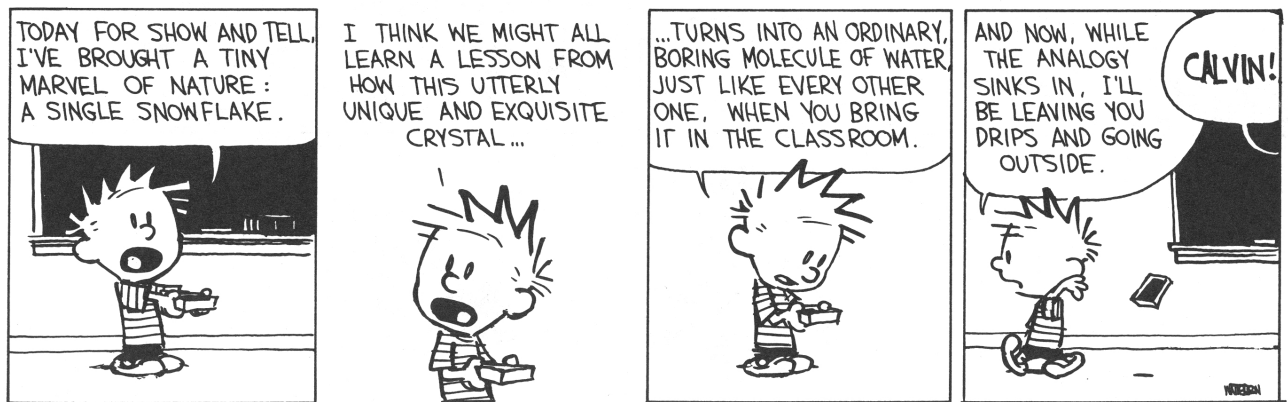


LE FORZE

Nicolas Cretton



Lavoro di documentazione

Alta Scuola Pedagogica di Locarno - Maggio 2005

A Babi, per aver sopportato il mio umore durante questo primo anno di scuola pedagogica e per aver riletto questo lavoro,

ai miei allievi di prima e di seconda, senza i quali questo lavoro non sarebbe stato possibile.

Indice

Introduzione	1
1 Modello d'apprendimento	3
1.1 Apprendere	4
1.2 Ostacoli	4
1.3 Concezioni	4
1.4 Come scoprire le concezioni degli allievi?	5
1.5 Come correggere le concezioni degli allievi?	6
1.6 Conclusione e scelte didattiche	7
2 Aspetti storici	9
2.1 Fisica aristotelica	9
2.2 Fisica dell'Impeto	10
2.3 Fisica newtoniana	12
3 Concezioni e insegnamento	13
3.1 Raccolta delle concezioni	13
3.1.1 Classe prima	13
3.1.2 Classe seconda	13
3.2 Risultati e insegnamento per le due classi di seconda	14
3.2.1 Domanda 1	14
3.2.2 Domanda 2-7-8	17
3.2.3 Domanda 3	18
3.2.4 Domanda 4.1	19
3.2.5 Domanda 4.2	21
3.2.6 Domanda 4.3 (prima parte)	21
3.2.7 Domanda 4.3 (seconda parte)	21
3.2.8 Domanda 5	22
3.2.9 Domanda 6	23
3.2.10 Domanda 9	24
3.3 Risultati e insegnamento per la classe di prima	24

4	Verifica dell'insegnamento	27
4.1	Classe seconda	27
4.1.1	Domanda 1.1	28
4.1.2	Domanda 1.2	28
4.1.3	Domanda 1.3	29
4.1.4	Domanda 2.1	29
4.1.5	Domanda 2.2	29
4.1.6	Domanda 2.3	30
4.1.7	Domanda 2.4	30
4.1.8	Domanda 3	30
4.1.9	Domanda 4.1	31
4.1.10	Domanda 4.2	31
4.2	Conclusioni per la classe seconda	32
4.3	Classe prima	32
4.3.1	Domanda 1: La forza risultante che agisce sulla pallina è sempre verso il basso mentre essa è in volo?	32
4.3.2	Domanda 1: La forza risultante che agisce sulla pallina è verso l'alto mentre essa è spinta dalla mano?	32
4.3.3	Domanda 1: Il grafico velocità-tempo della fase in volo è una retta (moto uniformemente accelerato)?	33
4.3.4	Domanda 1: La velocità può prendere valori positivi o negativi (salita o discesa)?	33
4.3.5	Domanda 1: distinzione tra 'moto uniformemente accelerato' e 'moto uniforme' e senso dell'accelerazione?	33
4.3.6	Domanda 2a	33
4.3.7	Domanda 2b	33
4.3.8	Domanda 2c	33
4.3.9	Domanda 2d	33
4.3.10	Domanda 2e	33
4.3.11	Domanda 2f	33
4.3.12	Domanda 3	34
4.4	Conclusioni per la classe prima	34
	Conclusioni	35
	Referenze	37
5	Allegati	39
5.1	Il questionario per la classe prima	39
5.2	Il questionario per le classi seconde	41
5.3	La verifica per le classi seconde	46
5.4	La verifica per la classe prima	49
	Ringraziamenti	51

Introduzione

Questo lavoro si propone di illustrare l'insegnamento del concetto di forza e di alcuni principi fondamentali della dinamica newtoniana agli allievi di prima e di seconda del liceo Lugano 2. Con la prima abbiamo affrontato il caso ad una dimensione, con le seconde abbiamo potuto trattare anche i problemi bidimensionali.

Il punto di partenza dell'intero lavoro (e la base per il mio successivo insegnamento) è costituito dall'analisi delle concezioni degli allievi sulla forza e delle conseguenze che tali concezioni hanno nella risoluzione di problemi. Le concezioni degli allievi si basano prevalentemente sul "senso comune", lo stesso senso comune che ha motivato gli scienziati del passato a sviluppare le prime teorie fisiche. È stato estremamente illuminante scoprire che alcune concezioni degli allievi corrispondono quasi esattamente alle teorie che ritroviamo nel medioevo (ad es. il concetto dell'impeto). A causa di questa analogia un breve capitolo è stato dedicato ad alcuni aspetti storici in materia di forze.

Ho ritenuto opportuno far precedere queste tematiche, specifiche al soggetto delle forze, da un capitolo introduttivo che sintetizza gli aspetti generali sul metodo di apprendimento da me prescelto.

Il lavoro svolto con gli allievi si suddivide in tre parti: 1) La raccolta delle concezioni attraverso la proposizione di un questionario iniziale, 2) l'insegnamento mirato a correggere, se necessario, queste concezioni e 3) la verifica dell'insegnamento attraverso la proposizione di un diverso questionario finale. Questa parte (capitoli 3 e 4) costituisce la sezione centrale e più impegnativa di questo lavoro.

Ho deciso di commentare le domande dei questionari una ad una, visto che non ho riscontrato una divisione unica delle concezioni degli allievi comune e applicabile a tutte le domande. A volte è stato difficile raggruppare i profili solo in 2 o 3 gruppi. Per chiarezza espositiva e per facilitare la lettura ho fatto seguire¹ a ciascuna domanda l'esposizione delle soluzioni d'insegnamento adottate sulla base dei risultati della raccolta delle concezioni.

Nell'insegnamento mi sono sforzato di trovare sempre più di una soluzione didattica: spesso, come anche notato dagli allievi, è la combinazione di varie soluzioni che permette la costruzione di un concetto. Una dimostrazione reale o su filmato accompagnata dalla spiegazione formale permette di "convincere" meglio gli allievi. In due casi, una simulazione animata sul computer ha permesso di visualizzare non solo la traiettoria, ma anche le forze e le velocità in gioco.

¹ invece di includerli in allegato alla fine

Capitolo 1

Modello d'apprendimento

Numerose ricerche sulle concezioni degli allievi in fisica, condotte in vari paesi negli ultimi venti anni, hanno messo in evidenza un quadro piuttosto raccapricciante. Gran parte degli studenti (se non la maggior parte di loro) malgrado abbiano seguito un insegnamento di fisica di base non hanno assimilato i principi fondamentali della meccanica newtoniana: vedasi ad es. gli studi di Viennot (1979) condotti su studenti francesi, belgi e inglesi di livello vario (dalla fine del medio superiore al terzo anno universitario), quelli di Fuschini, Grimelli Tomasini & Pecori Balandi (1984) fatti alla Facoltà di Scienze e di Ingegneria dell'Università di Bologna, quelli di Clement (1982) con studenti americani del primo anno di Ingegneria e quelli di Hallou & Hestenes (1985a, b). Proprio su uno di quest'ultimi autori, all'origine della più esaustiva investigazione condotta su circa 2000 studenti statunitensi (più di 1500 del liceo e 500 dell'università), il "Force Concept Inventory" (Hestenes, Wells & Swackhamer 1992), ho parzialmente basato il mio questionario per la raccolta delle concezioni dei miei allievi di prima e seconda liceo¹.

Dalle conclusioni di queste pubblicazioni sembra che un insegnamento "classico", anche se proveniente da insegnanti di qualità, non è in grado di convincere in modo durevole la maggior parte degli allievi visto che, una volta finito l'insegnamento, essi tornano alle precedenti concezioni di senso comune (Hallou & Hestenes, 1985a). Nella speranza di correggere questa situazione numerose ricerche pedagogiche sono state svolte negli ultimi anni. Il modello d'insegnamento e d'apprendimento che ho adottato nel resto di questo lavoro segue il modello allosterico² proposto da Giordan (Giordan, de Vecchi, 1994; Giordan, Girault & Clément, 1994 e Honorez, 2000). Schematizzando, si potrebbe dire che questo modello ha tre caratteristiche fondamentali:

1. esso definisce cosa vuol dire *apprendere*,
2. tiene conto di una serie di *ostacoli* all'apprendimento,
3. descrive alcune *soluzione didattiche* per superare gli ostacoli all'apprendimento.

¹Per motivi di discrezione le domande di questo questionario non sono mai state pubblicate, ma i docenti possono ottenerle per email.

²La parola "allosterica" trova la sua origine in biologia: essa caratterizza la proprietà di alcune proteine di modificare la loro struttura sotto l'influenza di un fattore esterno. Per esempio l'emoglobina è in grado di fissare l'ossigeno solo dopo aver modificato la sua configurazione.

Vale la pena di elaborare brevemente questi tre punti nei prossimi paragrafi perché essi formano la colonna vertebrale del percorso seguito in questo lavoro.

1.1 Apprendere

Cito a questo proposito il significato di apprendere secondo Giordan, riportato in Honorez (2000).

"Apprendre n'est pas un simple processus de stockage de l'information mais une élaboration, une construction de savoirs et de savoir-faire. Seul l'élève peut construire son savoir. C'est par une série de corrections et de rectifications successives des connaissances mobilisées qu'il pourra accéder à un certain niveau de formulation plus proche du savoir scientifique."

