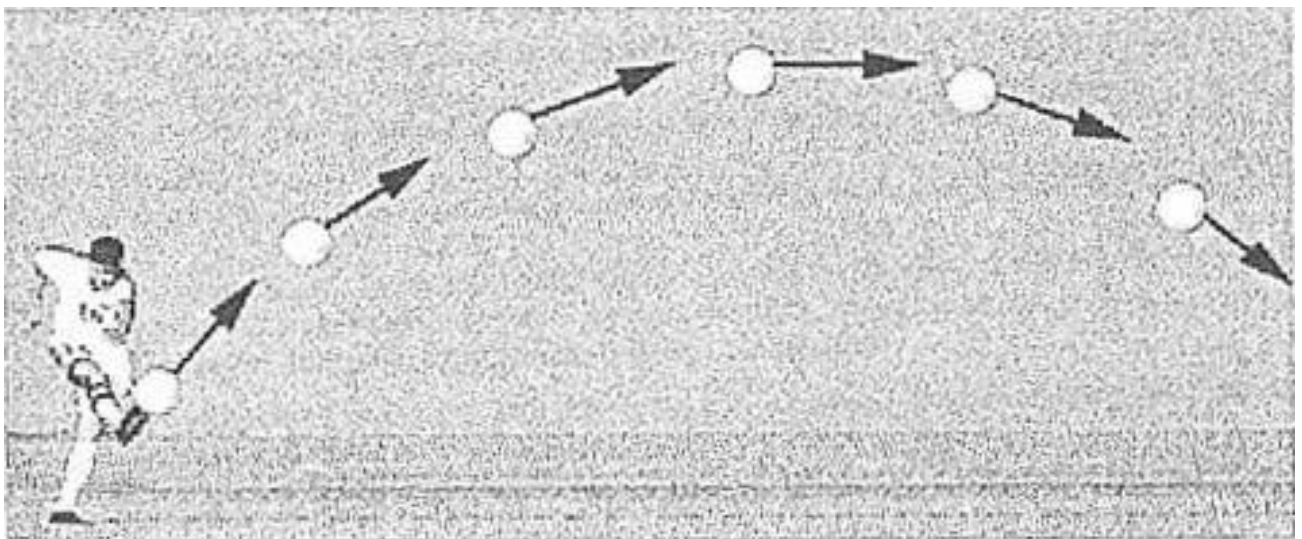
SCHEDA DI OSSERVAZIONI SCIENTIFICHE		
OGGETTO DELL'OSSERVAZIONE:		
PREVISIONI	OSSERVAZIONI	IPOTESI

Metologo su velocità e forze (fra insegnante I e Studente S)

Allo studente viene proposto il test in figura nel quale si chiede di indicare con una freccia ogni forza agente sul pallone...



L'attenzione viene ora concentrata sulla forza nella direzione e verso del movimento, indicata dallo studente... Altre forze segnate fanno parte di altri metaloghi.



I: sulla traiettoria del pallone calciato dal giocatore hai segnato una forza nello stesso verso del movimento; per quale motivo?

S: certo! Se il pallone non avesse forza non si muoverebbe ...

I: sai farmi qualche altro esempio?

