

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PUBLICAÇÕES

INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01452-990 SÃO PAULO - SP,
BRASIL

IFUSP/P-1092

SYSNO: 857963

**CONFLITTI COGNITIVI, ESPERIMENTI
QUALITATIVI E ATTIVITÀ' DIDATTICHE**

A. Villani

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

L. Orquiza de Carvalho

Faculdade de Engenharia,

Universidade Estadual Paulista,

Campos Ilha Solteira, SP, Brasil

Dezembro/1993

CONFLITTI COGNITIVI, ESPERIMENTI QUALITATIVI E ATTIVITÀ DIDATTICHE@

A. VILLANI*

Instituto de Física, Universidade de São Paulo,
Caixa Postal 20516, São Paulo, SP, Brasil.

L. ORQUIZA DE CARVALHO&

Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista,
Campus Ilha Solteira, SP, Brasil.

ABSTRACT

The article relates the results of a qualitative research with secondary school students on the cognitive conflicts about central collisions in mechanics. We put our attention to the interviewer's mediation in the origins, developments and conclusions of the conflicts. We analyze the main results of the process and sketch some pedagogical consequences.

Le ricerche sulle rappresentazioni mentali degli studenti hanno ormai una storia ventennale (Driver, 1973; Malgrange et al., 1973), durante la quale le prospettive dei ricercatori sono evolute; gli sforzi più recenti sono stati diretti verso l'elaborazione di strategie efficienti che favoriscano un cambiamento concettuale (per es. Nussbaum & Novick, 1982; Rowell & Dawson, 1985; Grimellini et al., 1989; Dreyfus et al., 1990; Duschl & Gitomer, 1991; Brown & Clement, 1992). In molti casi, i conflitti cognitivi sono stati considerati come la porta privilegiata (Scott et al., 1992) per aumentare la conoscenza scientifica degli studenti e renderla più stabile. In particolare le potenzialità degli esperimenti e la loro capacità di contribuire in direzione dei cambiamenti desiderati, hanno costituito un punto di discussione importante (Nachtingal, 1992). Alcuni ricercatori hanno sottolineato sia la necessità di produrre situazioni sperimentali capaci di contrastare le idee spontanee (Zollman, 1992), sia la possibilità di suscitare corrispondenti conflitti cognitivi; altri, invece, si sono mostrati piuttosto critici e scettici a questo riguardo (Hodson, 1988; Nersessian, 1989), mettendo in rilievo il ruolo fondamentale del modo di vedere degli studenti. Recentemente Chinn e Brewer (1993) hanno discusso in modo esauriente il ruolo dei dati anomali nell'acquisizione della conoscenza scientifica, mettendo in luce la somiglianza tra il modo di procedere degli scienziati e degli studenti. In particolare è interessante la loro descrizione delle varie possibilità di accettazione o rigetto dei dati sperimentali da parte degli studenti.

In questo lavoro analizzeremo la produzione di conflitti cognitivi, principalmente mediante l'uso di esperienze semplici, come emerge dall'analisi di una parte dei dati di una ricerca realizzata nella Università di S. Paulo con alcuni studenti di scuola media superiore. Inizieremo la nostra esposizione mettendo in luce alcune caratteristiche della ricerca; in seguito descriveremo e classificheremo i conflitti cognitivi generati durante le interviste agli studenti realizzate da uno degli autori (L.O.C.) ed infine analizzeremo le strategie utilizzate dalla intervistatrice per sviluppare i conflitti. Concluderemo delineando alcune conseguenze pedagogiche dei risultati ottenuti.

LA RICERCA

La ricerca è consistita in una serie di interviste (sette o otto) sugli urti in meccanica con ognuno degli studenti partecipanti; la parte qui analizzata riguarda le prime due interviste, nelle quali è stata sviluppata una discussione su alcuni esperimenti semplici relativi ad urti centrali. Si tratta di dodici interviste con durata tra 60 e 90 minuti, in parte registrate in audio (le prime quattro), e in parte in video (le rimanenti otto)*, durante le quali l'intervistatrice interagiva in vari modi con lo studente intervistato con la finalità di chiarire le sue idee, di svilupparle e possibilmente di iniziare un confronto con la visione disciplinare. Una descrizione più dettagliata delle attività svolte dall'intervistatrice e delle rispettive finalità si trova nella Appendice A.

@Questo lavoro rappresenta una rielaborazione del contributo al IV Congresso Internacional sobre Investigacion en La Didactica de Las Ciencias, Barcelona (España)- Settembre 1993

*Con Finanziamento parziale del CNPQ (Brasile)

&Con Finanziamento parziale della CAPES (Brasile)

*Una di queste (la seconda con DA) è stata registrata in modo inadeguato e perciò è divenuta scarsamente utilizzabile.

La popolazione oggetto della ricerca era composta di sei studenti della scuola media superiore di età compresa tra quindici e ventidue anni, scelti tra le conoscenze della intervistatrice secondo un criterio di comodità e con l'impegno a realizzare una serie completa di interviste sulla Fisica, in modo da garantire la continuità del lavoro. La maggioranza degli studenti aveva già visto nella scuola il contenuto oggetto dell'intervista, ma in realtà lo ricordava pochissimo e con grande imprecisione.

L'analisi e il confronto del comportamento degli studenti, che sarà oggetto di questo lavoro, è stato facilitato dalla relativa omogeneità dello script delle interviste analizzate, durante le quali sono stati usati gli stessi dispositivi sperimentali e realizzati approssimativamente gli stessi esperimenti, descritti nella Appendice B.

I CONFLITTI COGNITIVI DEGLI STUDENTI

La caratteristica principale della dinamica delle interviste è stata la produzione e lo sviluppo di conflitti cognitivi, ossia di perturbazioni intellettuali, capaci di provocare una insoddisfazione nello studente in relazione alle proprie conoscenze. Una classificazione esauriente dei vari tipi di conflitto (Dykstra, 1992) va al di là della prospettiva di questo lavoro, nel quale analizzeremo solo alcuni aspetti e le relative conseguenze dal punto di vista didattico. Focalizzeremo la nostra attenzione sulle origini, sulla dinamica e sulla conclusione dei conflitti; elaboreremo alcune categorie significative che ci permetteranno di analizzare in maniera critica gli interventi didattici della intervistatrice e di definire obiettivi specifici di una strategia di insegnamento mirata al cambiamento concettuale via conflitto cognitivo.

1. Le Origini dei Conflitti

Le carenze cognitive, che stavano alla base dei conflitti cognitivi hanno manifestato due aspetti distinti: uno oggettivo (conflitto potenziale), costituito dagli **elementi cognitivi divergenti**, localizzati mediante l'analisi dettagliata delle interviste e del corrispondente contesto, ed uno soggettivo (conflitto effettivo), costituito dagli **aspetti effettivamente percepiti** dallo studente, secondo gli indizi da lui forniti.

Conflitti Potenziali

Un dato che ci ha colpito durante l'analisi delle divergenze che stavano alla base dei conflitti potenziali è che esse potevano avere origine esterna oppure interna allo studente. Chiameremo **esterni** quei conflitti potenziali caratterizzati da una divergenza tra i modi di vedere dello studente ed elementi a lui esterni, quali il risultato di un esperimento, l'osservazione dell'intervistatrice oppure la frase di un libro didattico. Chiameremo invece **interni** i conflitti potenziali caratterizzati da una divergenza tra elementi cognitivi interni allo studente, come le sue percezioni, le sue idee, le sue esigenze epistemologiche e cognitive (Hewson, 1985)

Conflitti Esterni. Il conflitto potenziale esterno più semplice era costituito dalla divergenza tra le idee dello studente sugli esperimenti e il loro **risultato**; tale divergenza poteva riguardare sia le previsioni personali, sia le spiegazioni.

In generale, nel primo caso, la divergenza era rapidamente percepita dallo studente, dando quindi origine ad un conflitto effettivo; tuttavia in alcuni casi essa era negata o minimizzata, esigendo un intervento mediatore della intervistatrice per potersi trasformare in conflitto effettivo. Per esempio, CE continuò ad affermare anche dopo la dimostrazione sperimentale che nell'esperimento p-2 le palline di acciaio dopo l'urto frontale, praticamente elastico, non raggiungevano l'altezza iniziale e FE sostenne che in c-2, dopo l'urto, il proiettile si fermava subito. Qualche volta è pure successo che lo studente, pur riconoscendo la differenza tra le sue previsioni ed il risultato sperimentale, non riusciva a mettere a fuoco sufficientemente quest'ultimo. Per esempio, DA aveva previsto la fermata del proiettile in p-4 e dopo l'esperimento affermò che continuava ad andare avanti, nonostante di fatto rimbalzasse. In questi casi la soluzione più naturale era la ripetizione degli esperimenti in questione.

Quando invece esisteva una divergenza tra il tipo di spiegazione data dallo studente ed il risultato sperimentale effettivo, la presa di coscienza da parte dello studente era molto più difficile, soprattutto se l'intervistatrice non chiamava l'attenzione sugli elementi problematici. Il caso più evidente è stata la spiegazione della differenza tra gli esperimenti c-1 e c-2 attribuita unanimemente ad una differenza nella forza o nella velocità di lancio, nonostante che in varie occasioni c-1 e c-2 fossero stati lanciati con velocità poco differenti.

Un altro tipo di divergenza con origine esterna si realizzava quando i **suggerimenti** o i **punti di vista** della intervistatrice contrastavano con le idee degli studenti. Due esempi sono stati particolarmente significativi: il suggerimento dato a tutti gli studenti, riguardante la deformazione (invisibile) delle palline di acciaio, in contrasto con l'osservazione spontanea degli studenti, e la richiesta di concentrare sistematicamente l'attenzione sul momento dell'urto in contrasto con l'attenzione rivolta spontaneamente alla spinta data al proiettile e al corrispondente effetto sul bersaglio (Villani & Pacca, 1990; Grimellini et al., 1993). Anche in questi casi l'interiorizzazione, da parte degli studenti, di tali divergenze non era automatica; a volte l'idea suggerita non era presa in considerazione o, nel caso di insistenza della intervistatrice, era scartata come poco plausibile, come è accaduto con CE riguardo alla deformazione dell'acciaio; altre volte, invece, il processo che conduceva ad una presa di coscienza era più complesso, come è successo per esempio con FE, che, all'inizio della sua prima intervista, non riusciva a comprendere l'importanza di concentrare la sua attenzione solamente sul momento dell'urto iniziale e di spiegarne il risultato in termini di relazioni precise tra le variabili che caratterizzavano le palline interagenti, e perciò continuava a rispondere in termini di analisi percettiva globale.