Per apprendere l'allievo deve costruire e organizzare una rete di sapere, o piuttosto aggiungere nuovi concetti alla rete preesistente e correggere vecchi concetti. Spesso però, i nuovi concetti proposti dall'insegnante entrano in conflitto con quelli che l'allievo si è già costruito nell'arco di una vita. Sono proprio questi concetti preesistenti a costituire i più importanti *ostacoli* all'apprendimento. Vigotsky (1975) aggiunge a questo proposito che nella costruzione dei concetti e nel superamento degli ostacoli il ruolo del docente è essenziale. Il processo d'apprendimento funziona in modo ottimale se l'allievo possiede già conoscenze di base e se lo stadio superiore di conoscenze dove lo intende portare il docente non è troppo lontano da quello di partenza (zona di sviluppo potenziale o prossimale).

1.2 Ostacoli

Per Giordan i principali ostacoli all'apprendimento sono:

1. la mancanza di informazione e di capacità logico-formali: la rete pre-esistente è troppo povera e non permette di assimilare il nuovo concetto,
2. l'allievo non vuole cambiare concezioni, perché non si sente coinvolto o perché le domande dell'insegnante non sono quelle che egli si pone,
3. l'allievo non si pone domande perché crede (a torto) di avere già una spiegazione che sembra funzionare. Quasi sempre queste spiegazioni si sono forgiate dopo anni di esperienza quotidiana e sono pertanto molto difficili da cambiare.
4. l'allievo ha delle concezioni che sono degli ostacoli all'apprendimento scientifico. Naturalmente egli non si rende conto della presenza di questi ostacoli, ciò rende la missione dell'insegnante molto più difficile.

1.3 Concezioni

L'idea dell'ultimo ostacolo elencato da Giordan trova la sua origine in Bachelard, il quale è stato uno dei primi a rendersi conto dell'importanza dei concetti già formati ("des connaissances empiriques déjà constituées") prima di ogni tipo di insegnamento scientifico e delle loro conseguenze nell'acquisizione di nuove conoscenze (Bachelard,

1938). Quando Bachelard parla del concetto come un "ostacolo epistemologico", intende dire che sono proprio le nostre conoscenze anteriori sbagliate, o almeno, non conformi alle teorie scientifiche comunemente accettate, che creano ostacoli cognitivi alla spiritualizzazione. Per Bachelard quest'idea è centrale nei processi di apprendimento (e di conseguenza anche di insegnamento!). Egli si spinge fino a dire che "c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique". Ritroviamo l'idea di "concezione" nei lavori di lingua francese quando parlano di "déjà là conceptuel" (vedere le referenze in Giordan, Girault, & Clément, 1994). Nello stesso spirito, Viennot (1979) parla di "ragionamenti spontanei o intuitivi" e Halloun & Hestenes (1985b) usano l'appellativo di "common sense".

Per l'allievo le concezioni sono molto importanti, perché esse costituiscono la sua griglia di lettura del mondo: Esse permettono la classificazione, il "dare senso" a un nuovo fenomeno o conoscenza. E. Roletto (2004) usa però la metafora dell'iceberg (già introdotta da Jonnaert, 1988) in un senso leggermente diverso e fa la distinzione tra le concezioni (parte emersa) e le conoscenze (parte sommersa), "in quanto le prime non sarebbero altro che indicatori delle seconde". Come Giordan, preferisco parlare di concezioni e dire che nella parte sommersa dell'iceberg si trovano le concezioni prestabilite e i nessi della rete che permettono i legami tra i concetti. Nelle concezioni degli allievi possiamo ritrovare concetti scientifici accanto a credenze senza alcun fondamento serio. A volte le concezioni prendono l'apparenza del ragionamento scientifico, probabilmente nella speranza di (auto-)convincere il suo autore o il docente ("Le système explicatif spontané s'infiltré, à des degrés divers, dans la pratique scolaire des étudiants, en prenant des airs de formalisme.", Viennot, 1979, p. 150).

Le concezioni più difficili da correggere sono quelle di cui l'allievo non ha nemmeno coscienza, per esempio quando dice che "è logico!": Gli allievi non sono abituati a riflettere sui loro ragionamenti (meta-cognizione) e pertanto è essenziale che il docente chieda loro di spiegare "che intendi con ...?", "cosa vuol dire ...?", ecc.

Il prossimo passo necessario (ma non sufficiente) nel processo di apprendimento è quindi di **identificare le concezioni** degli allievi, per toccare proprio il cuore dei problemi che gli allievi incontrano nell'apprendimento.

1.4 Come scoprire le concezioni degli allievi?

De Vecchi & Giordan (1989) propongono tutta una lista di soluzioni, di cui riporto quelle che ho deciso di utilizzare:

- farli disegnare;
- porre domande agli allievi, chiedendo di esplicitare come sono arrivati ad un certo risultato. Le domande che trattano casi reali di cui hanno già avuto esperienza sono particolarmente interessanti;
- far vedere dimostrazioni reali (esperienze di laboratorio) o simulazioni e chiedere di spiegare quello che vedono;
- creare un confronto tra allievi che hanno concezioni diverse.

In questo lavoro ho provato ad usare queste soluzioni utilizzando come punto di partenza un questionario basato principalmente sugli studi fatti da Viennot (1979) e Halloun & Hestenes (1985a,b) (vedi Capitolo 3.1).

1.5 Come correggere le concezioni degli allievi?

Per correggere le concezioni, soprattutto quelle radicate in anni di esperienza³, sembra che la lezione frontale, in cui il docente semplicemente trasmette agli allievi la visione corretta scientifica, abbia poche probabilità di i) convincere veramente l'allievo e ii) lasciare un segno duraturo. Non dobbiamo illuderci dell'efficacia di un insegnamento solo perché l'allievo è in grado di dare la risposta giusta in un lavoro scritto, anche se questo è composto di domande diverse da quelle studiate durante l'insegnamento. Chiedere la giustificazione permette già di sondare un po' di più le concezioni degli allievi.

Possiamo usare il "metodo scientifico" per rovesciare una concezione errata, cioè abbandonare una concezione, se le sue predizioni non sono conformi all'esperienza? Sembra proprio di no: a questo proposito, Viennot (1979, p.150) scrive che "le fait qu'une prévision construite sur le modèle spontané se révèle fausse ne suffit pas à détrôner celui-ci. Le développement cognitif des enfants en témoigne : la prévision se réajuste au vu de l'expérience [...], l'explication s'adapte, mais selon les mêmes modalités."

A questo punto due premesse sono essenziali: 1) assicurarsi della giustezza della definizione delle grandezze fisiche, p. es., la forza è definita come un'interazione, e *non* come una proprietà dei corpi e 2) insistere sul bisogno di coerenza, sempre e dappertutto. Questo bisogno essenziale trova anche la sua giustificazione da un punto di vista epistemologico, perché come ben descritto da Hestnes et al. (1992):

"one great strength of Newtonian mechanics is that it is a *coherent* conceptual system, and this can have as much impact on student learning as it did on scientists adopting the system in the first place."

Quest'ultimo punto di riflessione non è per niente evidente per gli allievi: di fronte a situazioni diverse essi possono saltare da una concezione ad un'altra, malgrado evidenti contraddizioni. Come soluzione pratica non ho trovato di meglio che mettere in evidenza le due affermazioni contraddittorie; di solito, scoprono e ammettono subito il loro errore. Dopo aver visto molti esempi in cui entra in gioco lo stesso concetto, non saltano più da una concezione ad un'altra, ma riconoscono le analogie tra le varie situazioni: la coerenza scientifica si acquisisce solo dopo un lungo e ripetuto esercizio della pratica scientifica.

Viennot raccomanda di non insistere solo sull'aspetto formale (anche se di per se ha la potenzialità di raggiungere lo scopo) perché esso renderebbe le lezioni molto pesanti. Sembra molto più efficace **portare gli allievi a rendersi conto delle loro contraddizioni**. Quando la risoluzione del problema trova la sua origine nell'allievo, egli ci crederà molto di più che se essa viene dal docente. Oltre ad essere un esercizio gratificante sarà l'allievo stesso, usando la *sua* rete di neuroni, che scoprirà il problema e potrà pertanto

³l'intraducibile parola inglese "gut feeling" rende bene l'idea

classificarlo e integrarlo meglio. Parafraso in questo senso le parole di Viennot quando dice che *"Le modèle formel ne prend sa pleine efficacité que lorsqu'on a pu en comparer les rouages à ceux du raisonnement spontané."* Un parere analogo si ritrova in Halloun & Hestenes (1985b) quando parlano di meta-cognizione:

"After long discussions, most students who showed obstinate beliefs were able to come to adequate justifications, mostly not because they have seen something in conflict with their beliefs, but because they came to realize the inconsistency of their thinking when asked to reflect on their own arguments."

Questi due autori dubitano del valore della dimostrazione di laboratorio (se non inclusa in un contesto che aiuta l'allievo a superare i suoi ostacoli), perché essi hanno riscontrato casi di allievi che rifiutavano di ammettere che la dimostrazione non fosse in accordo con le loro concezioni, usando come pretesto che l'effetto di cui parlavano era troppo piccolo per essere visto. Auguriamoci che casi simili siano solo i più estremi e che la maggior parte degli allievi non abbia troppe difficoltà a "credere a quello che vede".

1.6 Conclusione e scelte didattiche

Sintetizzando le considerazioni precedenti, ho provato a superare gli ostacoli cognitivi degli allievi con un insegnamento che ha incluso simultaneamente:

1. chiare definizioni basilari dei concetti fisici,
2. un'impostazione delle lezioni basata sul dialogo per far scoprire agli allievi le loro contraddizioni,
3. un approccio diversificato del referente disciplinare (verbale, formale, grafico, intuitivo), per costruire e arricchire i concetti dell'allievo,
4. un uso di diversi mezzi didattici: dimostrazioni di laboratorio, simulazioni sul computer, filmati, sempre accompagnati da una spiegazione formale alla lavagna. La parte formale è servita a spiegare i concetti fisici soggiacenti alla dimostrazione (reale o simulata) di cui gli allievi erano testimoni.

Alla fine della fase d'insegnamento che aveva per scopo la correzione delle concezioni degli allievi, ho chiesto loro quale fosse stato l'aspetto (dimostrazione reale, spiegazione formale, simulazione, ecc) che a loro era piaciuto di più e che li aveva aiutati a capire. Mi hanno quasi sempre risposto che non era un singolo aspetto, ma la *combinazione* di tutti loro.

Capitolo 2

Aspetti storici

In questo capitolo vorrei sviluppare brevemente le tre principali teorie fisiche che ritroveremo nelle concezioni degli allievi: la fisica aristotelica, la fisica dell'impeto e la meccanica newtoniana. L'epistemologia ci offre interessanti prospettive per migliorare l'insegnamento. In primo luogo l'imponente lavoro di Aristotele mette a nostra disposizione una teoria molto coerente basata sul senso comune (strumento che anche i nostri allievi usano per interpretare i fenomeni fisici). In secondo luogo possiamo approfittare delle soluzioni storiche che hanno permesso agli scienziati del passato di "abbandonare" una teoria e di sostituirla (o modificarla) con un'altra migliore. Il passaggio dalla fisica aristotelica (o dalla teoria dell'Impeto) alla teoria newtoniana¹ è di particolare interesse perché è lo stesso passaggio che i nostri allievi debbono compiere per passare dalle loro concezioni di tipo aristotelico alla visione "corretta" newtoniana.