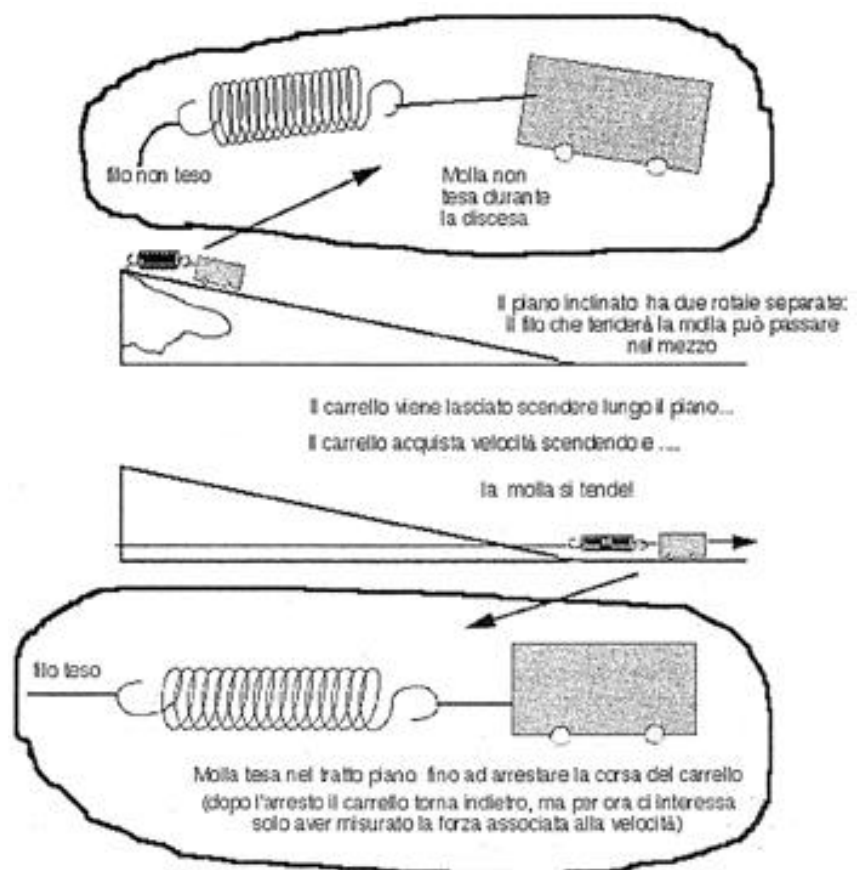
S: si è visto anche in TV: il tiro in porta aveva scavalcato il portiere, ma il pallone non aveva abbastanza forza ... Rotolava piano piano verso la porta, non aveva abbastanza forza ... Invece quel Mihailovic! Certi tiri di punizione così forti da piegare le mani al portiere! ... Raccontano di uno che sfondava le reti, ma forse era perché a quei tempi le reti non erano abbastanza forti ...

I: dunque, sembra che alla velocità del pallone sia associata una forza ...

- S: Uhm ... Non ci avevo pensato alla velocità, veramente. Ma certo! Ora che mi ci fa pensare, anche un'automobile quando va molto veloce ha una forza terribile. Può mettersi a volare. Ma anche quando va piano può far male ... Più veloce è più forza possiede ...
- I: proviamo a misurare qualche forza associata alla velocità per vedere cosa accade. Come possiamo fare?
- S: Uhm ... Non saprei, così sui due piedi ... Devo pensarci un poco ...
Qualche tempo dopo ...
- S: prof.! Ci ho pensato! Per misurare la forza del pallone o dell'automobile dobbiamo fermarli contro qualcosa che misura la forza, una di quelle molle che abbiamo usato l'altra volta in laboratorio ... Per il pallone basta una abbastanza piccola, ma sempre molto più grande di quelle dell'altra volta ... Per l'automobile, non ho idea di quanto grande ci voglia ...
- I: è proprio necessario fare le prove di forza e velocità su palloni e automobili? Non potremmo provare con oggetti più facili da maneggiare nel nostro laboratorio, come questo carrello?
- S: sì è vero, anche se non è proprio la stessa cosa ... Possiamo provare con un carrello come questo ... Farlo correre per terra o sul tavolo e fermarlo con una delle molle che abbiamo ...
- I: posso aiutarti a mettere su l'esperimento ... ma dobbiamo progettarlo ...

Omissis sui dettagli della progettazione dell'apparecchio che comprende la misura delle velocità con una delle tecniche disponibili (nell'esempio, con la telecamera). Qualche tempo dopo, l'apparato è pronto (figura).

Il carrello viene lasciato scendere da una certa altezza lungo un piano inclinato al termine del quale si trova un tratto piano. Qui esso viene frenato da una molla fino a fermarsi. La ripresa con la telecamera permette di rilevare questa posizione. Successivamente la molla si contrae e spinge il carrello verso la posizione iniziale, suggerendo altri esperimenti ed altre ipotesi ..., ma concentriamo l'attenzione sull'esperimento progettato inizialmente ...



S: per ottenere diverse velocità devo partire da punti diversi del piano e misurare cosa succede...