In alcuni casi la divergenza tra la visione della intervistatrice e quella dello studente assumeva **aspetti altamente sofisticati** riguardando valori epistemologici quali la **capacità di percepire analogie**. Per esempio, durante la seconda intervista con NA, l'intervistatrice orientò le sue domande in modo che lo studente percepisse che l'esperimento c-8 con le palline di acciaio poteva essere interpretato come l'unione di un esperimento c-8 totalmente anelastico (con le palline di plastilina) e dell'esperimento t-2 (con i carrelli) nel quale si realizzava una esplosione. Solo quando è stato chiarito il problema della deformazione dell'acciaio il dialogo con la intervistatrice è divenuto realmente produttivo per lo studente;

prima di questo momento lo studente non era in grado di individuare una analogia significativa tra i tre esperimenti.

Abbiamo potuto constatare anche conflitti potenziali tra le idee dello studente e quelle espresse nelle sue letture didattiche, rivelato dalle domande formulate all'intervistatrice. Per esempio FE nel commentare la frase di un libro didattico che aveva letto durante l'intervallo tra la prima e la seconda intervista mostro' di avere dei dubbi sulla durata dell'interazione, che egli non riusciva a confrontare con altri intervalli temporali familiari; durante la discussione successiva si mostro' chiaramente che la divergenza basica fra le sue idee e quelle del libro riguardava anche la stessa idea di una fase di interazione tra i due oggetti che collidevano.

Conflitti Interni. I conflitti potenziali con origine interna si riferiscono a divergenze tra differenti conoscenze dello studente oppure tra una sua conoscenza e la corrispondente ecologia concettuale (Posner et al., 1982; Strike & Posner, 1992). Un caso interessante e' stata la divergenza tra la convinzione di THA che una forza sostenesse il movimento di salita di una moneta e la relazione tra forza e accelerazione da lei precedentemente imparata a scuola. La trasformazione di questa divergenza in conflitto effettivo non e' stata facile, perche' la studentessa utilizzava le due conoscenze in contesti differenti. Un altro caso interessante, rivelato da un commento rapido di CE, e' stata la divergenza tra le conclusioni da lei elaborate riguardo agli urti e la sua esigenza di una spiegazione generale. Una situazione simile si realizzava molto spesso quando l'intervistatrice chiedeva allo studente di esplicitare concetti fondamentali da lui precedentemente citati e questi enunciava frasi a volte incoerenti o confuse; il punto interessante e' che quasi sempre lo studente terminava confessando che non sapeva enunciare i concetti in gioco, rivelando implicitamente un contrasto tra la sua attuazione e la sua esigenza in relazione ai concetti scientifici.

Conflitti Effettivi

La caratteristica essenziale del conflitto effettivo era la **percezione** dello studente di una divergenza tra le sue osservazioni e le corrispondenti idee oppure di un contrasto specifico tra alcune delle sue idee oppure di una incompatibilita' tra le sue idee e la sua ecologia concettuale; la nostra analisi ci sembra quindi compatibile con la classificazione piagetiana (Rowell, 1989) delle divergenze capaci di generare conflitti cognitivi: tra soggetto e oggetto, tra sistema e sub-sistema e tra idee e visione di mondo.

Il conflitto effettivo piu' probabile era costituito da una **divergenza fra le previsioni** personali dello studente sugli esperimenti e le sue osservazioni dei **risultati**. Questa situazione poteva poi dare origine a differenti sviluppi.

In generale il risultato sperimentale dissonante costituiva una fonte di perturbazione significativa quando la previsione era frutto **diretto** di una teoria personale. Un esempio rappresentativo e' dato dalla previsione di THA sull'arresto del proiettile in p-4, dovuta alla sua convinzione che la trasmissione dell'energia fosse sempre nella direzione del movimento; l'osservazione del rimbalzo del proiettile, ha rappresentato una sorpresa capace non solo di determinare un ridimensionamento dell'idea iniziale, ma anche di indurla a ricercare un altro tipo di spiegazione.

Il riconoscimento di una differenza oggettiva tra previsione e risultato sperimentale non ha pero' portato sempre lo studente ad un ripensamento delle sue idee. In alcuni casi l'evento discrepante era considerato semplicemente una **eccezione**; per esempio PA, dopo aver previsto, sulla base del suo modello di azione e reazione, che in p-2 le due palline di acciaio si sarebbero fermate e dopo aver osservato il loro rimbalzo, di fronte a c-8 ha ripetuto la stessa previsione, utilizzando lo stesso modello di azione e reazione. In altri casi la fonte della previsione era considerata **provvisoria** e semplicemente sostituita con un'altra piu' adeguata, spesso ad-hoc, senza dar inizio a nessun altro tipo di conflitto. Per esempio NA, di fronte alla previsione non corretta di un movimento di tutte le palline del bersaglio in c-7, basata probabilmente sull'idea di un bersaglio unico, dopo alcune osservazioni ha riconosciuto che il fenomeno era regolato da un principio di simmetria e che di conseguenza si sarebbero sempre mosse tante palline del bersaglio quante erano quelle che componevano il proiettile; in un'altra occasione, dopo aver previsto l'arresto del proiettile in c-2, ha semplicemente attribuito il differente risultato sperimentale alla piccola velocita' iniziale del proiettile, senza chiedersi perche' lo stesso effetto non avesse luogo negli urti con pendoli.

Una situazione molto interessante si e' verificata quando la divergenza tra previsione e osservazione era dovuta ad una teoria appresa **esplicitamente** nella scuola. In un primo momento il conflitto era tra i valori cognitivi attribuiti alle due fonti di conoscenza; lo studente rimaneva perplesso, senza sapere se scartare la teoria o l'esperimento. Non raramente si sforzava di realizzare una loro riconciliazione, come e' accaduto con CE, quando voleva salvare la teoria imparata a scuola che nell'urto sempre esisteva dissipazione e il risultato sperimentale di p-1, che mostrava un residuo di oscillazione del proiettile.

Durante le interviste si sono verificate anche **divergenze effettive di tipo concettuale**, tali da innescare un processo di riflessione dello studente. Quando esisteva una incompatibilita' tra i **suggerimenti** della intervistatrice e le **idee spontanee** dello studente e questi non rigettava i suggerimenti, ma li considerava plausibili o, perlomeno, pertinenti, il conflitto poteva dare origine sia ad una progressiva trasformazione dell'idea suggerita, che veniva adattata all'universo concettuale dello studente, sia ad una sua accettazione piena. Un esempio tipico delle differenze di comportamento da parte degli studenti e' stata la reazione di fronte al suggerimento dell'esistenza di una deformazione non visibile dell'acciaio, con il quale l'intervistatrice cercava di aiutare gli studenti a risolvere il problema dell'elasticita' degli urti; l'accettazione del suggerimento ha provocato una reazione interessante di FE, che considerava l'acciaio soggetto ad una deformazione parziale, simile alla elasticita' parziale del legno, e di THA, che, dopo essere rimasta inizialmente un poco perplessa, ha capito le potenzialita' unificatrici della idea e l'ha accettata, riuscendo ad utilizzarla nella deduzione di conseguenze interessanti.

In varie occasioni durante le interviste, si e' manifestata anche la divergenza tra la **aspirazione cognitiva di generalizzazione** e di **coerenza** dello studente e il suo **dominio concettuale** effettivo; in questi casi, in generale, il dilemma risultava insolubile mediante le sole forze dello studente, e la soluzione doveva essere rimandata a situazioni piu' favorevoli, successive ad un effettivo progresso concettuale. Un esempio significativo e' stato il caso di

THA nel quale si scontravano da una parte la limitazione implicita, da lei imposta al suo modello di azione e reazione, che le permetteva di spiegare solamente il rimbalzo del proiettile, e dall'altra la sua esigenza di una spiegazione unica, in grado di considerare tutti i casi verificati (appendice C).

Un conflitto dello stesso tipo, che si riferiva ad una divergenza tra il dominio concettuale dello studente e la sua aspirazione cognitiva di **chiarezza e precisione** si e' realizzato varie volte quando lo studente, di fronte al compito di dare una giustificazione, ha riconosciuto di avere le idee poco chiare. Soprattutto quando era in gioco la definizione di un concetto importante, appena gliene era offerta l'occasione chiedeva chiarimenti alla intervistatrice oppure cercava nei libri sussidi per una risposta piu' adeguata, come e' successo con CE che ha iniziato la seconda intervista chiedendo che cos'era l'impulso e con FE che ha trascorso l'intervallo tra la prima e la seconda intervista cercando informazioni su che cosa succedeva durante l'urto, che era stato incapace di descrivere precedentemente.

Infine, dobbiamo riconoscere che durante le interviste abbiamo incontrato anche un tipo differente di **conflitto**, di carattere principalmente **emotivo**, nel quale lo studente era in dubbio se lasciarsi coinvolgere intellettualmente ed eventualmente entrare in disaccordo con l'intervistatrice oppure semplicemente cercare di adattarsi alle sue esigenze senza esporsi (Baird & Mitchell, 1986; Villani, 1992). Durante tutto il tempo della sua presenza, questo conflitto ha avuto un effetto negativo sullo studente, bloccando il suo sviluppo intellettuale. Nel caso di PA la presenza di questa perturbazione, probabilmente dovuta a fattori estranei all'intervista, e' continuata per un lungo tempo compromettendo una grande parte della prima intervista; invece per THA si e' trattato di una parentesi di breve durata, rapidamente superata, dovuta ad una presa di coscienza, drammatica, delle sue idee spontanee intorno a forza e movimento.