2.1 Fisica aristotelica

In questo paragrafo mi limiterò a richiamare alcuni elementi della teoria aristotelica del moto, esposti in (Halloun & Hestenes, 1985b). Aristotele definiva il moto come un *cambiamento di posizione* e capiva l'importanza del *sistema di riferimento* rispetto al quale il moto è osservato. Secondo lui gli oggetti si muovono sempre in un medio che oppone una certa resistenza al moto. Egli considerava il moto nel vuoto come un'astrazione non realistica (senza alcuna resistenza gli oggetti si sposterebbero nel vuoto a velocità infinita!) e perciò sosteneva che il vuoto non esistesse. Aristotele sostiene che la materia del mondo sublunare sia composta da quattro elementi: terra e acqua (elementi pesanti) e aria e fuoco (elementi leggeri). Il carattere globale di un corpo ("pesantezza" o "leggerezza") sarebbe dovuto alle proporzioni relative di questi quattro elementi nella sua composizione: i corpi "pesanti" sono composti maggiormente di acqua e di terra, mentre i corpi "leggeri" sono composti principalmente di aria e di fuoco.

Per distinguere due tipi di moto, Aristotele introduce il concetto di "luogo naturale": Il luogo naturale degli oggetti pesanti è il centro della Terra, mentre il luogo naturale degli oggetti leggeri sono le "regioni superiori". Dato il carattere globale di un corpo, esso avrà una tendenza (naturale) a voler tornare al suo luogo naturale: i corpi pesanti sono come "attratti" verso il basso e gli oggetti leggeri verso l'alto. Que-

¹ che costituisce la referenza insegnata nello studio del movimento nel corso di base liceale

sta proprietà dei corpi permette ad Aristotele di definire il suo primo tipo di moto: il moto naturale. Il secondo tipo di moto è quello chiamato "violento" o "contro natura". Il lancio di un oggetto pesante *verso l'alto* è un esempio di moto violento che trova la sua causa in un agente *esterno* al corpo. Il moto violento può essere causato non solo da un altro oggetto (o da una persona), ma anche dal medio in cui esso si muove (per es. l'aria). Aristotele riconosce quindi **due tipi di forze** o cause: le forze inerenti agli oggetti (tendenza a muoversi verso il luogo naturale) e le forze a contatto prodotte da agenti esterni (Halloun & Hestenes, 1985b).

Nel caso del moto naturale verso terra la velocità di un oggetto è proporzionale al suo peso P e inversamente proporzionale ad una resistenza R , che dipende dalla densità del medio in cui si muove l'oggetto e anche dalla forma e dalla dimensione dell'oggetto: $v = P/R$. Nel caso del moto violento la velocità di un oggetto è proporzionale alla forza F esercitata da un agente esterno e inversamente proporzionale ad una resistenza R , che dipende anche dall'inerzia dell'oggetto: $v = F/R$. Halloun & Hestenes (1985b) concludono che, in accordo con quest'ultima legge, i seguaci di Aristotele hanno dedotto che un aumento di velocità (accelerazione) può essere ottenuto con un aumento della forza (o un aumento del peso, nel caso del moto naturale). Questo concetto di proporzionalità tra velocità e forza si ritrova spesso nelle concezioni degli allievi.

Aristotele supponeva anche che, in assenza di forze, un oggetto si fermasse immediatamente. Pertanto, per spiegare il moto di un oggetto lanciato (una freccia per es.), egli era obbligato ad attribuire al medio una potenza non solo resistiva ma anche motrice. Infatti egli spiegava il moto della freccia grazie alla spinta dell'aria: la freccia fende l'aria davanti a sé, che si richiude dietro di essa, generando in questo modo una forza che permette la propulsione della freccia. In questa spiegazione il ruolo dell'aria è solo di trasmettere la forza dalla persona che ha iniziato il moto, tirando la freccia con l'arco. Il doppio ruolo (resistenza e motore) del medio era un aspetto molto criticato della teoria aristotelica del moto ed esso ha condotto ad una modifica durante il medioevo: la teoria dell'impeto. Sembrava improbabile che gli oggetti molto pesanti potessero essere mossi per una reazione dell'aria.

2.2 Fisica dell'Impeto

Per spiegare la persistenza del moto in assenza di un agente esterno in grado di esercitare una forza, un'alternativa al moto violento aristotelico fu proposta da Johannes Philoponus di Alessandria: quando un oggetto viene lanciato, l'agente esterno attivo imprime all'inizio del moto una certa potenza motrice all'oggetto, che gli permette di sostenere il suo moto, finché questa potenza viene dissipata dalla resistenza del medio. Jean Buridan, responsabile della formulazione definitiva di questa teoria chiamava questa potenza "**impetus**". Riporto qui la sua formulazione del concetto di impeto (Crombie, 1963):

"A mover, while moving a body, *impresses* on it a certain **impetus**, a certain power capable of moving this body in the direction in which the mover set it going, whether upwards, downwards, sideways or in circle. [...] It is by this impetus that the stone is moved after the thrower ceases to move it; but because of the resistance of the air and the gravity of

the stone, which inclines it to move in a direction opposite to that towards which the impetus tends to move it, this impetus is continually weakened. Therefore the movement of the stone will become continually slower, and at length, the impetus is so diminished or destroyed that the gravity of the stone prevails over it and moves the stone down towards its natural place."

Al contrario della teoria aristotelica la teoria dell'impeto sostiene che la forza necessaria per mantenere il moto di un corpo non si trova *fuori del corpo ma entro il corpo stesso*. L'idea dell'impeto è una concezione di senso comune così naturale che molti studenti la usano oggi come una forza e la confondono con il concetto Newtoniano della forza (vedere per es. Halloun & Hestenes, 1985b; McCloskey, 1983). Viennot (1979) usa il termine di "capital de force" per l'impeto. Nella teoria dell'impeto gli oggetti possono immagazzinare la forza (come se fosse un capitale): la forza impressa diventa una proprietà intrinseca del corpo (analogia con il serbatoio che immagazzina il carburante). Come vedremo nel paragrafo 2.3, nella visione newtoniana la forza è invece percepita come *un'interazione fra corpi* piuttosto che una proprietà dei corpi. Per un approfondimento sulla teoria dell'impeto secondo Buridan, consiglio l'eccellente articolo "Buridan's Impetus Hypothesis" di C. Skrenes (2005).

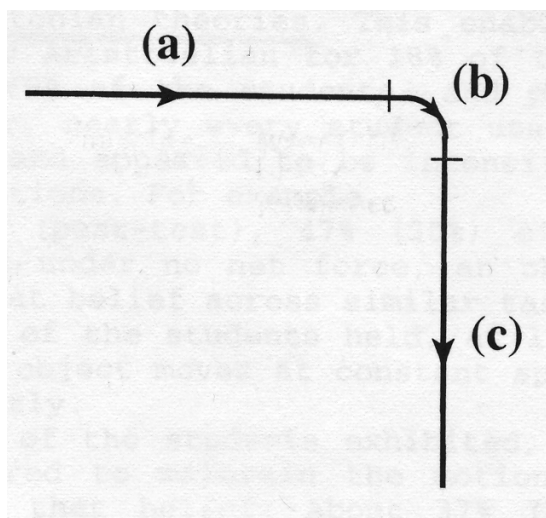


FIGURA 2.1— I tre stadi della traiettoria di un proiettile lanciato orizzontalmente secondo la teoria di Buridan (spiegazione dovuta a Albert de Saxen, riportata in Halloun & Hestenes, 1985b). Nella parte (a) l'impeto sopprime l'effetto della gravità e spinge il proiettile orizzontalmente. Durante il moto la resistenza dell'aria indebolisce l'impeto. La parte intermedia (b) mostra un compromesso tra impeto e gravità. Quando l'impeto iniziale si è esaurito completamente (c), il proiettile cade verticalmente perché, da questo punto in poi, l'unica forza che agisce (la gravità) è verticale.

Nella sua opera "De Motu" (1587) Galileo continuava a sostenere una teoria del tipo dell'impeto, ma negli primi studi sul piano inclinato egli si accorge che questa teoria forniva risultati in disaccordo con l'esperienza e che di conseguenza doveva essere abbandonata. Studiando la caduta dei gravi, Galileo capì il ruolo centrale dell'accelerazione e i vari rapporti tra la distanza percorsa, la velocità e l'accelerazione.

2.3 Fisica newtoniana

In "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" (1644) Newton enunciò i suoi assiomi sul moto. Nella visione newtoniana il moto a velocità costante non ha più bisogno di cause esterne o interne che lo giustifichino: un corpo viaggia in *modo rettilineo e a velocità costante* quando la risultante delle forze che agiscono su di esso è *nulla* (primo principio). La forza non serve a spiegare la velocità, ma piuttosto il *cambiamento di velocità*, cioè l'accelerazione. Nel suo secondo principio, Newton scrive che "il cambiamento di moto [inteso oggi come la variazione della quantità di moto] è proporzionale alla forza motrice impressa e avviene secondo la linea retta con la quale quella forza è impressa" (traduzione di Casadio, Grimellini Tomasini & Pecori Balandi in Grimellini-Tomasini & Segrè, 1991). I primi due principi di Newton si sono ritrovati spesso al centro delle discussioni che ho avuto con i miei allievi. Una buona assimilazione del principio di inerzia costituisce un primo passo verso l'abbandono della concezione dell'impeto: l'esistenza di una forza è giustificata solo quando la velocità cambia. Nell'esempio del lancio di un oggetto verso l'alto molti allievi devono passare da una concezione in cui inventano una forza impressa verso l'alto, per spiegare il moto, ad una concezione centrata sullo spiegare come, salendo, la velocità dell'oggetto diminuisce. Nella visione newtoniana questa diminuzione è una conseguenza del fatto che l'unica forza agente sul corpo è opposta al suo movimento, cioè verso il basso.

Chiaramente l'abbandono della teoria aristotelica non si è fatta in un passo. L'uso corretto di concetti chiave come velocità e accelerazione istantanea avverrà solo con l'invenzione del calcolo differenziale, di cui Newton (non a caso) aveva concepito una versione embrionale.

Capitolo 3

Concezioni e insegnamento

3.1 Raccolta delle concezioni

3.1.1 Classe prima

Il programma di fisica degli allievi di prima del liceo Lugano 2 include rudimenti di cinematica (moto uniforme e uniformemente accelerato) e di dinamica newtoniana, ma solo ad *una* dimensione. Per la raccolta delle concezioni degli allievi della 1E (allegato 5.1), mi sono basato su una domanda tratta da Viennot (1979) ed una domanda tratta da Casadio, Grimelli-Tomasini & Pecori-Balandi (pubblicato in Grimellini-Tomasini & Segrè, 1991). Entrambe attaccano fondamentalmente lo stesso problema. La versione italiana della domanda di Viennot è stata riportata in un articolo di Sciarretta & Stilli (pubblicato in Grimellini-Tomasini & Segrè, 1991).