I: usiamo la telecamera, proviamo!

Vengono effettuate diverse prove facendo partire il carrello da varie altezze. Omissis delle discussioni sul movimento accelerato che emerge dal trattamento dei dati di velocità durante la discesa e del movimento a velocità quasi costante nel tratto piano (che fanno parte di un altro metalogo)

S: è come avevo detto io! Più velocità produce più forza. Prof.! Guarda! Qui il carrello quando comincia ad essere frenato dalla molla si muove con una velocità di 44 cm al secondo e la molla si allunga di 5.5 cm. Qui invece la velocità è quasi doppia, 89 cm al secondo e la molla si allunga di 11.1 cm, più o meno il doppio! Doppio allungamento = doppia forza, l'abbiamo visto ...

Si riportano velocità e allungamenti su un grafico che risulta lineare con buona approssimazione.

I: La forza di frenata è proporzionale alla velocità del carrello. Dobbiamo ancora esplorare altre variabili?

S: beh ... C'è il peso e la forma del carrello, il tipo di molla, e poi l'inclinazione dello scivolo, che altro?

I: una alla volta potremmo provare a vedere che effetti hanno queste variabili sulla forza misurata ...

S: sì, possiamo farlo ... Io incomincerei cambiando la molla. Basta prenderne una uguale a quella che abbiamo usato, ma con il doppio di spire ... Sappiamo che la forza diventa la metà. (Un sapere costruito in precedenza viene adoperato)

Viene cambiata la molla e si procede con gli esperimenti usando le stesse velocità sullo stesso scivolo.

S: la molla si allunga più di prima ... Vediamo, alla stessa velocità di 44 cm/s, prima avevamo 5.5 cm di allungamento, ora ne abbiamo 8.1. La forza è più piccola di prima, la molla ha forza dimezzata, mi aspettavo un allungamento doppio e invece ... Anche quest'altro risultato, velocità 89 cm/s, allungamento 16.2 rispetto a 11.4 di prima. La forza è diminuita di quasi una volta e mezza rispetto a prima!

I: è un bel problema. La forza di frenamento dipende dalla molla che usi. Bisogna studiare con cura cosa succede e cercare di capire. Hai qualche osservazione ed ipotesi da fare?

S: per ora non so ... Cosa succede? La molla frena il carrello con una forza che dipende da come è fatta la molla ... Ma nei due esperimenti c'è un'altra differenza: qui, con la molla più debole, il carrello cammina più di prima, arriva fin qui, 4.8 cm più avanti ...

I: vuoi dire che nei due casi una variabile non è stata tenuta ad un valore prefissato ...

S: sì, prof, l'abbiamo visto altre volte, per misurare gli effetti si devono muovere due variabili alla volta, dobbiamo separarle ... ma qui non si poteva fare. Cambiando la molla, si cambia il suo allungamento e il carrello cammina più o meno prima di fermarsi ... Abbiamo tre variabili: la velocità, la forza e la lunghezza del cammino durante la frenata, che è poi l'allungamento della molla ...

I: mi sembra convincente, ma vorrei capire meglio ... è un problema dove certe variabili vengono fuori in coppia e non c'è niente da fare. Possiamo provare a tenerne conto in qualche modo ...

S: per fare forza la molla deve allungarsi e cambia il percorso di frenata: la coppia di variabili è questa ... Più lungo è il percorso di frenata ... meno forza viene fuori anche se la velocità è la stessa ... è complicato ... Prima, con la stessa molla, sembrava che questo non c'entrasse ... Era velocità doppia = forza doppia. Anche ora è così, ma le forze sono cambiate rispetto a prima ...

I: si potrebbe cercare una relazione che vada bene per tutti e due gli esperimenti ... Quella lì che abbiamo trovato prima, forza proporzionale alla velocità, non funziona per due molle diverse ...

S: ho capito prof., ma come posso prendere tre variabili in un colpo solo? Devo cercare qualcosa che contenga forza, velocità e allungamento tutti insieme. Devo pensarci ...

Qualche tempo dopo ...