2. La Dinamica dei Conflitti

Un altro aspetto che ha richiamato la nostra attenzione e' stata la evoluzione dei conflitti, **autonomia** oppure **risonante**: nel primo caso i conflitti sono iniziati e terminati in maniera quasi indipendente dalla intervistatrice, nel secondo, invece, lo sviluppo e' stato fortemente influenzato dal suo intervento. Esempi dettagliati possono essere visti nell'Appendice C.

Conflitti Autonomi

Conflitto Incipiente. Si tratta di un conflitto potenziale percepito dalla intervistatrice, nel quale lo studente, pur non avendo ancora preso coscienza delle sue carenze effettive, sospetta che qualcosa e' inadeguato.

Per esempio il dialogo tra l'intervistatrice e FE in Appendice C mostra chiaramente la loro differenza di prospettiva. Nonostante alla fine lo studente sia riuscito a rispondere alla domanda iniziale, sembra che l'importanza del momento dell'urto e la spiegazione fisica del risultato dell'evento siano rimaste lontane dalle sue possibilita' di comprensione. Il disagio mostrato durante tutto il dialogo rivela che lo studente e' rimasto alle soglie del conflitto esplicito.

Un altro tipo di situazione conflittiva autonoma e' dato dal **Conflitto Locale**, che si sviluppa e termina per libera iniziativa dello studente. Un esempio e' il caso di CE che dopo aver analizzato vari urti sulla canaletta, cercava di interpretarli in una maniera unificata (Appendice C).

Il tentativo di comprensione di CE andava nella direzione di trovare un'unica causa responsabile della continuita' del moto, dell'arresto o del rimbalzo della pallina incidente: la velocita'. CE, probabilmente, aveva associato i differenti modi di lanciare il proiettile alle differenti velocita' e a differenti "forze d'urto" e, conseguentemente, ai differenti comportamenti; inoltre pensava che la differenza delle masse incidenti potesse essere considerata equivalente a una differenza nelle rispettive velocita'. Il problema non e' stato risolto dalla studentessa, anche perche' si e' subito cambiato argomento; tuttavia il conflitto e' stato ripreso dalla studentessa nella seconda intervista.

Finalmente un'altra situazione di poca risonanza didattica e' costituita dal **Conflitto in Parallelo**, un processo nel quale lo studente sviluppa un discorso regolato da un suo conflitto effettivo e l'interlocutore cerca di approfondire altri conflitti potenziali. Il caso di FE durante la seconda intervista e', a questo proposito, molto interessante (Appendice C)

Per lo studente il conflitto di base, che ha dominato tutta la sua maniera di rispondere alle domande dell'intervistatrice, era che la pallina di acciaio rimbalzava come quella di gomma, ma non si deformava durante l'urto; per l'intervistatrice, invece, la preoccupazione fondamentale era il chiarimento della fenomenologia degli urti, chiaramente maltrattata sia nelle previsioni che nelle spiegazioni date dallo studente.

Conflitti Risonanti

I conflitti che hanno presentato una dinamica risonante con l'intervento della intervistatrice possono essere riferiti a due diverse tipologie, che abbiamo denominato "in serie" e "a spirale".

Il **Conflitto in Serie**, consiste in uno sviluppo concettuale caratterizzato dalla successione di conflitti limitati nei quali la risoluzione di uno provoca l'inizio del successivo. Un esempio rappresentativo e' accaduto con NA durante la prima intervista (Appendice C).

Lo studente non riusciva a conciliare l'uguaglianza di azione e reazione, appresa a suo tempo nella scuola, con la percezione delle velocita' raggiunte da proiettile e bersaglio dopo l'urto in c-5. Il suo comportamento successivo e' un modello di impegno per salvare teoria e esperimento, mediante l'introduzione di successive ipotesi; queste sono state messe sistematicamente in discussione dalla intervistatrice e poi scartate dallo studente, fino al suo dubbio finale sulla effettiva validita' del principio di azione e reazione. Il conflitto e' terminato con l'intervento della intervistatrice, che ha messo l'accento sul concetto di accelerazione e sulla proporzionalita' inversa tra le variazioni delle velocita' e le rispettive masse.

Il **Conflitto a Spirale**, invece, riguarda una situazione conflittiva che viene affrontata parzialmente, abbandonata e successivamente ripresa in condizioni piu' appropriate. Un esempio tipico e' stato il caso di THA, all'inizio della prima intervista (Appendice C). La

studentessa, di fronte ad un risultato sorprendente ha elaborato e sviluppato una ipotesi di trasmissione dell'energia, concludendo per la sua incapacità di spiegare tutti i fenomeni osservati. Lo spostamento del discorso su un altro fenomeno ha permesso di recuperare l'idea di reazione, prontamente utilizzata per complementare la spiegazione anteriore; finalmente una seconda deviazione della discussione ha permesso di fare un ulteriore passo in avanti nella soluzione del primo conflitto.

3. Le Soluzioni dei Conflitti

Un'ultima caratteristica didatticamente importante dei conflitti è stata il loro modo di terminare. Abbiamo trovato **soluzioni in sospeso** e **soluzioni conclusive**. Nel primo caso il conflitto terminava lasciando in sospeso la possibilità di sviluppo ulteriore (un conflitto potenziale); nel secondo caso il conflitto sfociava in un risultato che costituiva una sintesi della nuova conoscenza acquistata.

Soluzioni in Sospeso. Una maniera di concludere i conflitti era mediante una **domanda lasciata in sospeso**, ossia mediante il riconoscimento che il conflitto era temporaneamente insolubile. Un esempio è stata la constatazione di DA della impossibilità di un urto "debole" nel pendolo e il suo riconoscimento di ignorare completamente le ragioni di questo comportamento; un altro caso è stato il dubbio finale di NA, sulla validità di azione e reazione negli esperimenti con rimbalzo del proiettile.

Un'altra maniera di lasciare in sospeso la soluzione di un conflitto è stata **abbandonando**, perlomeno in parte, **una relazione** in precedenza considerata generale, senza specificare le condizioni di validità, o **inventando una spiegazione ad-hoc**, che non derivava dalle considerazioni anteriori e non indicava conseguenze ulteriori; questo tipo di soluzione è stato considerato inconclusivo, perché non costituiva una sintesi genuina di una nuova conoscenza dello studente e non lo preparava a passi ulteriori più mirati sul piano disciplinare. Il caso di CE è significativo: la studentessa era convinta che non si potesse avere trasferimento totale dell'energia, ma il risultato di c-1 l'aveva sorpresa e ha dovuto ammettere che di fatto il trasferimento parziale non era l'unica possibilità. Tuttavia la sua elaborazione si è fermata a questo riconoscimento, senza stabilire ulteriori condizioni di applicazione; in alcune situazioni successive, ha applicato nuovamente il trasferimento parziale ed in altre no: per esempio ha spiegato che in p-2 le palline non avevano raggiunto l'altezza iniziale a causa della perdita nell'urto, mentre il risultato di p-3 è stato interpretato come uno scambio totale delle velocità tra le palline che si urtavano.

Soluzioni conclusive. In altri casi il problema che aveva generato il conflitto è stato risolto dallo studente mettendo in rilievo l'esistenza di una **relazione nuova** tra le variabili in gioco. DA, per esempio, aveva facilmente individuato la differenza nel comportamento del proiettile dopo l'urto in c-1 e c-2 e analogamente in c-5 e c-6, come dovuta ad un lancio "forte" o "debole". Ma questa distinzione non era soddisfacente perché semplicemente spostava il problema. La sua spiegazione è diventata più consistente solo quando è riuscita ad associare il caso "forte" ad una azione maggiore e ad una reazione maggiore ed il caso "debole" ad una minore azione e reazione.

Un'ultima maniera di concludere un conflitto, soprattutto quando questo aveva origine nei suggerimenti della intervistatrice, consisteva **nell'adattarsi** ed in qualche modo **nello sviluppare** le nuove prospettive suggerite. L'accettazione da parte di THA di analizzare la fase di interazione è un buon esempio. Durante l'analisi degli urti sulla canaletta, inizialmente cercava la spiegazione del comportamento del proiettile dopo l'urto nella sua velocità iniziale e nella forza di lancio, mentre l'intervistatrice orientava le domande sul momento dell'urto e sulle forze di interazione. L'insistenza della intervistatrice è riuscita a convincere la studentessa a concentrare l'analisi sul momento dell'interazione, giungendo poi a risultati interessanti, come la scoperta della funzione della reazione nell'arresto del proiettile.

IL CONTRIBUTO DIDATTICO DELLA INTERVISTATRICE

Un complemento significativo per chiarire la complessa dinamica dello sviluppo concettuale degli studenti intervistati viene dall'analisi della gestione dell'intervista da parte dell'intervistatrice. A questo scopo analizzeremo il suo contributo didattico con più specificità dando informazioni supplementari sulle strategie implicite da lei adottate.

Uno dei risultati più importanti di questo nostro lavoro si riferisce al progressivo chiarimento della **funzione** della intervistatrice come **mediatrice** dello sviluppo dei conflitti cognitivi in tre tipi di operazioni: trasformare i conflitti potenziali in effettivi, intervenire nei conflitti autonomi in modo da sfruttarne le possibilità e condurre in modo efficiente quelli risonanti, e, finalmente, riprendere le soluzioni in sospeso trasformandole in conclusive.

1) Trasformare Conflitti Potenziali in Effettivi

L'importanza didattica dei conflitti potenziali e la sua distinzione da quelli effettivi appare chiaramente quando si analizza lo sviluppo cognitivo degli studenti intervistati: vari conflitti potenziali sono divenuti con molta facilità conflitti effettivi, ma nella misura in cui la fonte del conflitto diveniva più astratta o sofisticata, la presa di coscienza da parte dello studente era più complessa. In questi casi aumentava la probabilità che il conflitto restasse a livello potenziale sia perché lo studente non prendeva in considerazione le divergenze oggettive, sia perché si limitava a percepirne solo aspetti parziali.