Con questi allievi la raccolta delle concezioni è stata fatta prima di cominciare il capitolo sulla dinamica, ma dopo aver finito quello sulla cinematica. Gli allievi avevano studiato il concetto di forza solo dal punto di vista dell'equilibrio (forza equilibrante, forza di attrito, condizione per l'equilibrio, momento di forza). L'insegnamento si è svolto nell'arco di 2 settimane (2 ore a settimana).

3.1.2 Classe seconda

In seconda gli allievi approfondiscono la meccanica newtoniana, studiando problemi a *due* dimensioni. Il moto circolare uniforme fa anche parte del programma e permette pertanto un altro punto di vista interpretativo sul rapporto tra forza e accelerazione (centripeta), arricchendo il concetto di forza. Le domande che ho scelto di proporre loro sono tratte da Viennot (1979, domanda 1 e 9), dal "Force Concept Inventory" (Hestenes et al., 1992, domanda 3 a 8) e da McCloskey et al. (1980, domanda 2). L'appendice 5.2 contiene tutte le domande poste a due classi di seconda (2F e 2C con 19 allievi in entrambi casi).

Per le seconde la raccolta delle concezioni è stata fatta dopo aver visto il moto circolare uniforme e il moto a due dimensioni, quindi dopo aver parlato di forze. Il capitolo di dinamica sulle leggi di Newton è stato trattato brevemente all'inizio dell'anno come un richiamo di quello che avevano fatto in prima. La stessa domanda del giocoliere (vedi figura 5.2 e figura 5.7) è stata posta a tutte le classi, sia di prima che di seconda.

L'insegnamento si è svolto nell'arco di 4 settimane (3 ore a settimana: 2 ore di lezione più 1 ora di assistenza allo studio).

3.2 Risultati e insegnamento per le due classi di seconda

Ho deciso di analizzare i risultati del questionario domanda per domanda (o raggruppati a temi quando è stato possibile) e di presentare subito dopo l'insegnamento che ne è seguito.

3.2.1 Domanda 1

Concezioni

Per questa domanda la varietà delle risposte è stata tale da non poter raggruppare gli allievi in poche categorie. La differenza maggiore rispetto allo studio di Viennot (1979) è che per individuare la forza risultante, gli allievi si sono concentrati sulla determinazione delle forze individuali e *non* si sono lasciati ingannare dalla velocità dell'oggetto, indicando una forza risultante proporzionale alla velocità. Tuttavia la concezione $\vec{F} \propto \vec{v}$ è apparsa nella determinazione delle forze *individuali*. Dopo la raccolta di concezioni della prima classe di seconda ho leggermente cambiato la domanda ed ho chiesto all'altra classe di "tracciare la forza risultante che agisce sulla massa", invece di "tracciare la forza (o le forze) che agisce (o agiscono) sulla massa". Tale scelta non ha portato ad alcuna differenza significativa perché gli allievi mi hanno chiesto il significato della forza risultante e per trovarla, hanno prima tracciato le forze individuali e poi hanno fatto la somma.

Nella maggior parte dei casi sono state indicate tre forze che agiscono sulla massa: la forza-peso F_p , la tensione del filo T e la forza centripeta F_c . Il problema principale è che F_c è stata trattata come una forza uguale alle altre e non come la risultante verso il centro delle altre forze. Per trovare la risultante la maggior parte degli studenti ha indicato queste tre forze e *poi* ha fatto la somma ...

Riporto comunque qui di seguito le concezioni più frequenti che ho riscontrato:

- $\vec{v} = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = 0$ (4/19 in 2C; 4/19 in 2F)¹,
- $\sum \vec{F} = \vec{v}$, specialmente quando $(\vec{F}_c + \vec{F}_p)$ è nella direzione opposta alla velocità. Anche in presenza di una evidente contraddizione rivelata dal disegno, alcuni dichiarano che $\sum \vec{F} = \vec{v}$. Altri semplicemente inventano una forza tale che $\vec{F} \propto \vec{v}$ (5/19 in 2C; 7/19 in 2F),
- $\vec{F}_c$ esiste solo nel quarto caso, perché la massa fa il giro completo (3/19 in 2C),
- $\vec{F}_c = \vec{T}$ (2/19 in 2C; 2/19 in 2F).

¹questi numeri devono sempre essere intesi come limiti inferiori, perché può essere che la scelta di una risposta non abbia comunque permesso di classificare la concezione. La classificazione è stata possibile solo quando l'allievo ha dato esplicitamente una giustificazione.

Insegnamento

Già in questa prima domanda è apparsa la concezione più comune di questo lavoro, cioè che la forza sia proporzionale alla velocità. Nella mente degli allievi c'è bisogno di una forza per spiegare il moto. È un concetto molto "naturale" che trova la sua origine nell'esperienza quotidiana: per spostare un oggetto bisogna esercitare una forza su di esso. Insieme ad una differenziazione poco chiara tra velocità e accelerazione gli studenti legano fortemente il concetto di forza e quello di velocità, al punto da dichiarare che, quando l'oggetto è (anche momentaneamente) fermo, non ci sono forze che agiscono su di esso. Nelle loro risposte ho trovato commenti del tipo: "una forza che spinge la massa verso l'alto" per giustificare la velocità $\vec{v}_2$ verso l'alto nel secondo caso, o "più la velocità è grande, maggiore deve essere la forza". Rispetto a questa domanda il mio insegnamento è stato incentrato sui punti seguenti:

- A) il principio d'inerzia di Newton permette di dare un primo colpo alla concezione $\vec{F} \propto \vec{v}$. Ne ho fatto una dimostrazione in classe con il trenino a cuscino d'aria, dove un carrello viaggia a velocità costante, senza che alcuna forza apparente lo spinga. Prima però, occorre possedere una definizione chiara delle forze a contatto e delle forze a distanza. Riprenderò questo punto quando parlerò dell'impeto. Con gli allievi abbiamo anche discusso una semplice "derivazione formale" del principio d'inerzia a partire dalla seconda legge di Newton (nella sua versione moderna): $\vec{F}_{\text{risultante}} = m\vec{a}$. Se la velocità è costante, l'accelerazione $\vec{a}$ è uguale a zero (per definizione) e pertanto anche la forza risultante che agisce sull'oggetto è uguale a zero, ciò significa che un oggetto con una *velocità costante non ha bisogno di alcuna forza per mantenere il suo moto*. Ho sottolineato che la forza serve invece a *cambiare il moto* di un oggetto (a metterlo in moto o se lo è già, a modificare $\vec{v}$).
- B) Discutendo la seconda legge di Newton, ho sottolineato il significato di cambiamento per un vettore come la velocità: un'accelerazione può avvenire non solo grazie ad un cambiamento del *modulo* della velocità, ma anche grazie ad un cambiamento della sua direzione o del suo verso. Nel caso del moto circolare infatti si ha a che fare con un cambiamento di direzione. Questo cambiamento $\Delta\vec{v}$ è diretto verso il centro (figura 3.1); di conseguenza anche l'accelerazione e la forza sono diretti verso il centro, perché entrambi $\vec{a}$ e $\vec{F}$ sono proporzionali a $\Delta\vec{v}$. In conclusione nel moto circolare c'è una forza per "spiegare" il cambiamento del vettore velocità, ma questa forza va verso il centro della traiettoria e non è parallela alla velocità come indicato nelle concezioni di alcuni allievi.

In ogni caso l'interpretazione principale della seconda legge di Newton va nel senso di concepire una forza come proporzionale ad una *variazione della velocità*, e non come proporzionale al valore assoluto della velocità. Ho dimostrato graficamente alla lavagna che occorre una diminuzione del modulo della velocità quando $\vec{F}$ va nel senso opposto a $\vec{v}$, esattamente come succede ad una palla lanciata verso l'alto sotto l'influenza della forza di gravità (domanda 9). Una cosa simile succede nel secondo caso della domanda 1, quando $\vec{v}_2$ diminuisce mentre la massa sale: la forza che agisce sulla massa deve essere *opposta* a $\vec{v}$ per poter spiegare la diminuzione del suo modulo.

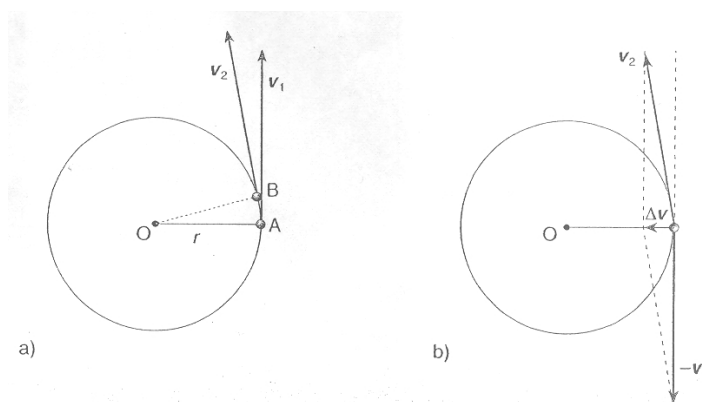


FIGURA 3.1— In che direzione si trova $\Delta \vec{v}$ (e di conseguenza anche $\vec{a}$)?

C) Per non lasciare gli allievi senza una descrizione corretta di tutte le forze in gioco, ho spiegato dove si trovano le uniche due forze rilevanti T e F_p . Di conseguenza abbiamo ragionato sulla forza risultante e la forza centripeta, intesa come componente verso il centro della forza risultante. Per completare il quadro, ho fatto vedere una simulazione numerica con *Physics Interactive* (vedi figura 3.2) che ha il vantaggio di indicare in tempo reale la direzione e il modulo delle forze in gioco e la loro evoluzione temporale.