S: ho studiato a lungo i dati dei due esperimenti con le molle e mi pare di aver trovato qualcosa che potrebbe andare bene per spiegarli ... Ho visto nella tabella che c'erano dei valori di allungamento uguali per le due molle, vede qui, 14.0 cm, per due velocità diverse, 108 cm/s e 77 cm/s. Forza doppia per la molla corta rispetto a quella lunga, ma velocità meno che doppia. Ho provato a vedere cosa succedeva elevando al quadrato le velocità ed ho trovato due numeri 11700 e 5900, uno quasi il doppio dell'altro ... Ho provato la stessa cosa anche con questi due valori di allungamento uguali, 11.4 cm, e ho trovato 7900 e 4000 per le due velocità al quadrato ...

I: se ho ben capito, hai guardato cosa succede a velocità e forze tenendo costante l'allungamento di due molle diverse, una separazione delle variabili ...

S: sì! Ci sono arrivato pensando proprio a quello, alla separazione. Sono stato fortunato perché ho trovato valori uguali di allungamento nelle tabelle ... Quando ho visto che il mio tentativo funzionava abbastanza bene, ho pensato che tra forza e velocità esiste una relazione diversa da prima: forza proporzionale a velocità al quadrato ... Funziona a parità di percorso nella frenata ...

I: mi sembra un risultato interessante ... Ma come si concilia con quello che hai trovato prima con una molla sola?

S: prof, non mi sono fermato qui! Ho visto che separare le variabili era utile e mi sono messo a cercare i dati con forze uguali delle due molle diverse. È un po' più complicato ... cercavo allungamenti della seconda molla doppi rispetto alla prima ... la molla più debole si allunga il doppio con la stessa forza e ... veda qui, ho trovato questi due, 8.1 e 16.2 cm di allungamento con velocità 0.63 e 0.89 cm/s ... per niente facile ... Ma i quadrati delle velocità sono 0.40 e 0.79! Di nuovo! Ho provato con altri

dati e (considerati gli errori) funziona! Anche per l'allungamento delle molle vale una relazione come per le forze: allungamento proporzionale alla velocità al quadrato ... funziona a parità di forze ...

I: hai fatto un lavoro di ottima qualità e mi congratulo con te. Hai fatto un mucchio di scoperte ... Ora sei ad un passo dalla legge empirica che ti permette di collegare velocità, forze ed allungamenti. Ci vuole ancora uno sforzo di sintesi ...

S: sono contento per quello che mi dice ... anche se non ho scoperto niente di nuovo, chissà quanti hanno fatto le stesse cose, magari non le stesse così, voglio dire, ma hanno già trovato queste relazioni ... Beh, lo stesso ho provato un piacere grandissimo quando le ho scoperte io! Le assicuro, prof! ... Ora vorrei trovare questa legge empirica che raduni tutti i dati dell'esperimento in un solo colpo ... ma devo pensarci ancora sopra ...

Qualche tempo dopo...

S: Dopo un mucchio di tentativi, credo di aver trovato quella legge. Ho provato a scrivere le relazioni che avevo trovato allo stesso modo che mi aveva permesso di trovarle: Forza proporzionale alla velocità al quadrato (allungamento costante): $f_1/f_2 = v_1^2 / v_2^2$
Allungamento proporzionale alla velocità al quadrato (forza costante): $l_1/l_2 = v_1^2 / v_2^2$
Per riunificarle, ho provato a scrivere una relazione $f \propto l \mu v^2$ e funziona. Quel segno μ sta ad indicare la proporzionalità. Se si tiene costante l , f diventa proporzionale a v^2 , lo stesso accade ad l se tengo costante f ... Se metto due valori di l ad f costante ottengo due valori di v^2 che stanno nello stesso rapporto degli l , facendo il rapporto, il segno di proporzionalità sparisce e diventa uguaglianza ...

I: un ottimo lavoro, che ripaga le tue fatiche. Il tuo ragionamento fila bene, questo è il metodo sperimentale!

S: Ma c'è ancora un sacco di lavoro da fare ... Dobbiamo cambiare ancora almeno una variabile, il peso del carrello ... Se lo raddoppio cosa succede?

I: non rimane che provare ... ma cosa prevedi?