Il problema di trasformare un conflitto potenziale in uno effettivo in generale includeva tre operazioni, a volte simultanee: localizzare le divergenze cognitive, selezionare quelle capaci di essere trasformate in conflitto e organizzare una sequenza didattica capace di recuperare i residui.

La localizzazione dei conflitti potenziali era un compito relativamente semplice per l'intervistatrice quando la loro origine era esterna, soprattutto se si trattava di una divergenza tra previsione e risultato sperimentale. In questi casi l'intervistatrice richiamava l'attenzione dello studente sul punto di divergenza oppure gli chiedeva di ripetere l'esperimento oppure lo invitava a prestare molta attenzione al risultato. Nel caso di molteplici punti di divergenza, essi erano affrontati in sequenza uno dopo l'altro oppure erano richiamati in situazioni più propizie, quando lo studente manifestasse una maggiore prossimità al conflitto. Per esempio

durante l' intervista con PA non solo le sue previsioni, ma anche le sue spiegazioni presentavano delle incongruenze; la tattica dell'intervistatrice e' stata di presentargli un nuovo esperimento ogni volta che era riconosciuta la divergenza tra previsione e risultato sperimentale, senza soffermarsi nella discussione delle spiegazioni fornite (nella speranza che alla fine potesse essere realizzata una discussione piu' completa del modello utilizzato dallo studente). Purtroppo questa tattica e' stata frustrata dalla decisione improvvisa dello studente di abbandonare totalmente il suo modello esplicativo e adottare l'attitudine piu' pragmatica di appoggiarsi solo sugli indizi forniti dall'intervistatrice.

Il compito didattico diventava ben piu' complesso quando la divergenza da sviluppare aveva origine interna allo studente. In alcune situazioni l'intervistatrice chiaramente non e' riuscita a percepire l'ampiezza delle prospettive dello studente, perdendo l'occasione di un intervento significativo, come nel caso del conflitto di CE tra le sue spiegazioni sul movimento del proiettile negli esperimenti con la canaletta e le sue esigenze di generalizzazione, manifestato mediante una domanda apparentemente poco significativa. In altre situazioni invece il conflitto potenziale e' stato localizzato rapidamente, come nel caso della divergenza tra l'idea di azione e reazione imparata da NA a scuola e la sua spiegazione della differenza tra c-1 e c-2 attribuita ad una maggiore o minore forza di lancio; l'intervento della intervistatrice e' stato prima una domanda di confronto tra c-1 e p-1, rapidamente risolta dallo studente con la percezione di una analogia nel trasferimento di energia e poi il suggerimento di un nuovo esperimento c-5 capace di mettere meglio a fuoco il problema della reazione.

In generale l'organizzazione degli interventi della intervistatrice esigeva che le divergenze fossero riprese tutte le volte che la situazione lo permettesse (senza forzare lo sviluppo del pensiero dello studente); questo richiedeva da parte della intervistatrice una grande attenzione alle idee dello studente, interpretando rapidamente gli indizi da lui forniti e dando precedenza a quelli piu' prossimi a divenire effettivi.

2) Intervenire nella Dinamica dei Conflitti

Per poter intervenire costruttivamente nei conflitti, la intervistatrice doveva prestare attenzione alla loro dinamica; il problema piu' importante da risolvere era entrare in risonanza con il conflitto dello studente.

Il conflitto incipiente, che nasceva da una divergenza di prospettiva tra insegnante e studente, aveva una possibilita' di sviluppo, attraverso la lenta costruzione di una solida base comune di dialogo, a partire dalla quale fosse possibile stabilire eventi e relazioni ben definite, prima che emergesse con forza un confronto tra proposizioni differenti o divenissero intelligibili domande precise intorno ad eventi problematici. Il caso di FE, descritto anteriormente, ci sembra essere stato esemplare, per aver mostrato l'importanza del saper aspettare da parte della intervistatrice, nonostante gli errori da lei commessi insistendo alcune volte inutilmente con domande che avevano poco significato per lo studente a causa del linguaggio utilizzato o a causa delle variabili messe a fuoco: in ogni caso il conflitto e' divenuto significativo per lo studente durante la seconda intervista, prendendo la forma di

una domanda che gli creava problemi (la causa del ritorno del proiettile di acciaio), ma che gli ha permesso di inglobare e integrare varie informazioni riguardanti la deformazione durante l'urto.

Varie situazioni di conflitto locale erano approfittate dalla intervistatrice come una occasione nella quale lo studente potesse usare tutte le sue capacita' di risoluzione, formulando ipotesi e discutendole; il punto importante era non permettere che lo studente finisse in un circolo vizioso o in una situazione di impotenza cognitiva. Il caso di CE, citato anteriormente come un esempio di conflitto locale, mostra un comportamento didattico poco felice, sia perche' l'intervistatrice non ha saputo riprendere subito, durante la prima intervista, l'esigenza di generalizzazione e unificazione della studentessa (probabilmente pensando che si trattasse di una esigenza debole), sia perche', quando nella seconda intervista la studentessa ha nuovamente ripreso da sola il problema, anche in questa occasione la sua esigenza intellettuale e' stata messa in disparte in favore di un altro conflitto. Un esempio di intervento didattico felice, nel quale un conflitto locale apparentemente chiuso e risolto e' stato riaperto naturalmente conducendo ad una nuova conclusione, e' accaduto con CE durante la prima intervista, quando le e' sorto il conflitto fra l'idea di un urto p-1 ideale e la necessita', imparata in classe, di una perdita di energia in calore durante gli urti. La studentessa ha sviluppato il conflitto da sola, ed ha concluso che nel caso di p-1 il proiettile non poteva trasferire tutta la sua energia al bersaglio. L'intervistatrice ha spostato l'analisi sulla differenza tra urti elastici e anelastici, concludendo con la dimostrazione di un urto c-1; il risultato questa volta ha stupito CE obbrigliandola ad ammettere per la prima volta che tutta l'energia passava dal proiettile al bersaglio.

La difficolta' dei conflitti in parallelo consisteva principalmente nella mancanza di percezione da parte della intervistatrice del conflitto nel quale stava immerso lo studente. Quando questo appariva di forma esplicita l'intervistatrice non aveva difficolta' ad aiutare lo studente nella soluzione del suo problema, riprendendo in seguito almeno una parte dei conflitti precedentemente trascurati. Nell'esempio di FE citato precedentemente l'intervistatrice si e' trovata varie volte di fronte a conflitti potenziali dello studente orientando il dialogo nella direzione di renderli espliciti e solamente alla fine ha compreso il problema effettivo che lo studente voleva risolvere, aiutandolo nel suo intento.

Quando il conflitto coinvolgeva direttamente idee spontanee, che risultavano fondamentali nella visione degli urti, la ristrutturazione profonda delle idee dello studente esigeva, per poter avvenire, che il problema fosse sufficientemente maturo; era il caso dei conflitti a spirale, come per esempio il confronto di THA tra il suo modello di azione e reazione e quello di trasferimento dell'energia. In queste situazioni l'intervistatrice cercava di elaborare una strategia a tappe successive, caratterizzate ciascuna da un grado di ristrutturazione minore e tali da aprire la possibilita' di soluzioni progressivamente piu' articolate. Quando percepiva che lo studente era maturo per un intervento piu' decisivo, il dialogo diventava serrato e le domande si succedevano aprindo continuamente nuovi conflitti, come ben dimostra l'esempio di conflitto in serie descritto precedentemente.

3) Condurre verso Soluzioni Conclusive

Le strategie didattiche utilizzate dalla intervistatrice appaiono anche nel modo di affrontare la **risoluzione dei conflitti** proposta dagli studenti. Lo sforzo implicito della intervistatrice era nella direzione di una soluzione conclusiva, nonostante che, a volte, conflitti con una conclusione ancora in aperto potessero essere provvisoriamente accantonati in attesa di sviluppi futuri più promissori. L'intervistatrice, alcune volte, e' comunque intervenuta per controllare quanto il problema fosse significativo per lo studente, in particolare offrendogli la possibilita' di porre domande. Quando poi si rendeva conto che lo studente manifestava dubbi che sembrava fossero stati risolti in precedenza, spesso utilizzava lo stratagemma di proporre un' analisi globale di tutti i casi analizzati, in modo da offrire un quadro nel quale si potessero manifestare e, possibilmente, risolvere i dubbi, come e' successo con PA e DA nella seconda intervista. Trovandosi di fronte ad idee ricorrenti che lo studente non riusciva a lasciare da parte, una tattica interessante dell'intervistatrice e' stata di aiutarlo ad individuare le possibili situazioni nelle quali le sue idee fossero in accordo con la descrizione scientifica accreditata, evitando cosi' che i dubbi continuassero a rappresentare una fonte di conflitto represso.

E' importante notare che di fronte a conclusioni in sospeso era necessario distinguere la natura del dubbio rimasto allo studente. I due casi di DA e NA citati precedentemente come esempi di soluzioni in sospeso, rappresentano situazioni cognitivamente differenti, nonostante la somiglianza apparente del riconoscimento di incapacita' degli studenti. Infatti il problema di DA (**perche' non esistono urti deboli nel pendolo?**) era un problema specifico, basato nella nozione personale di urto "debole" che trascurava la rotazione del proiettile prima dell'urto; invece il problema di NA era un problema piu' generale, basato nella interpretazione spontanea della seconda legge di Newton. Conseguentemente nel caso di NA l'approfondimento della relazione $f = ma$ ha provocato una risposta immediata dello studente, mentre nel caso di DA l'intervistatrice non e' riuscita a riprendere il conflitto durante tutta la prima intervista, praticamente ricominciando tutto di nuovo nella seconda.