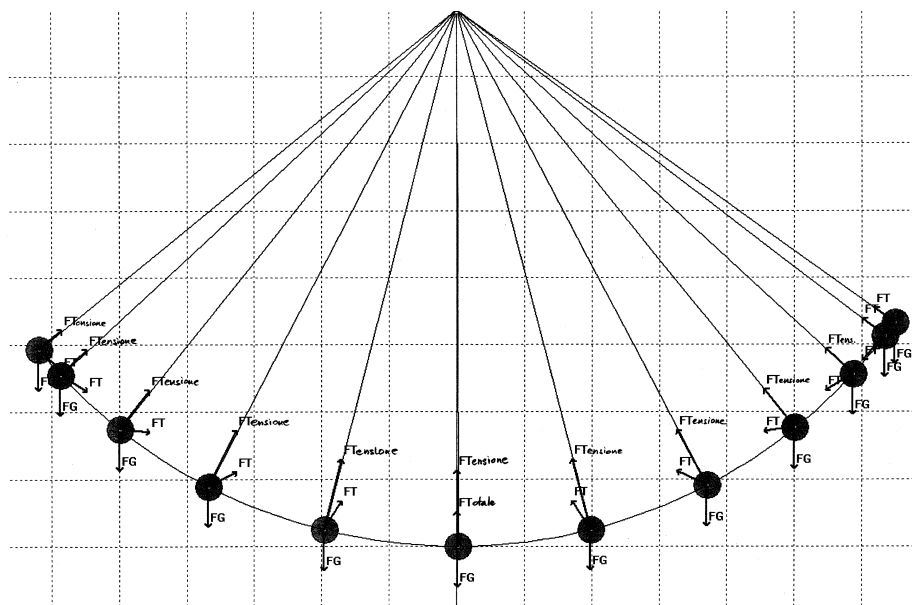


FIGURA 3.2— Simulazione del pendolo con *Physics Interactive* dove F_G indica la forza di gravità, $F_{Tensione}$, la tensione nel filo e F_T la forza totale (=forza risultante).

D) La risoluzione di un grosso conflitto cognitivo è avvenuta quando un'allieva mi ha chiesto, parlando del caso 2: "Ma, se la forza risultante è verso il basso, perché la massa sale?" e un altro allievo ha risposto "perché c'è ancora la sua velocità

$\vec{v}_2$ verso l'alto!" Credo che questo scambio sia stato fondamentale nel processo di comprensione, perché sarebbe stato molto pericoloso, dopo aver approfondito il vero ruolo della forza nel moto, lasciare "inoccupato" la posizione che essa prendeva nelle concezioni degli allievi. Vedremo anche che questa nuova interpretazione dei fatti sostituisce la velocità alla forza nel ruolo di *proprietà intrinseca del corpo* e pertanto si posiziona definitivamente fuori dalla concezione dell'impeto per avvicinarsi alla concezione newtoniana. Sarebbe auspicabile, visto le concezioni degli allievi, parlare **sin dall'inizio di quantità di moto** e presentare la seconda legge di Newton come nella sua formulazione originale (vedere anche la domanda 3).

- E) Ho concluso questa parte con una discussione delle unità di $\vec{v}$ e di $\vec{F}$. Le unità di misura diverse portano alla conclusione che forza e velocità sono due oggetti diversi e che pertanto non si possono addizionare vettorialmente e non possono essere neanche paragonati (come per es. quando un allievo diceva "se la forza è maggiore della velocità ...").

3.2.2 Domanda 2-7-8

Concezioni

Queste tre domande trattano dello stesso problema. Nella domanda 1 ho già sviluppato il ruolo della forza centripeta (che le pareti del tubo esercitano sulla pallina) nella spiegazione della traiettoria circolare.

- A) Impeto "circolare" (vedi insegnamento sotto) (4/19 in 2C; 5/19 in 2F)
 B) $F \propto v$ nella domanda 7 (9/19 in 2C; 15/19 in 2F). Un allieva mi ha scritto: "La palla ha una *forza di velocità* per tutto il tragitto".

Non ho ritrovato l'effetto notato da McCloskey et al. (1980): maggiore è la curvatura ed il tempo passato all'interno del tubo, più curva sarà la traiettoria all'uscita del tubo.

Insegnamento

Gli allievi che disegnano una traiettoria circolare *dopo* l'uscita dal tubo non hanno assimilato il concetto di forza newtoniana intesa come *un'interazione responsabile del cambiamento di velocità*. Questi studenti non percepiscono la forza centripeta come la causa del moto circolare, ma vedono il moto circolare della pallina come "naturale" al punto di farlo continuare anche dopo la fine del tubo. Si può parlare in questo caso di "impeto circolare": è come se la "capacità di girare" fosse immagazzinata nel corpo e continuasse ad agire dopo l'uscita dal tubo.

Per correggere la concezione d'impeto circolare ho fatto rotolare davanti alla classe una bilia di acciaio lungo un segmento di traiettoria circolare, per dimostrare concretamente che la bilia non continua più a girare una volta uscita dalla parte circolare. In un secondo tempo ho spiegato perché la pallina non gira più, richiamando il discorso già fatto per il punto b) della domanda 1 (insieme alla figura 3.1). Il punto chiave risiede nel fatto che è la parete del tubo che esercita la forza in grado di fare cambiare la

direzione della velocità della pallina (cioè di farla girare); una volta che non c'è più la parete, ovviamente non c'è più la forza, e di conseguenza la pallina non gira più. Ho concluso dicendo che per predire la traiettoria, è cruciale analizzare le forze in gioco e chiedersi se queste forze esistono ancora al momento della domanda.

3.2.3 Domanda 3

Durante la raccolta delle concezioni, ho specificato verbalmente che il cavallo viaggia sempre a velocità costante (prima, durante e dopo il lancio della palla). Se trascuriamo l'attrito, la risposta giusta è la b), altrimenti la palla cadrebbe un pochino indietro rispetto al cavallo.

Concezioni

- A) (9/19 in 2C; 3/19 in 2F): questi allievi pensano che la palla, una volta lasciata, "non porta con se" la velocità orizzontale $v_{x,\text{cavallo}}$ del cavallo. Pertanto, sotto l'influenza della forza-peso e senza nessuna velocità iniziale, la palla cade dritta, immediatamente sotto il punto dove è stata rilasciata.
- B) (4/19 in 2C; 8/19 in 2F): questi allievi tengono correttamente conto della velocità orizzontale iniziale v_{0x} della pallina, ma credono che dopo che essa è stata rilasciata la sua velocità orizzontale diminuisce sotto l'influenza di una forza *perpendicolare* alla velocità. Pertanto credono che la palla cada indietro rispetto al cavallo. Un'allieva ha scritto: "Il movimento del cavallo non c'entra niente, sulla palla agisce solo la forza-peso e la forza di gravità".
- C) (5/19 in 2C; 7/19 in 2F): questi allievi possiedono il profilo scientifico newtoniano e hanno risposto b) o c) a seconda dell'attrito. Ho incluso in questo profilo solo le risposte con la giustificazione dell'attrito se avevano scelto c).

Un'unica allieva (1/19 in 2C) ha risposto addirittura che la palla cade indietro rispetto alla posizione *iniziale* del cavallo, probabilmente perché non riesce ad abbandonare il punto di vista del referenziale in moto. In un colloquio clinico quest'allieva mi ha detto che aveva questa idea pensando soprattutto ad oggetti lanciati da una macchina sull'autostrada.

Insegnamento

- A) Per correggere questa concezione ho riprodotto l'esperimento in classe, portando in mano un oggetto e camminando a velocità costante. Durante il mio moto ho chiesto agli allievi quale era la velocità dell'oggetto una frazione di secondo prima della caduta. A quelli che credevano che questa velocità diventasse istantaneamente zero appena aperta la mano, ho chiesto di interpretare questo (violento) cambiamento di velocità nel quadro della seconda legge di Newton. Nell'impossibilità di trovare una forza orizzontale che potesse spiegarlo, si sono convinti che l'oggetto inizia la caduta con $v_{0x} = v_{x,\text{cavallo}}$.
- B) Il punto-chiave risiede nella scomposizione di un moto a due dimensioni in due moti indipendenti ad una dimensione. In assenza di attrito l'unica forza che agi-

sce sulla palla è *verticale* e pertanto induce un cambiamento di velocità *verticale*, e non orizzontale. In assenza di forza orizzontale la velocità orizzontale rimane costante (principio d'inerzia). È illuminante rileggere la formulazione originale di Newton a questo proposito: Egli scrive "il cambiamento di [quantità di] moto [...] avviene secondo la linea retta con la quale quella forza è impressa" (vedi paragrafo 2.3).

Ho concluso l'insegnamento della domanda 3 con una simulazione e un filmato: In assenza di attrito una ripresa cronofotografica della simulazione fatta con *Physics Interactive* (figura 3.3) illustra chiaramente che la velocità orizzontale del cavallo e della palla sono identiche, perché cavallo e palla sono sempre *allineati verticalmente*. Nel filmato² un carrello viaggia a velocità costante e ad un certo punto spara verticalmente una pallina. La velocità orizzontale della pallina è uguale alla velocità del carrello come nella domanda 3. Alla fine di una traiettoria parabolica la pallina incontra di nuovo il carrello.

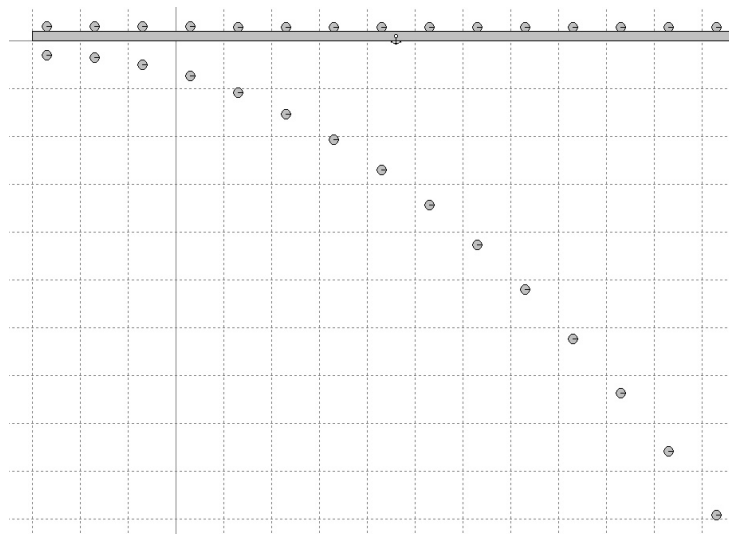


FIGURA 3.3— Simulazione della domanda 3 con *Physics Interactive*: il cavallo e il suo moto a velocità costante è rappresentato con la sfera sulla linea orizzontale superiore, mentre la palla che cade è rappresentata con la sfera in traiettoria parabolica. L'inizio della simulazione corrisponde al momento in cui il cavaliere lascia cadere la palla.

3.2.4 Domanda 4.1

Concezioni

La maggior parte degli allievi ha risposto b) (15/19), ma con motivazioni diverse. Per quelli che hanno scritto una giustificazione che permette di classificarli, ho trovato:

- A) (5/19 in 2C; 1/19 in 2F) Concetto dell'impeto: la velocità della palla diminuisce quando sale perché "la botta [iniziale] diminuisce per via della forza di gravità"

²The Video Encyclopedia of Physics Demonstrations, The Education Group, Disc 2, Vertical Gun on a Car

o ancora perché "più sale, più diminuisce la forza impressa alla palla durante il lancio". Nella 2F solo un'allieva ha giustificato la diminuzione di velocità con la diminuzione della forza impressa ($F \searrow \Rightarrow v \searrow$), ma 14 allievi hanno dichiarato nella domanda 4.2 che esiste "una forza decrescente verso l'alto" !