S: continuo a pensare che alla velocità sia associata una forza ... Così ad occhio, penso che raddoppiare il peso che si muove faccia raddoppiare la forza, ma forse è più complicato ... Proviamo!

Vengono fatti nuovi esperimenti cambiando il peso del carrello.

S: siamo di nuovo al problema di prima: separare le variabili, ma ora forse sappiamo come fare ...

Ci sono quattro variabili invece di tre. Devo tenerne due costanti ... è più difficile. Raddoppia il peso del carrello, ma vado a cercare allungamenti uguali a prima ... e anche velocità uguali a prima per vedere come variano le forze ...

Bibliografia

Fino al 1998 sono comparsi in letteratura ben 2500 articoli sul costruttivismo. Questa bibliografia è necessariamente incompleta e si riferisce soltanto ad una parte di libri o articoli consultati dall'autore nel corso degli ultimi 25 anni. L'autore deve molte delle proprie idee in primo luogo alle discussioni ed alla pluriennale collaborazione con M. Pilo. Di grande utilità è pure stato il confronto con i colleghi del Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica, G. Bonera, L. Bosman, G. Calvelli, M. Gagliardi, E. Giordano, N. Grimellini, P. Guidoni, il compianto amico S. Mantovani, M. Michelini, B. Pecori, P. Violino, M. Vicentini, i cui lavori vengono solo parzialmente qui citati. Importantissimo è stato il ruolo dei numerosi insegnanti e studenti di tutti i livelli con i quali l'autore ha collaborato e dai quali ha imparato che le teorie vanno confrontate con la pratica.

Un'ampia bibliografia curata da uno dei principali avversari del costruttivismo M.R. Matthews si trova in "A bibliography for philosophy and constructivism in science education", *Science & Education*, 6, p.197-201, 1997. Lo stesso numero 6 della rivista è interamente dedicato ad articoli prevalentemente critici nei confronti del costruttivismo.

Libri ed articoli in italiano:

- [1] BRUNER J.S., *Il significato dell'educazione*, Armando Editore, serie di psicologia 11, 1973.
- [2] CIARI B., *Le nuove tecniche didattiche*, Editori Riuniti, Paideia 1, 1976.
- [3] DE PAZ M., "L'educazione scientifica tra le certezze della matematica, le leggi della Fisica, le lusinghe della Tecnologia e le meravigliose incertezze della Natura. 1) La necessità di nuovi paradigmi nell'insegnamento", *Biologi Italiani*, XXX (4), p. 49-53, 2000; 2) "L'insegnante costruttivista globale", *Biologi Italiani*, XXX (6), p. 52-56, 2000; 3) "Il ruolo delle discipline: la matematica", *Biologi Italiani*, XXXI (3), p. 56-61, 2001; 4) "Il ruolo delle discipline: la Fisica e la Chimica", *Biologi Italiani*, XXXI (7), p. 71-78, 2001.
- [4] DEWEY J., *Come pensiamo*, La Nuova Italia, 1994 (Da *How we think*, 1934).
- [5] DRIVER R., *L'allievo come scienziato?*, Zanichelli, 1992.
- [6] ELKIND D., FLAVELL J.H., *Jean Piaget*, Armando Editore, Serie di psicologia 5, 1972.
- [7] FERREIRO E., TEBEROSKY A., *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Giunti, 1992.
- [8] GARDNER H., *Educare al comprendere. Stereotipi infantili e apprendimento scolastico*, Universale Economica - Saggi/Feltrinelli, 2001.
- [9] HAWKINS D., *Imparare a vedere*, Loescher, 1979.
- [10] LONGO C., *Didattica della Biologia*, La Nuova Italia, 22, 1998.
- [11] LURIJA A.R., *Linguaggio e comportamento*, Editori Riuniti, Paideia 9, 1975.
- [12] RELLA CORNACCHIA A.T., *Janusz Korczak*, Emme Edizioni, 1983.
- [13] TONUCCI E., *La città dei bambini*, Laterza, 1996.
- [14] VON GLASERFELD E., "Il costruttivismo radicale", *Quaderni di Metodologia* N. 6; Divisione Cultura e Scienze, Società Stampa Sportiva, Roma, 1998.
- [15] VYGOTSKIJ L.S., *Lo sviluppo psichico del bambino*, Editori Riuniti, Paideia 27, 1977.
- [16] VYGOTSHIJ L.S., LEONTJEV A.N., LURIJA A.R., *Psicologia e Pedagogia*, Editori Riuniti, 1974.
- [17] *Le Guide per la cultura scientifica di base*, Progetto Strategico T.I.D. del CNR, contengono contributi sull'Educazione Scientifica da parte di numerosi membri del Gruppo Nazionale Didattica della Fisica (GNDF) coordinati da P Guidoni.
- [18] Rapporto di ricerca *Per una educazione scientifica di base*, delle Unità del GNDF di Bologna, Genova, Milano, Napoli, Padova, Pavia, Pisa e Torino, La Goliardica Pavese, 1991.