Una strategia che varie volte l'intervistatrice ha avuto difficolta' ad applicare e' stata quella di pressioniare lo studente a definire le condizioni di validita' delle sue affermazioni. Per esempio quando finalmente CE ha ammesso che l'energia poteva essere trasferita totalmente dal proiettile al bersaglio, l'intervistatrice non ha approfondito il tema per definire in quali circostanze questa regola fosse rispettata. Come conseguenza, come abbiamo gia' visto precedentemente, CE ha continuato ad utilizzare la regola antica (impossibilita' di trasferimento totale) in p-2 e la nuova (possibilita' di trasferimento totale) in p-3 senza un criterio definito di scelta. In alcuni casi il controllo della situazione era ottenuto aumentando l'analisi sperimentale in modo da ottenere una maggiore familiarita' dello studente con il fenomeno come passo importante per mettere in luce le differenti condizioni al contorno e riorganizzare i casi in cui la vecchia e la nuova relazione funzionavano.

Anche nel caso di soluzioni conclusive raggiunte mediante l'introduzione di una nuova relazione tra le variabili in gioco, a volte e' risultato molto utile un approfondimento mediante nuove domande e nuovi esperimenti che controllassero la effettiva portata della nuova idea. Questo era esigito ancor piu' se la conclusione del conflitto era stata raggiunta

mediante la accettazione di un suggerimento della intervistatrice; un caso esemplare e' stato l'accettazione della idea di deformazione dell'acciaio da parte di THA, perche' l'intervistatrice ha sfruttato a lungo questa nuova conoscenza, riuscendo ad ottenere nuovi progressi.

ALCUNE CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI DIDATTICHE

La nostra distinzione tra conflitti potenziali e effettivi ci sembra totalmente compatibile con i risultati recenti riguardanti le reazioni degli studenti a dati incompatibili con le loro idee (Chinn & Brewer, 1993). Abbiamo incontrato casi nei quali la fonte del conflitto e' stata ignorata, rigettata, analizzata come un caso speciale, lasciata in sospeso, reinterpretata, usata per cambi superficiali o per cambi piu' profondi. Anche la nostra analisi degli interventi della intervistatrice ci sembra compatibile con le strategie didattiche suggerite dagli autori; tuttavia nel loro caso si tratta di strategie di largo respiro mirate al cambiamento concettuale, mentre nel nostro caso la meta era piu' modesta e si riferiva allo sviluppo dei conflitti. Ci sembra di essere riusciti a documentare vari casi di successo e insuccesso, interpretandoli in una prospettiva costruttivista di insegnamento e apprendimento.

a) La nostra conclusione piu' generale si riferisce alla **complessa dinamica** delle conoscenze degli studenti durante le interviste. Bagaglio cognitivo personale (idee spontanee, cultura scientifica e ecologia concettuale), evidenze sperimentali e interventi della intervistatrice hanno rappresentato tre fonti differenti ma interdipendenti di conflitti, che dovevano essere armonizzate affinche' lo studente si sviluppasse in direzione alla conoscenza scientifica.

Quando era trascurato il bagaglio cognitivo degli studenti il dialogo tra intervistatrice e studente perdeva progressivamente di significato e la possibilita' di influire nel conflitto rapidamente svaniva. D'altra parte quando si rinunciava alla possibilita' di fornire informazioni scientifiche precise si correva il rischio di sviluppi devianti in relazione all'apprendimento della conoscenza scientifica accreditata, ed era poi difficile riprendere i conflitti lasciati in sospeso e trasformarli in soluzioni conclusive. Le informazioni implicite o esplicite fornite dalla intervistatrice, a loro volta, sono state molto utili per aprire il cammino ad idee a prima vista strane o poco intelleggibili per gli studenti, soprattutto durante il processo di focalizzazione dei punti essenziali; i conflitti generati dai suggerimenti della intervistatrice divenivano spesso effettivi perche' sostenuti dal peso della sua autorita'. Infine, gli esperimenti semplici si sono dimostrati una fonte via via piu' valorizzata di conoscenze ed un punto di partenza potente per innescare conflitti effettivi; l'introduzione di una attivita' di esplorazione sperimentale garantiva quasi sempre l'esistenza di un riferimento fenomenologico oggettivo e facilitava il confronto fra proposizioni differenti (teoriche e sperimentali) (Villani & Orquiza, 1993).

b) Una caratteristica che ha richiamato la nostra attenzione analizzando le interviste, e' la **variabilita'** dei risultati effettivi prodotti da attivita' analoghe, che in un caso avevano un successo evidente ed in un altro poco contribuivano allo sviluppo cognitivo dello studente, nonostante l'obiettivo e la prospettiva dell'intervistatrice fossero identiche. Ci sembra che i

dati da noi raccolti suggeriscano un'attenzione speciale alla **risonanza didattica** tra le **iniziative** della intervistatrice e la **risposta** dello studente. Quando la disponibilit  dello studente era grande, come per esempio nel caso di THA e NA, la cui cultura scientifica era maggiore, qualsiasi suggerimento della intervistatrice diveniva immediatamente oggetto di analisi, anche se non apparteneva al loro campo di interesse specifico o interrompeva un conflitto in atto; tuttavia le soluzioni raggiunte avevano in alcuni casi una stabilit  limitata. Quando invece la disponibilit  dello studente era minore, come succedeva con DA e con CE, che preferivano sviluppare le loro idee, il problema era inserirsi nel conflitto dello studente orientando la sua attenzione sugli aspetti che dovevano essere elaborati o modificati. Perci  ci sembra di poter concludere che l'abilit  della intervistatrice si manifestava in due tappe. Inizialmente doveva percepire quanto il punto di vista dello studente fosse modificabile, in modo da scegliere tra lo sviluppare fino all'esaurimento le idee dello studente e l'insistere nella propria prospettiva fino alla sua accettazione da parte dello studente. In seguito doveva concludere il lavoro svolto orientando lo studente a raggiungere la conoscenza scientifica o garantendo l'approfondimento della conoscenza acquisita.

c) Ci sembra anche di poter concludere che la **risonanza cognitiva** tra gli elementi conflittivi in discussione e il dominio concettuale dello studente, costituiva un filtro capace di definire implicitamente le **possibilit ** intrinseche di **sviluppo cognitivo**. Quando gli elementi in discussione (per esempio l'importanza di cio' che succede nel momento in cui avviene l'urto) erano molto distanti dalle prospettive degli studenti (per esempio di FE che considerava l'urto fra pendoli come un processo globale) era estremamente improbabile uno sviluppo cognitivo centrato su di essi, indipendentemente dallo sforzo della intervistatrice. La sua abilit  in questo caso, sia per introdurre conflitti effettivi, sia per inserirsi nella loro dinamica, dipendeva dalla sua capacit  di modificare gli elementi in gioco rendendoli piu' significativi per lo studente e innescando un processo per tappe parziali successive. Nell'esempio citato, l'introduzione della somiglianza tra urti realizzati con i pendoli e quelli nella canaletta ha rappresentato un tipo di mediazione efficiente, capace di far emergere le variabili significative degli urti.

d) Infine la funzione della intervistatrice come **fonte di informazioni** merita una considerazione speciale. La nostra analisi suggerisce che il problema e' piuttosto complesso. Certamente gli interventi brevi che favorivano lo sviluppo dell'intervista, focalizzando meglio problemi o introducendo ipotesi chiaramente collegate con il contesto e facilmente comprensibili, sono state il lievito dello sviluppo intellettuale degli studenti. Invece gli interventi volti a fornire informazioni articolate hanno avuto effetti ambigui. Tutte le volte che tali interventi erano preceduti e seguiti da uno sforzo di **problematizzare** le nozioni in gioco, gli studenti riuscivano piu' facilmente ad applicarle con competenza; quando invece le informazioni superavano il dominio di problematizzazione, gli studenti sembravano non essere piu' in grado di valutarne la loro plausibilit  e utilit . Analogamente l'efficacia didattica della ripetizione delle osservazioni sperimentali sembra essere legata alla presenza di un **problema da risolvere** (Gil et al., 1988), che permetteva all'intervistatrice di chiamare l'attenzione sulle somiglianze e differenze, aiutando gli studenti a pensare per analogia, ad

associare l'urto con le caratteristiche del sistema in interazione e a trascurare progressivamente i dettagli scientificamente poco significativi.

Nella letteratura esiste una tendenza recente a rivalorizzare la funzione del docente come fonte di informazioni; le nostre conclusioni sono in accordo con quelle di altre ricerche anteriori (Dreyfuss et al., 1990; Sere', 1992; Jung, 1992), quanto all'ambiguit  dell'efficacia di fornire spiegazioni articolate. Ci sembra importante inoltre richiamare l'attenzione sulla fertilit  delle **informazioni implicite** fornite dalla intervistatrice allo studente nella gestione degli esperimenti e delle discussioni, riguardanti soprattutto il valore cognitivo della generalizzazione, della coerenza tra spiegazioni, della compatibilit  tra teoria e esperimento. Inoltre informazioni sulla individuazione e sul controllo delle variabili significative, sulla differenza tra situazione ideale e reale, sulle condizioni al contorno significative erano di fatto implicitamente trasmesse allo studente ogni volta che l'intervistatrice spostava deliberatamente su di loro il centro dell'analisi. Alcune modificazioni di comportamento degli studenti dalla prima alla seconda intervista sembrano infatti attribuibili all'effetto di tali informazioni implicite.