- B) (3/19 in 2C; 8/19 in 2F) La velocità diminuisce perché è uguale a zero in cima. Il senso comune insegna che una palla lanciata verso l'alto (con una velocità non nulla!) si ferma ad un certo punto e ricomincia a scendere, pertanto la velocità in fase di salita deve diminuire.
- C) (3/19 in 2C; 8/19 in 2F) Profilo "scientifico". Ho trovato spesso una giustificazione del tipo: la velocità diminuisce per effetto dell'azione della forza di gravità sulla velocità della palla. Questa giustificazione non garantisce un profilo scientifico, perché questi allievi possono sempre credere che l'azione della forza di gravità sulla palla è indiretta: la forza-peso "lotta" contro la forza verso l'alto (l'impeto) e la fa diminuire spiegando così la diminuzione di velocità.

A proposito della dipendenza inversamente proporzionale della velocità v in funzione dell'altezza x , $v(x) \propto 1/x$, nessun allievo ha saputo dare una giustificazione. 3/19 pensano (senza poter giustificarlo) che $v(x) \propto 1/x$ e 1/19 pensa il contrario. Gli altri non hanno alcun commento su questo punto. Magari la forma in cui la domanda era posta non era molto felice, perché l'uso dell'avverbio "non necessariamente" può aver indotto una probabilità di successo più grande. 2/19 allievi pensano che perché v e x sono due funzioni *del tempo*, non può esistere una relazione del tipo $v(x)$...

Insegnamento

- A) Un altro modo per "distruggere" la concezione dell'impeto è centrato attorno alla distinzione tra forza a contatto e forza a distanza. Come durante la mia ultima lezione sommativa, ho chiamato un allievo davanti alla classe per illustrare il fatto che una forza a contatto esista solo se c'è un contatto! Una volta spinto abbastanza forte, la "vittima" ha fatto qualche passo indietro per ritrovare il suo equilibrio e ha dichiarato di *non sentire più* la forza della mia mano. La maggior parte delle forze (nel corso di base liceale) sono del tipo a contatto, le uniche eccezioni sono le forze elettromagnetiche e la forza di gravità. Questa "dimostrazione di forza a contatto" mi è servita per mostrare che non esistono forze del tipo "impeto" sulla palla una volta che essa si è distaccata dalla mano che l'ha spinta. Naturalmente, gli allievi non usano la parola "impeto", ma "forza impressa alla palla", "forza della mano" o "forza di spinta"³. Lo scopo è di avvicinarsi al concetto newtoniano della forza inteso come *un'interazione* (vedasi il principio di azione-reazione).
- B) Per rispondere alla parte quantitativa della domanda, non ho trovato altro modo che dimostrare la relazione formale $v(x)$, appoggiandomi su una relazione di cui abbiamo già parlato in classe: $2ax = v^2 - v_0^2$, con a l'accelerazione, v la velocità

³Ho fatto notare agli allievi che pur avendo una concezione di tipo impeto, essi usano il "tempo giusto" per descrivere le forze che agiscono sulla pallina: infatti dicono "la forza della mano *ha agito* sull'oggetto", e non "la forza della mano *agisce* sull'oggetto" quando esso si trova in volo.

e v_0 la velocità iniziale. Si ottiene il risultato $v(x) = \pm \sqrt{v_0^2 - 2gx}$, dove il segno $\pm$ corrisponde alla salita o alla discesa della palla. Grazie a questa spiegazione formale, si vede perché v diminuisce quando x cresce e perché $v(x_C) \neq 1/2 v(x_B)$ come chiesto.

3.2.5 Domanda 4.2

Concezioni

La maggioranza degli allievi ha risposto d) (14/19 in 2C; 14/19 in 2F)

- A) Concetto dell'impeto: Nella mente di questi allievi, la forza decrescente verso l'alto (impeto) "controbilancia" la forza-peso (verso il basso) e "permette" un moto ascendente. Per alcuni allievi il fatto che questa forza decresce è dovuto alla "lotta" contro la forza di gravità e contro la forza di attrito. Mi aspettavo di trovare la diminuzione dell'impeto come *causa* della diminuzione di velocità (come per Buridan), ma al posto della concezione $[F \searrow \Rightarrow v \searrow]$ gli allievi scrivono $[v \searrow \Rightarrow F \searrow]$ (vedasi il confronto tra la domanda 4.1 e 4.2).
- B) Versione "modificata" dell'impeto: 2/19 allievi hanno risposto che esiste solo la forza-peso, scrivendo però "la forza impressa dalla mia mano verso l'alto al momento del lancio sparisce. Resta però un'accelerazione decrescente verso l'alto"!
- C) Profilo newtoniano: per questi studenti esiste solo la forza-peso, ma in assenza di ulteriori commenti, c'è il pericolo che condividano la versione modificata dell'impeto.

Insegnamento

Vedi domanda 4.1 e punto d) della domanda 1.

3.2.6 Domanda 4.3 (prima parte)

Concezioni

Quasi tutti allievi hanno risposto che l'unica forza che agisce sulla palla quando scende è la forza-peso. Questo caso non crea alcun problema, perché per questa parte della traiettoria forza e velocità hanno lo stesso senso. Tre allievi (su 38) fanno una distinzione tra forza-peso e forza di gravità e rispondono che sulla pallina agiscono *due* forze. Un allievo aggiunge la forza di attrito, anche se era scritto di trascurare la resistenza dell'aria. Tre allievi aggiungono la forza di sostegno (anche chiamata "reazione vincolare") alla forza di gravità, che lascia intendere che non abbiano capito *a cosa* è dovuto il sostegno.

3.2.7 Domanda 4.3 (seconda parte)

Concezioni

- A) Concetto dell'impeto: (16/19 in 2C; 11/19 in 2F) Gli allievi di questo profilo pensano che in fase di salita, ci siano *due* forze opposte che agiscono sulla palla e

che in fase di discesa, solo la forza-peso verso il basso agisca. Pertanto per questi allievi la velocità (ad un'altezza fissa) deve essere maggiore in discesa.

- B) Idea di simmetria: un allievo percepisce vagamente un'idea di simmetria tra la salita e la discesa della palla e quindi scrive che le velocità sono uguali. Altri due allievi scrivono che la velocità in discesa è la stessa, perché "come in salita, c'è solo la forza-peso".
- C) (1/19 in 2C; 3/19 in 2F) Questi allievi pensano che non ci siano abbastanza dati per decidere e pertanto non credono che sia possibile scrivere una relazione del tipo $v(x)$. Uno scrive che, senza dati numerici, non si può rispondere: non concepisce che si possa fare un calcolo algebrico.

Insegnamento

Vedi domanda 4.1 per la dimostrazione di una relazione del tipo $v(x)$. Ho mostrato in classe un cronofotografia che dimostra la simmetria del problema (figura 3.4): la posizione della palla è registrata a intervalli di tempo costanti, pertanto si può concludere che ad una certa altezza, la velocità in salita è la stessa che in discesa, dato che gli intervalli di spazio (in salita e in discesa) sono uguali.

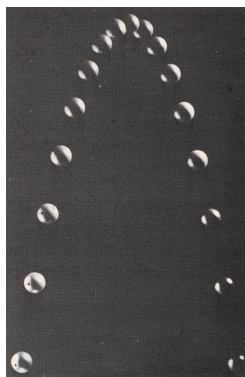


FIGURA 3.4— Cronofotografia del lancio di una pallina verso l'alto. Si nota la simmetria del problema.

3.2.8 Domanda 5

Concezioni

- A) risposta a) (4/19 in 2C; 6/19 in 2F). Quasi tutti gli allievi di questo profilo giustificano la loro risposta grazie alla forza di attrito che impedisce alla pietra di aumentare infinitamente la sua velocità. Alcuni scrivono che la velocità massima si raggiunge quando la forza di attrito diventa uguale alla forza-peso. Anche se il ragionamento qualitativo è corretto dal punto di vista newtoniano, esso non lo è quantitativamente. Le forze di attrito sono molto meno "efficaci" di quanto credano questi allievi, soprattutto nelle condizioni della domanda.
- B) risposta b) (3/19 in 2C; 3/19 in 2F). Questa concezione deriva probabilmente da $F \propto v$: trascurando l'attrito, questi allievi sanno che la velocità aumenta, pertanto

anche la forza deve aumentare a causa della relazione di proporzionalità. Una differenziazione poco chiara tra velocità e accelerazione può anche essere all'origine di questa concezione. Un allievo ha scritto "risposta b) perché mentre cade aumenta la velocità e l'accelerazione".

C) risposta c) (12/19 in 2C; 7/19 in 2F). Profilo scientifico.

Nessun allievo ha risposto d) o e), risposte che contengono concezioni tipicamente aristoteliche.

Insegnamento

A) Per questo profilo l'unica concezione da correggere è quantitativa. Spesso la forza di attrito dell'aria può essere trascurata, perché includerla non comporta una grande differenza quantitativa. A questo proposito ho richiamato un'esperienza di laboratorio (che hanno fatto in prima) sulla caduta "libera" di una bilia di acciaio: i risultati nell'aria (con attrito) erano molto vicini alla predizione del modello senza attrito.

B) vedi domanda 1 per correggere la concezione $F \propto v$.

3.2.9 Domanda 6

Concezioni

A) risposta B (14/19 in 2C; 12/19 in 2F). A prima vista questo profilo sembra essere scientifico, ma leggendo le giustificazioni, mi sono accorto che almeno in 3 casi, la concezione dell'impeto è presente, per es. "All'inizio ci sarà la forza del cannone [impeto], poi quando svanirà, o meglio diminuirà, ci sarà la forza-peso". In altri 2 casi gli allievi confondono questo moto con un moto circolare [!] e scelgono la risposta B "perché è l'unica delle cinque traiettorie che è tangente al raggio".

B) risposta C (5/19 in 2C; 4/19 in 2F). Concezione tipica dell'impeto: "La palla continuerà il suo moto per un po' di tempo, parallelo al suolo. Dopodiché comincerà a scendere" o ancora "perché all'inizio chi prevale è la forza impressa sulla palla dal cannone, poi calando la forza di gravità prevale dando alla palla un andamento regolare".

Insegnamento

A) Per correggere l'idea di traiettoria circolare e per fornire una giustificazione a quelli che hanno risposto "la traiettoria B, perché è una parabola", ho deciso di dimostrare formalmente la traiettoria che segue una parabola. Dato che il moto orizzontale è uniforme (assenza di forze orizzontali) abbiamo $x(t) = v_0 t$ e dato che il moto verticale è uniformemente accelerato sotto l'influenza della forza-peso costante abbiamo $y(t) = 1/2 g t^2$. Isolando il tempo dalla prima equazione e sostituendolo nella seconda, si ottiene $y(x) = [g/2v_0^2] x^2$, l'equazione di una parabola. Infine ho mostrato il filmato⁴ di un lancio orizzontale con la sua traiettoria parabolica.