Libri ed articoli in inglese o francese:

- [19] FOSNOT C.T., (Ed)., *Constructivism: theory, perspectives and practice*, Teachers College Press, Columbia University New York, 1996.
- [20] GIL-PEREZ D, CARRASCOSA-ALIS J., "Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching", *Science Education*, 78(3), p. 301-315, 1994.
- [21] HODSON D., "Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion", *J. Curriculum Studies*, 28 (2), p. 115-135, 1996.
- [22] KRAGH H., "Social constructivism, the Gospel of science, and the teaching of physics", *Science & Education*, 7, p. 231-243, 1998.
- [23] LE MOIGNE J-L., "Les épistémologies constructivistes", *Sciences de la Société*, 41, p. 195-216, 1997.
- [24] MATTHEWS M.R., "Introductory comments on Philosophy and constructivism in science education", *Science & Education*, 6, p. 5-14, 1997.
- [25] McGUINNESS C., "Teaching thinking: learning to think-thinking to learn", *Irish J. Psychology*, 17(1), p.1-12,1996.
- [26] NORRIS S.P., KVERNBEKK T., "The application of science education theories", *J. Res. Sci. Teaching*, 34(10), p. 977-1005, 1997.
- [27] RITCHIE S.M., "The teacher's Role in the transformation of students' understanding", *Res. Sci. Educ.*, 28 (2), p. 169-185, 1998.
- [28] STAVER J.R., "Constructivism: sound theory for explicating the practice of science and science teaching", *J. Res. Sci. Teaching*, 35 (5), p. 501-520, 1998.
- [29] TOBIN K, (Ed). *The Practice o f Constructivism in Science Education*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1993. Un libro fondamentale.
- [30] VON GLASERFELD E., *Questions and Answers about Radical Constructivism*, ibidem, p. 23-38.
- [31] GALLAGHER J.J., *Secondary Science Teachers and Constructivist Practice*, ibidem, p. 181-192.
- [32] WATTS M., "Towards critical constructivist teaching", *Int. J. Sci. Educ.*, 20(2), p. 173-185, 1998.
- [33] ZEIDLER D.L., "The central role of fallacious thinking in Science Education", *Science Education*, 81(4), p. 483-496, 1997.

Esistono inoltre numerosi siti Internet da visitare, ma gli indirizzi sono soggetti a continui cambiamenti. Eccone alcuni controllati il 17/10/2001:

- [34] Il sito del gruppo diretto da Redish E.F., <http://www.physics.umd.edu/perg/cpt.html>, permette di accedere a diversi articoli sui problemi qui affrontati.
- [35] Il sito <http://gwis.circ.gwu.edu/~tip/theories.html> si riferisce a ben 50 teorie cognitive (da considerare con atteggiamento critico), fra le quali si trova la "*dissonance theory*" di Festinger L. che in parte contrasta con il principio d'incoerenza ed in parte lo rafforza (forzare la scelta fra due idee in contrasto implica disinteresse nell'individuo, perciò non conviene forzare la coerenza, occorre invece la consapevolezza).
- [36] <http://mathforum.org/orlando/selden.orlando.html> contiene una bibliografia sul costruttivismo in matematica che in parte si sovrappone alla presente. Selden A., Selden J., *Kinds o f constructivism: an annotated bibliography*.