Ci sembra tuttavia che rimanga un lungo cammino da percorrere, soprattutto per quel che riguarda l'interazione degli studenti tra di loro e con l'insegnante, prima di raggiungere la meta suggerita da Dykstra (1992) e da Niedderer (1992) di rendere pienamente intelligibile il processo di cambiamento concettuale che avviene in classe.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Baird, J.R. & Mitchell, I.J. (eds.) - 1986 - **Improving the Quality of Teaching and Learning: An Australian Case Study-The PEEL Project**, Monash University, Melbourne.
- Brown, D & Clement, J. - 1992 - Classroom teaching experiments in mechanics. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies**. IPN. Kiel (D) 380-397
- Chinn, A.C. & Brewer, W.F. - 1993 - The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. **Review of Educational Research**, 63(1), 1-49.
- Dreyfus, A.; Jungwirth, E.; Eliovitch, R. - 1990 - Applying the 'Cognitive Conflict' strategy for conceptual change: Some implications, difficulties and problems. **Science Education**, 74(5), 555-569.
- Driver, R. - 1973 - The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students. **Doctoral dissertation**, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Duschl, R.A. & Gitomer, D.H. - 1991 - Epistemological Perspective on Conceptual Change: Implications for Educational Practice - **Journal of Research in Science Teaching**, 28(9) 839-858
- Dykstra, D. - 1992 - Studying conceptual change: Constructing new understandings. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies**. IPN. Kiel (D) 40-58.
- Gil, D.; Martinez-Torregrosa, J. & Senent, F. - 1988 - El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos. **Ensenanza de las Ciencias**, 6(2), 131-146.
- Grimellini, T. N.; Pecori, B.B.; Villani, A.; Casadio, C.; Pacca, J.L.A. - 1989 - **Teaching Strategies and Conceptual Change: The Case of Collisions in Mechanics**- Paper presented at Annual Meeting of the American Educational Research Association, S.Franisco, CA.
- Grimellini, T.N.; Pecori, B.B.; Pacca, J.L.A. & Villani, A. - 1993 - Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. **Science Education**, 77(2), 169-189.

- Hewson, P.W. - 1985 - Epistemological Commitments in the Learning of Science: Examples from Dynamics - *European Journal of Science Education*, 7, 163-172
- Hodson, D. - 1988 - Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66.
- Jung, W. - 1992 - Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. IPN. Kiel (D) 278-295
- Malgrange, J.L.; Saltiel, E.; & Viennot, L. - 1973 - Vecteurs, scalaire et grandeurs physiques. *Bulletin de la Société Française de Physique - Encart Pédagogiques*, 1, 3-13
- Mariani, M.C. - 1987 - Evolução das Concepções Espontâneas sobre Colisões - *Dissertação de Mestrado* - Universidade de São Paulo.
- Nachtigall, D.K.(ed.) - 1992 - *Proceeding of The International Conference on Physics Teachers' Education*. Dortmund (Germany).
- Nersessian, N.J. - 1989 - Conceptual change in science and science education, *Synthese*, 80, 163-183.
- Niedderer, H. & Schester, H. - 1992 - Toward an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. IPN. Kiel (D) 74-98
- Nussbaum, J.; Novick, S. - 1982 - Alternative Frameworks, Conceptual Conflicts and Accommodation: Toward a Principled Teaching Strategy - *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Posner, G.J., Strike, K.A.; Hewson, P.W.; Gertzog, W.A. - 1982 - Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change - *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Ricci, A. - 1987 - Uno studio sperimentale sulle rappresentazioni mentali degli studenti in meccanica: il caso degli urti, Tesi di Laurea, Università di Bologna.
- Rowell, J.A.; Dawson, C.J. - 1985 - Equilibration, Conflict and Instruction: A New Class-oriented Perspective - *European Journal of Science Education*, 7, 331-344.
- Rowell, J.A. - 1989 - Piagetian Epistemology, Equilibration and the Teaching of Science - *Synthese*, 80, 141-162.
- Scott, P.H.; Asoko, H.M.; Driver, R.H. - 1992 - Teaching for conceptual change: A review of strategies. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. IPN. Kiel (D) 310-329
- Séré, M.G. - 1992 - Learning by giving and receiving explanations. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. IPN. Kiel (D) 259-277.
- Strike, K.A. & Posner, G.J. - 1992 - A Revisionistic Theory of conceptual change. In Duschl & Hamilton (Eds.): *Philosophy of Science, Cognitive Science and Educational Theory and Practice*. Albany, NY, SUNY Press.
- Villani, A. - 1992 - Conceptual Change in Science and Science Education. *Science Education*, 76(2), 223-237.
- Villani, A & Orquiza, L.C. - 1993a - Representações mentais e Experimentos Qualitativos. Submitted to *Revista Brasileira de Ensino de Física*
- Villani, A. & Pacca, J.L.A. - 1990 - Spontaneous Reasoning of Graduate Students - *International Journal of Science Education*, 12(5), 589-600
- Wheatley, G.H. - 1991 - Constructivist Perspective on science and mathematics learning. *Science Education*, 75, 9-21
- Zollman, D. - 1992 - Preparing Elementary School Teachers: A Cooperative Program between Schools and University. Està em Nachtigall, D.K.(ed.) *Paper presented at The International Conference on Physics Teachers' Education*. Dortmund (Germany),

APPENDICE A: LE ATTIVITA' DIDATTICHE DELLA INTERVISTATRICE

Una delle principali attività dell'intervistatrice è stata quella di porre domande. Oltre a quelle sistematiche relative alla formulazione di previsioni, e alla descrizione e spiegazione dei risultati delle esperienze, le domande più significative hanno riguardato le **somiglianze e differenze** tra esperimenti, la **compatibilità** tra le risposte date dagli studenti in momenti diversi dell'intervista, la **possibilità** di utilizzare un determinato modello in una nuova situazione, la **possibilità** di produrre determinati risultati e le **conseguenze del trascurare alcune variabili** (non significative).

La funzione delle domande formulate dall'intervistatrice era molteplice: porre lo studente in una situazione problematica, compatibile con le sue possibilità cognitive, indicargli punti specifici su cui riflettere e suggerire un modo organizzato di pensare; simultaneamente e implicitamente erano valorizzati determinati tipi di informazioni e il dialogo era mantenuto in una prospettiva scientificamente accreditata.

L'intervistatrice ha fornito inoltre **informazioni brevi** a tutti gli studenti, suggerendo ipotesi, facendo commenti intorno ad affermazioni o richiamando alla mente relazioni già viste o risultati già osservati; in alcuni casi ha fornito anche **spiegazioni più lunghe** sia rispondendo a domande esplicite degli studenti, sia soddisfacendo a necessità implicite. Le informazioni rapide costituivano un aiuto specifico nello sviluppo concettuale degli studenti, mentre le eventuali spiegazioni complesse cercavano di dare loro una visione globale e sintetica dei principi fisici più importanti.

La **realizzazione di esperimenti** ha costituito un leit-motiv costante durante tutta l'intervista; una volta montati i dispositivi sperimentali, gli esperimenti erano semplici da realizzare e non richiedevano una preparazione precedente. Anche se lo studente aveva già osservato un risultato, l'intervistatrice ripeteva l'esperimento più volte durante il periodo nel quale si svolgeva la discussione che lo riguardava, permettendo così allo studente di focalizzare particolarità importanti da prendere in considerazione o da trascurare.

Molte volte era l'intervistatrice che chiedeva agli studenti di **ripetere gli esperimenti**. L'attività sperimentale aveva due funzioni: la prima era fare in modo che lo studente prendesse confidenza con le caratteristiche e i risultati dell'esperimento. La seconda funzione era la valorizzazione concettuale e cognitiva dell'attività sperimentale, principalmente dovuta all'insistenza della intervistatrice nell'ottenere risultati affidabili e nel riferirsi ad essi.

Una seconda richiesta formulata dalla intervistatrice è stata di **immaginare nuovi esperimenti**, analoghi a quelli realizzati, come per esempio urti con pendoli o sulla canaletta con palline di plastilina. In alcuni casi, oltre alle previsioni, la intervistatrice richiedeva di formulare conclusioni basate unicamente su risultati ipotetici, nell'intento di valorizzare ancora di più il processo di ragionamento per analogia.

Un'altra attività molto stimolante per gli studenti è stata quella di **richiedere loro di formulare domande**. I risultati sono stati interessanti, perché le domande degli studenti hanno messo direttamente in evidenza i punti essenziali che avevano costituito motivo di conflitto non ancora risolto. Le spiegazioni successive della intervistatrice sembrano aver rappresentato informazioni preziose per lo studente.

Eventi di questo tipo, nonostante siano stati poco frequenti, si sono dimostrati estremamente significativi perché rappresentavano tentativi di salvare un'idea teorica oppure una prospettiva di analisi; normalmente, dopo la immediata ripetizione dell'esperimento e il conseguente riconoscimento della divergenza, lo studente iniziava una ristrutturazione delle conoscenze possedute che avevano generato la previsione non corretta sul piano disciplinare. Il risultato di questo scontro cognitivo è stata la proliferazione di momenti di incomprensione e di conflitti rimasti meramente potenziali, seguiti da momenti di consapevolezza da parte dello studente della necessità di uno sforzo notevole per costruire una prospettiva comune; naturalmente non bisogna trascurare lo sforzo altrettanto notevole da parte della intervistatrice nel cercare di risolvere la situazione in modo costruttivo per lo studente.

APPENDICE B: GLI APPARECCHI E GLI ESPERIMENTI

L'apparecchio I era composto di un insieme di pendoli, costituiti da palline di acciaio di 50g (M) o 100g (G) sospesi in una struttura di legno. Le palline potevano essere staccate e sostituite. Questo permetteva di realizzare vari esempi di urto (fig 1):

p-1 era un urto $M \rightarrow M$, **p-4** era $M \rightarrow G$ e **p-5** era $G \rightarrow M$; il bersaglio inizialmente era a riposo in posizione verticale e il proiettile era abbandonato ad una determinata altezza.

In **p-1** il proiettile si fermava ed il bersaglio proseguiva praticamente con la stessa velocità iniziale del proiettile.

In **p-4** il proiettile ritornava con una piccola velocità ed il bersaglio proseguiva con velocità maggiore (ma inferiore a quella iniziale del proiettile).

In **p-5** il bersaglio continuava con velocità maggiore ed il proiettile continuava con velocità minore di quella iniziale.

p-2 e **p-3** erano urti $G \leftrightarrow G$ o $M \leftrightarrow M$

in **p-2** le palline abbandonate dalla stessa altezza e ritornavano praticamente alla stessa altezza;

in **p-3** le palline erano abbandonate da altezze differenti e tornavano indietro invertendo le loro altezze.