⁴The Video Encyclopedia of Physics Demonstrations, The Education Group, Disc 2, Shooter/Dropper

- B) L'idea chiave è l'*azione immediata* della forza-peso e la sua influenza sul moto appena la palla esce dal cannone. Come ho insegnato in precedenza, il "compito" di una forza è di far cambiare la velocità e in questo caso, la forza "genera" un moto verticale che si sovrappone a quello orizzontale. Ho usato per analogia l'insegnamento della domanda 3 (del cavaliere) per spiegare che la velocità orizzontale della palla è costante. È chiaro che, all'inizio del moto, è difficile distinguere tra una traiettoria orizzontale e una leggermente curva, ma le opzioni della domanda lasciavano poco spazio ai dubbi.

3.2.10 Domanda 9

Concezioni

- A) Concetto dell'impeto (8/19 in 2C; 16/19 in 2F): le velocità delle 6 palline sono diverse, quindi questi allievi pensano che le forze impresse sono diverse per spiegare le differenze osservate in velocità.
- B) Concezione newtoniana (10/19 in 2C; 3/19 in 2F): solo la forza-peso agisce all'istante t . Dato che la massa delle 6 palline è la stessa, la forza-peso è identica per tutti i casi.

Insegnamento

- A) vedi l'insegnamento della domanda 4.1 e della domanda 1

3.3 Risultati e insegnamento per la classe di prima

Concezioni

Ho ritrovato il concetto dell'impeto per la stragrande maggioranza (15/16) degli studenti della 1E. Per spiegare il moto ascendente del sasso, gli allievi pensano che debba esistere una forza verso l'alto che lo accompagna e che nella maggior parte dei casi essa superi la forza di gravità. Nel dettaglio esistono alcune variazioni su questo concetto di base, principalmente su due punti: quali siano le forze che agiscono in fase di salita e la grandezza delle forze che agiscono sul sasso nel punto di massima ascesa.

- A) Modello 1, (2/16):

Per due allievi questa forza di "spinta", inizialmente superiore alla forza di gravità, diminuisce man mano che l'oggetto sale fino a sparire *completamente* in vetta alla traiettoria, dove esiste solo la forza di gravità.

- B) Modello 2.1, (6/16):

Anche qui in fase di salita esistono simultaneamente due forze: la forza del lancio e la forza di gravità (Forza-lancio $>$ Forza-gravità). La forza del lancio non si esaurisce completamente in vetta, ma diventa uguale in intensità (ma opposta in senso) alla forza di gravità, in modo da ottenere un equilibrio di forze. In questo caso la forza totale è nulla e "spiega" pertanto perché il sasso è fermo (velocità nulla). In discesa esiste solo la forza di gravità.

D) Modello 2.2, (5/16):

Questo modello assomiglia al 2.1 a parte che in vetta alla traiettoria, questi allievi credono che non ci sia *alcuna* forza che agisce sul sasso per un breve istante, probabilmente perché la sua velocità è nulla. Non li ho catalogati nella categoria 2.1, perché essi non hanno esplicitamente parlato dell'equilibrio di forze, però, dato che essi parlano della forza di gravità in salita come in discesa, si può supporre che pensino che essa esista anche in vetta, o almeno che la velocità nulla sia un concetto così dominante da far "sparire istantaneamente" ogni tipo di forza.

E) Modello 2.3, (2/16):

Questo modello riprende le caratteristiche del modello 2.1, a parte il fatto che *in discesa* questi allievi pensano che esista ancora la forza della mano, ma che quest'ultima è diventata minore della forza di gravità.

F) Modello 3, (1/16):

Quest'unica allieva "newtoniana" crede che l'unica forza che agisce sempre, sia nella parte ascendente che discendente, sia la forza di gravità. L'allieva ha realizzato il "problema" (l'unica forza è verso il basso, però l'oggetto sale) e nelle sue spiegazioni giustifica il moto verso l'alto con un paragone forza-velocità: "però la velocità è più forte (salendo) che la forza di gravità che spinge verso il basso". Il punto di massima ascesa è l'unico punto che la fa dubitare dell'esistenza della forza di gravità.

Insomma il punto essenziale qui è che nella mente degli studenti per spiegare una velocità (verso l'alto o verso il basso) occorre avere una forza nello stesso senso, cioè $\vec{F} \propto \vec{v}$. Durante un colloquio individuale un'allieva mi ha detto "se non ho delle informazioni sulla velocità, non posso dire niente sulle forze [tipo e direzione]". Come ho spiegato, nella visione corretta newtoniana la forza è proporzionale all'accelerazione, cioè al *cambiamento di velocità* e non alla velocità. Quando la forza evidente (in questo caso, la forza di gravità) non è nel senso "giusto", gli studenti ne inventano un'altra che chiamano "forza di spinta verso l'alto" (l'impeto).

Insegnamento

Non voglio ripetere in dettaglio l'insegnamento che ho seguito per correggere il concetto di impeto (vedasi l'insegnamento della domanda 4.1 e della domanda 1 delle classi di seconda). Mi limiterò ad un elenco dei punti principali su cui ho concentrato il mio insegnamento:

1. $\vec{F} \propto \vec{v}$ o addirittura la **non-differenziazione del concetto di forza e di velocità**.

Un'allieva ha scritto che "sulla pallina numero 5 agisce la forza di gravità con velocità molto elevata." Un'altra: "Il sasso sale perché c'è una forza veloce!". In laboratorio gli allievi hanno "ricostruito" la seconda legge di Newton che dimostra la relazione di proporzionalità tra Forza e accelerazione (invece di $\vec{F} \propto \vec{v}$). La dimostrazione in classe del trenino su cuscino d'aria (principio d'inerzia, 3.2.1) illustra anche che non c'è bisogno di forze per mantenere un moto a velocità costante.

2. **Delocalizzazione delle grandezze fisiche nello spazio e nel tempo** (Viennot, 1996). Si tratta del problema fondamentale del concetto di impulso, secondo il quale durante la traiettoria *agisce ancora* la forza della mano del giocoliere (allorché la pallina si è già *distaccata*). La forza è intesa come una quantità "immagazzinabile" piuttosto che come un'interazione. Come soluzione ho rinforzato la distinzione forza a contatto/forza a distanza per convincere gli allievi che una volta finito il contatto, la forza a contatto non esiste più.
3. **Uso indifferenziato della forza e della velocità**. Quest'ostacolo trova il suo "culmine" in alcuni allievi che non esitano ad aggiungere vettorialmente una forza e una velocità. Come soluzione ho ricordato le unità: gli allievi sanno che le forze e le velocità hanno unità diverse, e quindi ho spiegato che, per questo motivo, non si possono addizionare ('2 mele + 3 mele = 5 mele', mentre '2 mele + 3 pere' non ha senso). Un'allieva quando doveva indicare la (le) forza(e) in gioco, prima di scrivere una qualunque risposta ha toccato il cuore di quest'ostacolo e mi ha chiesto "Ma ... la velocità è una forza ?"

Capitolo 4

Verifica dell'insegnamento

4.1 Classe seconda

Per verificare il mio insegnamento ho proposto alle due classi di seconda un nuovo questionario composto da nuove domande tratte dal "Force Concept Inventory" (Hestenes, Wells & Swackhamer (1992), allegato 5.3).

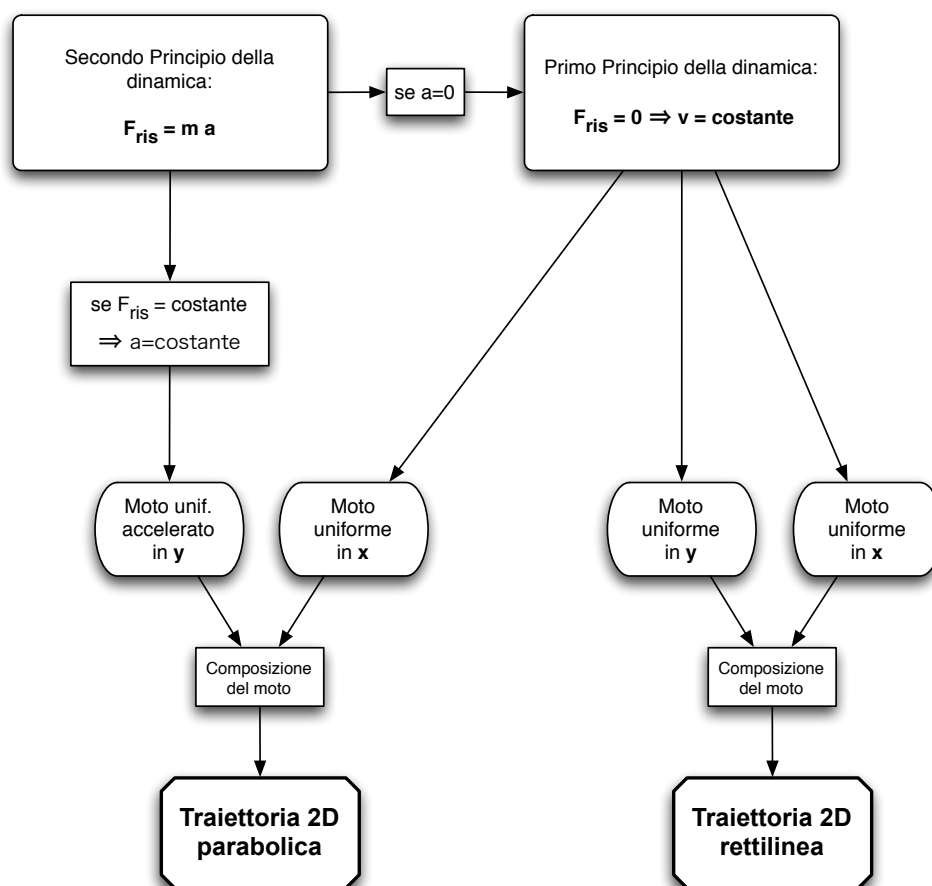


FIGURA 4.1— Mappa concettuale degli argomenti chiave trattati nell'insegnamento.

La scelta di queste domande è stata compilata con lo spirito di concentrarsi sugli aspetti più significativi toccati nell'insegnamento (organizzati nella mappa concettuale 4.1):

- Relazione di proporzionalità: $\vec{F} \propto \vec{v}$ o $\vec{F} \propto \vec{a}$?
- differenziazione dei concetti di accelerazione e di velocità,
- delocalizzazione della forza nello spazio e nel tempo,
- principio d'inerzia,
- scomposizione di un moto a due dimensioni: capacità di ragionare in modo indipendente su ogni dimensione e capacità di ricostruire il moto 2D,
- ruolo della velocità iniziale nella predizione della traiettoria.

In questa verifica ho spesso chiesto di *predire la traiettoria* di un oggetto in una data situazione e di giustificare il ragionamento. Per predire correttamente la traiettoria, l'allievo deve essere in grado di riconoscere le forze e le velocità in gioco e deve usare in modo corretto le leggi della dinamica. Ho deciso di descrivere separatamente i risultati delle due classi 2C e 2F.