FIGURA 1 QUI

L'apparecchio II era costituito da una canaletta piana di 1cm di larghezza, e un insieme di palline di acciaio di 25g (P), 50g (M) e 100g (G). Vari esperimenti potevano essere realizzati variando la massa delle palline ed la maniera di lanciarle sulla canaletta. Quando erano lanciate in modo secco e rapido era ottenuto praticamente che scivolassero (Fig 2); quando invece erano abbandonate con un poco di rotazione continuavano rotolando fino a raggiungere il bersaglio (Fig. 3).

c-1 era l'urto $G \rightarrow G$, **c-3** era $G \rightarrow M$ e **c-5** era $M \rightarrow G$; il bersaglio era inizialmente a riposo e il proiettile era lanciato contro scivolando; il movimento del proiettile e del bersaglio dopo l'urto era praticamente identico a quello rispettivamente di **p-1**, **p-5** e **p-4**.

c-2 era l'urto $G \rightarrow G$, **c-4** era $G \rightarrow M$ e **c-6** era $M \rightarrow G$; il bersaglio era inizialmente in riposo e il proiettile era lanciato contro rotolando;

in **c-2** il proiettile continuava a rotolare in avanti dopo essersi fermato un breve istante ed il bersaglio continuava con una velocità un poco inferiore a quella iniziale del proiettile.

in **c-4** il proiettile ed il bersaglio continuavano a rotolare in avanti dopo l'urto, uno con velocità inferiore e l'altro con velocità superiore a quella iniziale del proiettile.

in **c-6** il bersaglio continuava con velocità inferiore a quella iniziale del proiettile; questi ritornava indietro un poco e poi si fermava o riprendeva con una piccola velocità in avanti, a seconda del modo in cui era stato lanciato e dell'urto.

c-8 e **c-9** erano urti $G \leftrightarrow G$; le palline erano lanciate con la stessa velocità una contro l'altra con scivolamento (**c-8**) e rotolamento (**c-9**); ritornavano indietro con velocità eguali tra di loro, ma inferiori a quelle di lancio.

c-7 era un urto $P \rightarrow P$; il proiettile P era lanciato scivolando contro un bersaglio in riposo composto di sei palline (P) appoggiate una altra. Varianti di **c-7** erano costituite lanciando due (PP) o tre (PPP) palline sul bersaglio. Come risultato le palline che formavano il proiettile si fermavano ed un numero uguale di palline abbandonava il bersaglio con una velocità simile a quella del proiettile.

FIGURA 2 e 3 QUI

L'apparato III era formato di alcune palle di plastilina, gomma dura, gomma leggera e acciaio e di alcune piastre di plastilina, legno e spugna. Con esse venivano realizzati urti elastici e anelastici.

L'apparecchio IV era formato di due carrelli di massa 100g ciascuno con un respingente a molla che poteva scattare, di una guida con un sostegno e di alcuni blocchi di 100g. Con essi potevano essere realizzati vari esperimenti; quelli che interessano in questo lavoro sono:

T-1: Un carrello caricato con un blocco era lanciato e quando passava sotto al sostegno un altro blocco cadeva su di esso ed era trascinato insieme. Il risultato era una diminuzione di velocità del carrello.

T-2: Due carrelli erano posti in contatto con i respingenti pronti per scattare. Quando la sicurezza veniva tolta, i due carrelli ricevevano un impulso ed acquistavano una velocità uguale, percorrendo un cammino praticamente uguale prima di fermarsi per l'attrito.

T-3: L'esperimento precedente, ma con uno dei carrelli caricato con due blocchi. Le velocità dopo l'esplosione erano una doppia dell'altra e inversamente proporzionali alle masse.

FIGURA 4 QUI

APPENDICE C: ESEMPI DI CONFLITTI

a) Conflitto Incipiente

I- "Se abbandono questa sfera da una certa altezza (p-1), cosa pensi che succederà?"

FE- "Esse andranno a interagire; continueranno a urtarsi."

I- "Io abbandono questa pallina in alto, batte contro l'altra, cosa succede nel primo urto con ciascuna pallina?"

FE- "Questa (il bersaglio), anche lei prenderà una certa velocità..."

I- "E l'altra, cosa succede con quella incidente?"

FE- "Non so, ma forse può anche accompagnare l'altra o forse arrivare...A seconda che l'altra (il bersaglio) arrivi la sopra e batte (nel ritorno), può anche fermarsi."

I- "Sì, ma mi riferisco solamente al primo urto"

FE- "Questa qui (bersaglio) prende una certa velocità e forse quando questa (incidente) arriva in questo punto (mostra il punto più in basso della sua traiettoria) e si ferma, l'altra che è salita può urtarla (con la mano accompagna il supposto movimento del bersaglio al ritorno)."

I- "Il proiettile, nel primo urto, si muoverà o si fermerà? Cosa gli succede?"

FE- "Urterà con l'altra; questa prenderà un movimento, salirà e ritornerà giustamente contro l'incidente."

I- "Ma l'incidente sale anche lei?"

FE- "Può fermarsi in un determinato punto. Lei aspetta che l'altra salga...Dopo ci sarà l'urto..."

I- "Perché pensi che succeda così?"

FE- "Perché una interagisce con l'altra....E' come un giocattolo...non so..."

b) Conflitto Locale

CE- "Perché quando la lanciamo con meno forza, la pallina continua insieme all'alt (esegue c-2)... Continua se la massa (del proiettile) è maggiore o uguale. Se la massa è minore (esegue c-6), si ferma, anche se è lanciata con poca forza."

I- "Lasciami fare un piccolo trucco (esegue c-5)"

CE- "Ah! E' ritornata (delusa)...Se io metto la stessa energia in una piccola o in una maggiore, chi avrà più velocità? La piccola, eh?"

I- "Perché questa domanda?"

CE- "Non so, quanto maggiore la velocità... Se questa è minore ed ha maggiore velocità... seconda della velocità che le dai, va avanti o torna indietro. Se fai così (c-6) si ferma. Se fai così (c-2) va insieme (al bersaglio) con la stessa forza... Sto pensando se la velocità influisce...Sto pensando se la massa influisce nella velocità..."

c) **Conflitto in Parallelo**

L'intervistatrice aveva chiesto allo studente una previsione su un esperimento immaginario di tipo p-2, ma con palline di plastilina. FE ha previsto che, dopo l'urto, si sarebbe ottenuto un movimento oscillatorio delle due palline unite, causato, probabilmente "da una forza elastica (tra le due palline) che accompagnava il movimento". L'intervistatrice allora ha introdotto un nuovo esperimento immaginario sempre di tipo p-2, ma con palline di gomma, chiedendogli di confrontare i due casi. FE ha confermato la distinzione: esisteva una "forza elastica" tra le palline di plastilina, che spiegava il movimento oscillatorio ed una "forza anelastica" tra le palline di gomma, che spiegava il loro rimbalzo dopo l'urto. Tuttavia rimaneva un dubbio su come spiegare il caso di c-8, con le palline di acciaio che rimbalzavano dopo l'urto.

FE- "Tu hai detto che ci sono due maniere di lanciare le palline, non e' vero?"

I- "Certo"

FE- "Una maniera e' che la pallina A si avvicini a B (mostra le due palline si avvicinando una all'altra). Poi ci sara' una interazione tra le due ... Poi si allontaneranno. Perche' succede cosi'?" Esse (le palline di acciaio) non potrebbero fermarsi lì nel punto di contatto tra le due?"

Per FE i due modi di lanciare sono caratterizzati dal produrre o no il rimbalzo; invece per l'intervistatrice sono caratterizzati dallo scivolamento oppure dal rotolamento.

I- "Perche' ritornano? La tua domanda ha qualcosa a che vedere con il differente modo di lanciarle oppure no?"

FE- "Esattamente. Si deve trattare di qualcosa di anelastico o cosa simile. Perche' se si trattasse di queste due qui (mostra le due palline di plastilina), esse si unirebbero.."

L'intervistatrice non approfittò del suggerimento di analogia (qualcosa di "anelastico") tra le palline di gomma e quelle di acciaio, perche' pensava nel conflitto oggettivo apparso precedentemente (il movimento oscillatorio con le due palline di plastilina); per questo introdusse un urto frontale di tipo c-8 con palline di plastilina e gli chiese nuovamente un confronto con il corrispondente di tipo p-2. FE confermò che in c-8 le palline di plastilina si sarebbero fermate, mentre in p-2 avrebbero continuato a oscillare insieme.

I- "Perche' la' (nel pendolo) si muovono e qui (nella canaletta) si fermano?"

FE- "Perche'...Perche' nel contatto, nell'interazione qui (mostra le due palline sulla canaletta)...sara' che esiste una forza elastica che impedisce l'allontanamento (reciproco)?"

L'intervistatrice era in dubbio se rispondere immediatamente, quando fu interrotta dallo studente che suggerì una nuova ipotesi: forse l'urto tra le palline di plastilina avrebbe mostrato un allontanamento reciproco, come nel caso delle palline di acciaio, se si fosse modificata la loro massa o la loro velocità. L'intervistatrice, non avendo chiara la situazione conflittuale dello studente, approfittò dell'idea per ricapitolare i vari casi analizzati precedentemente con le palline di acciaio, nella speranza di risolvere un altro conflitto rimasto in aperto, la differenza tra c-1 e c-2. Ma per FE il problema con le palline di acciaio era differente e ben più profondo, come rivelò subito dopo: "perche' alcune volte le palline si fermano o continuano nello stesso senso del lancio e altre volte rimbalzano?"

d) **Conflitto in Serie**

NA aveva fatto la previsione che in c-5 il proiettile si sarebbe fermato "trasmettendo tutta la sua velocità al bersaglio". Osservando varie volte il rimbalzo del bersaglio dopo l'urto egli disse che l'effetto era dovuto alla presenza dell'azione e della reazione. L'intervistatrice chiese se non era possibile spiegare mediante la trasmissione di energia (già usata precedentemente dallo studente)

NA- "No, sarebbe la trasmissione della forza... La forza che agiva sulla pallina (bersaglio) e' stata restituita... La reazione ha spostato l'altra (il proiettile)".

I- "Azione e reazione, quale e' maggiore?"

NA- "Sono uguali"

I- "Perche' gli effetti sono cosi' differenti? (Ripete l'esperimento due volte) Chi ha velocità maggiore?"

NA- "La maggiore... La forza e' massa per accelerazione....se la massa e' maggiore l'accelerazione costante, la forza e' maggiore"

I- "Ma non siamo partiti da forze uguali?"

NA- "La velocità della pallina minore e' minore, perche' la forza e' uguale e la massa e' minore..."

I- "Stai pensando, alla relazione $F=m \cdot a$?

NA- "Si"

I- "(Il tuo ragionamento e' che) la velocità e' minore, e la massa e' minore, quindi la forza e' minore?"

NA- "No, la forza e' costante... No, la forza deve essere differente, perche'...La forza costante e l'accelerazione di una e' maggiore dell'altra...No, la velocità della (pallina) minore e' maggiore di quella della (pallina) maggiore..."

I- "Ma non avevi osservato che la velocità della minore era minore?"

NA- "No, la velocità della minore e' maggiore"

I- "Vediamo nuovamente (ripete due volte l'esperimento)

NA- "Allora...non so. Se l'accelerazione della pallina maggiore e' maggiore, allora la forza che sta in lei e' maggiore."

Il dialogo continuo' con NA che affermava di aver imparato a scuola che azione e reazione erano uguali e che forse in questo caso il sistema non era isolato ed esistevano forze esterne, come l'attrito e la resistenza dell'aria. L'intervistatrice suggerì di analizzare il caso di p-4.

I- "Cosa succedera' se abbandoniamo la pallina minore da una certa altezza?"

NA- "Azione e reazione devono essere uguali, quindi le due palline devono raggiungere la stessa altezza"

I- "Anche se le masse sono differenti?"

NA- "No, aspetta. Azione uguale a reazione...allora...la minore deve raggiungere una altezza maggiore."

I- "Vediamo (realizza alcune volte l'esperimento). Proviamo a partire da più in alto, per vedere meglio l'effetto del primo urto (realizza nuovamente p-4)

NA- "La minore e' arrivata più in basso...Non so"

I- "Per te, la minore doveva arrivare più in alto per essere d'accordo con l'uguaglianza dell'azione e della reazione?"

NA- "Si'...Perche' la minore e' andata più piano? L'azione non e' uguale alla reazione...L'azione e' uguale alla reazione o no?"

c) Conflitto a Spirale

Dopo aver spiegato p-1 e p-5 come esempi di trasferimento di energia, THA e' rimasta molto sorpresa del rimbalzo del proiettile in p-4, cercando una possibile spiegazione nell'idea di trasferimento totale nella direzione del movimento, dell'energia dalla pallina media alla grande, fino al momento della sua fermata, e in qualche meccanismo sconosciuto responsabile del rimbalzo del proiettile. Dopo aver tentato di applicare lo schema di trasferimento totale anche a p-5, nell'urto tra una pallina grande ed un bersaglio medio, fino a modificare il risultato dell'esperimento, ha dovuto ricredersi di fronte ad una osservazione piu' attenta; come risultato il modello di trasferimento totale e' rimasto valido solo per p-1 e il rimbalzo del proiettile in p-4 e' rimasto misterioso. Il dialogo e' proseguito spostando l'attenzione sul problema del chiarimento della differenza tra c-1 e c-2, fino ad un certo momento in cui la intervistatrice ha suggerito di considerare le forze durante l'urto. Dopo aver analizzato vari casi si e' ritornati al problema di p-4, questa volta immediatamente risolto da THA mediante l'idea di azione e reazione. Ma questa soluzione ha innescato un problema nuovo: il ruolo dell'azione e reazione negli altri esperimenti, inclusi quelli nella canaletta. Un nuovo passo in avanti e' stato ottenuto quando si e' riconosciuto che la reazione in c-1 era responsabile per l'arresto del proiettile e il conflitto e' stato parzialmente risolto; il dialogo si e' spostato sull'analisi della forza durante il lancio di un proiettile e l'intervistatrice ha discusso dettagliatamente la relazione $f=ma$ e il problema della relazione tra forza e movimento. Finalmente ritornando all'analisi degli urti, il rimbalzo del proiettile in p-4 e' stato confermato come effetto della reazione, ma THA ha accennato ad un dubbio sulla validita' della stessa spiegazione nel caso p-1, nonostante il problema sembrasse essere stato risolto precedentemente. Sfortunatamente l'intervistatrice non ha afferrato l'espressione di dubbio della studentessa e ha considerato il problema risolto definitivamente, dimenticando anche di trattare esplicitamente il caso di p-5.

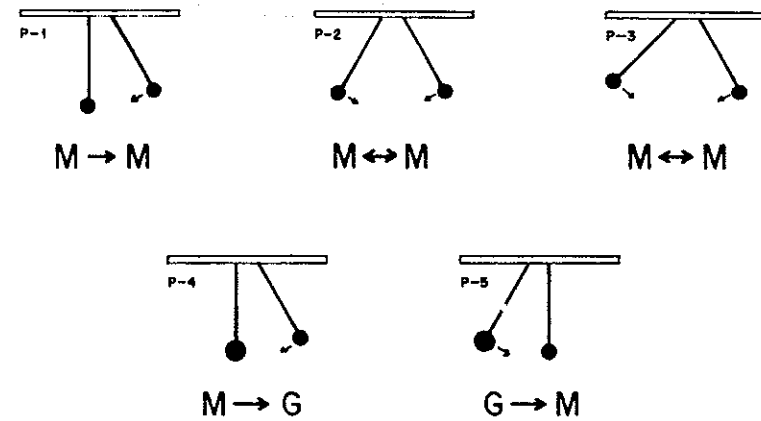


Fig. 1: Pendolo

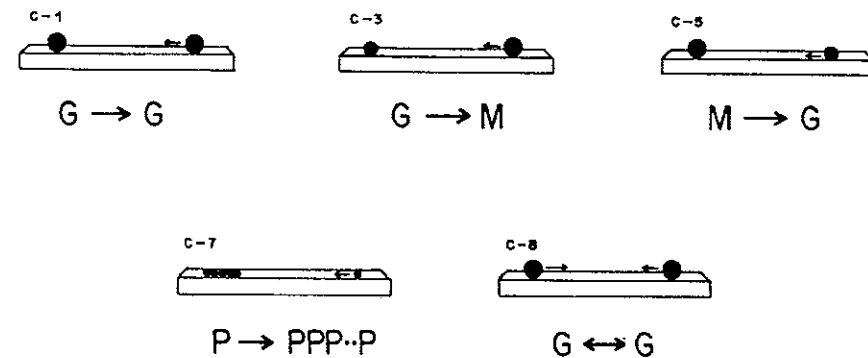


Fig. 2: Canaletta: scivolamento

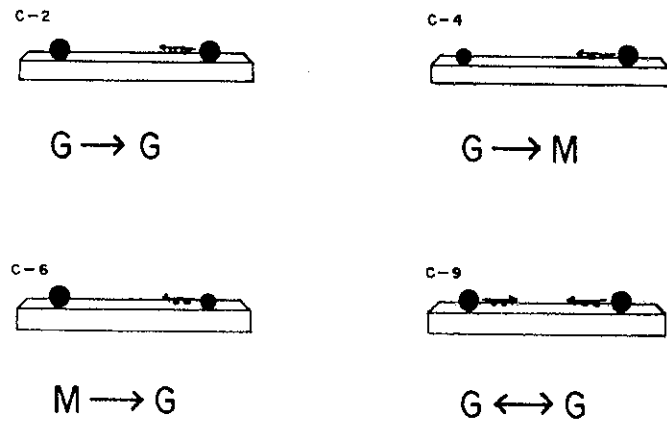


Fig. 3: Canaletta: rotolamento

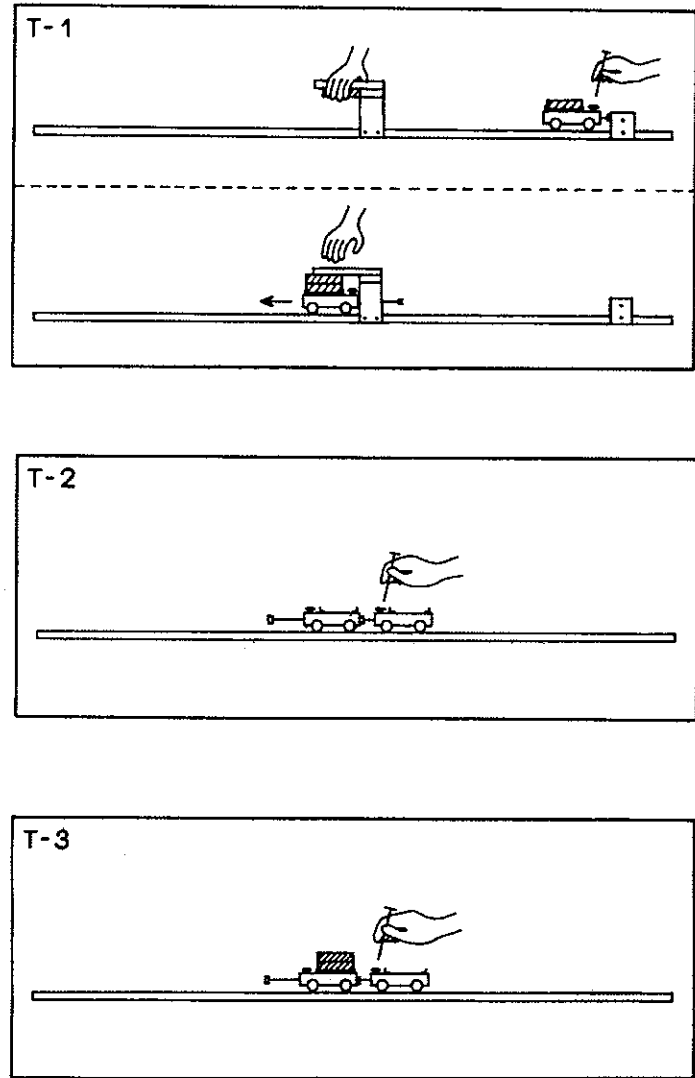


Fig. 4: Carrelli