4.1.1 Domanda 1.1

Classe 2C

La maggior parte degli allievi (11/17) ha scelto la risposta giusta (B) con una giustificazione corretta. Tra 6 allievi che *non* mostrano un profilo scientifico: 4 mantengono la concezione dell'impeto e pensano che la spinta *continua* ad agire dopo il colpo e trasforma il moto verticale in un moto accelerato, 1 trascura la velocità iniziale orizzontale e 1 non risponde.

Classe 2F

Anche qui la maggior parte degli allievi (11/17) ha scelto la risposta giusta (B) con una giustificazione corretta. Tra gli altri: 1 non prende in considerazione la velocità iniziale orizzontale, 1 pensa che la velocità debba essere parallela alla forza e non prende in considerazione la velocità iniziale orizzontale, 1 pensa che verticalmente si tratti di un moto accelerato (senza mostrare però un'idea del tipo impeto), 1 pensa che la piastrina è ferma quando è colpita malgrado nella domanda fosse scritto "quando la piastrina **in movimento** raggiunge il punto b riceve una spinta", 1 mantiene un concetto dell'impeto e 1 è incomprensibile.

4.1.2 Domanda 1.2

Classe 2C

Solo 3/17 non rispondono secondo il profilo scientifico (o con una giustificazione sbagliata): 1 crede che una forza costante per un breve istante produca una velocità costante, anche dopo la spinta; 1 pensa che "senza forza di attrito per fermare la piastrina", la sua velocità aumenterebbe in continuazione e 1 non risponde.

Classe 2F

Anche nella 2F solo 3/17 allievi non rispondono secondo il profilo scientifico: 1 pensa che la Forza-peso faccia diminuire la velocità orizzontale (principio di scomposizione non compreso), 1 scrive che la spinta può solo cambiare la direzione della velocità e non il suo modulo e 1 pensa che, dopo la spinta, la velocità debba diminuire ($\vec{F} \propto \vec{v}$).

4.1.3 Domanda 1.3*Classe 2C*

Solo 5/17 non danno la risposta corretta (d), tra di essi: 3 allievi pensano che non ci sia *alcuna* forza che agisca sulla piastrina e 2 allievi non rispondono. Un'allieva dei 3 citati riconosce che la forza-peso esista, ma scrive che "questa forza non ci importa su un piano". Questi 3 allievi confondono probabilmente $F_{\text{risultante}} = 0$ con 'nessuna forza'.

Classe 2F

Solo 4/17 non danno la risposta corretta: 1 mantiene l'idea dell'impeto e risponde c), 1 non capisce l'equilibrio verticale di forze e risponde a), 1 risponde a) con la giustificazione che la forza-peso sia l'unica forza a distanza e 1 risponde a) senza dare una giustificazione.

4.1.4 Domanda 2.1*Classe 2C*

La maggior parte degli allievi (13/17) risponde (e giustifica correttamente la propria risposta) secondo un profilo scientifico (risposta E). Due allievi non prendono in considerazione la velocità iniziale orizzontale, un'altra non sceglie la traiettoria giusta, ma dà la giustificazione scientifica [!] e un'allieva non crede che la "spinta del motore" sia una forza (malgrado la formulazione dell'esercizio) e scrive che non c'è alcuna forza che agisce sul razzo.

Classe 2F

Solo (8/17) danno una risposta e una giustificazione scientifica. Nel resto ritroviamo la concezione $\vec{F} \propto \vec{v}$ (3 allievi), 2 dimenticano di prendere in considerazione la velocità iniziale orizzontale, 1 pensa che un moto accelerato verticalmente e uniforme orizzontalmente produca una retta, 1 pensa che un moto uniforme verticalmente e orizzontalmente produca una parabola, 1 confonde orizzontale con verticale e 1 non si rende conto che la forza del razzo agisce continuamente lungo la traiettoria.

4.1.5 Domanda 2.2*Classe 2C*

Quasi tutti gli allievi (14/17) scelgono la risposta corretta (b) con una giustificazione soddisfacente. Tra i rimanenti, un'allieva scrive che la velocità aumenta perché la forza

aumenta, due pensano che la velocità rimane costante (una di queste riesce a scrivere che "quindi la $F_{\text{risultante}} = 0$ " mentre diceva il contrario nella domanda 2.1, e l'altra dimostra ancora più incoerenza).

Classe 2F

Circa la metà degli allievi (9/17) sceglie la risposta corretta (b) con una giustificazione soddisfacente. Dei rimanenti: 3 pensano che [$\vec{F} = \text{costante} \Rightarrow \vec{v} = \text{costante}$], 3 scrivono che sotto l'influenza di una forza costante la velocità aumenta e poi si stabilizza ad un valore costante (dopo un po'), 1 pensa che, perché non c'è attrito, la velocità sia costante e 1 pensa che la velocità sia costante perché "il motore è già acceso, la sua forza quindi è uguale a zero"...

4.1.6 Domanda 2.3

Classe 2C

Cinque allievi (5/17) non rispondono correttamente: 1 non prende in considerazione la velocità iniziale orizzontale e un altro la velocità iniziale verticale, 1 pensa che ci sia la forza peso (malgrado che nell'esercizio sia scritto che il razzo non è soggetto ad alcuna forza esterna), 1 dà la giustificazione giusta, ma non sceglie la traiettoria che gli corrisponde e 1 non risponde.

Classe 2F

Circa la metà degli allievi (9/17) risponde correttamente. Dei rimanenti: 4 scrivono che quando $F_{\text{motore}} = 0$ il razzo va dritto (verticalmente, cioè *non* continua come in precedenza) e altri 4 pensano che senza spinta verticale il razzo si muova orizzontalmente, cioè non prendono in considerazione la velocità iniziale verticale.

4.1.7 Domanda 2.4

Classe 2C

Solo due (2/17) allievi non rispondono correttamente: 1 pensa che ci sia la forza-peso e che quindi "il razzo perde quota" e l'altra non risponde.

Classe 2F

Tutti gli allievi rispondono correttamente (a) con una giustificazione soddisfacente.

4.1.8 Domanda 3

Classe 2C

La maggior parte (13/17) degli allievi sceglie la risposta corretta (b), dando anche la spiegazione corretta. Gli altri 4 pensano che il carrellino viaggi a velocità costante malgrado ci sia una forza costante che lo tira, ma fanno un ragionamento corretto sulla traiettoria della pallina. Solo un'allieva crede che la forza della fune agisca sulla pallina in volo (concetto dell'impeto).

Classe 2F

Solo tre (3/17) allievi danno la risposta e la giustificazione corrette. 13/17 pensano che il carrellino viaggi a velocità costante. Alcuni (5/17) scrivono esplicitamente che la forza costante che tira il carrellino spieghi la sua velocità costante! Gli altri suppongono che la sua velocità sia costante senza giustificarlo¹. Un'allieva non prende in considerazione la velocità iniziale orizzontale trasmessa dal carrellino e risponde che la pallina cade nel punto dove è stata lanciata.

4.1.9 Domanda 4.1*Classe 2C*

Questa domanda è stata un vero disastro. Tutti gli allievi, tranne uno, indicano correttamente le 4 forze in gioco, ma la maggior parte (14/17) scrive che **la forza della donna supera la forza d'attrito** "perché la scatola si muove"! Essi trascurano completamente il fatto che questo moto avviene a velocità costante e che pertanto F_{donna} deve essere uguale a F_{attrito} . Solo 3 allievi indicano la concezione scientifica " $F_{\text{donna}} = F_{\text{attrito}}$ perché $v = \text{costante} \Rightarrow \sum F = 0$ ".

Classe 2F

Come nella 2C tutti gli allievi indicano 4 forze che agiscono sulla scatola. Solo 6/17 allievi si rendono conto (e giustificano) che F_{donna} deve essere uguale a F_{attrito} . Un allievo riesce a scrivere contemporaneamente che " $F_{\text{donna}} > F_{\text{attrito}}$ e che " $\sum F = 0$ perché $v = \text{costante}$ ". Durante le (movimentate) correzioni mi sono reso conto che alcuni allievi confondono "mettere in moto" e "essere in moto": nel primo caso $F_{\text{donna}} > F_{\text{attrito}}$, mentre nel secondo caso $F_{\text{donna}} = F_{\text{attrito}}$ se la velocità è costante.

4.1.10 Domanda 4.2*Classe 2C*

Più della metà degli allievi (10/17) danno la risposta giusta con la corretta giustificazione. Dei rimanenti, 6 pensano che senza la forza della donna il moto sia impossibile ($F_{\text{donna}} = 0 \Rightarrow v = 0$) e 1 non risponde.

Classe 2F

Nella 2F più della metà degli allievi (10/17) pensano che senza la forza della donna il moto sia impossibile ($F_{\text{donna}} = 0 \Rightarrow v = 0$): la scatola si ferma immediatamente quando la donna smette di esercitare la forza sulla scatola.

¹Durante la correzione in classe di queste domande molti allievi mi hanno detto che pensavano di aver letto 'velocità costante' al posto di 'forza costante' e che sapevano benissimo che una forza costante **non** implica una velocità costante... è solo mancanza di concentrazione?

4.2 Conclusioni per la classe seconda

Per le prime tre domande della verifica il risultato è soddisfacente: la maggior parte degli allievi (circa 75%) sembra aver digerito i principi della dinamica e dimostra di sapere come metterli in pratica. I risultati della 2C sono migliori di quelli della 2F. Alcuni errori commessi si spiegano più come una pura disattenzione che come veri e propri problemi di comprensione. L'ultima domanda è stata la più problematica. Dovrei pertanto concludere che il principio d'inerzia e le relazione tra forza, velocità e accelerazione non sono stati capiti per niente? Non lo credo. Bisogna innanzitutto dire che il modo in cui questa domanda è stata posta "facilitava" l'errore: "Una donna esercita una forza costante e come risultato la scatola si muove a velocità costante". La soluzione di quest'apparente dilemma risiede naturalmente nel fatto che la forza esercitata dalla donna *non è l'unica forza* che agisca sulla scatola. Il problema degli allievi si sposta quindi verso una confusione tra forza e forza risultante (meno grave che una non-comprensione del principio d'inerzia e delle relazione tra $\vec{F}$, $\vec{v}$ e $\vec{a}$). Questa conclusione mi sembra suffragata dai buoni risultati nelle domande 1 e 2, dove l'esistenza (o l'assenza) di *un'unica forza* era l'elemento determinante. Dalle giustificazioni degli allievi (soprattutto nella domanda 4.1) si può purtroppo concludere che la concezione " $\vec{F} \propto \vec{v}$ " cioè che il moto sia spiegato "da una forza nello stesso senso della velocità" (anche se essa è costante) è molto tenace e torna facilmente in superficie.

4.3 Classe prima

Nella 1E ho usato un questionario composto da nuove domande (allegato 5.4) per verificare le concezioni degli allievi dopo l'insegnamento. Nella domanda 1 ho ripreso l'esempio del lancio verticale di una pallina, chiedendo più dettagli (su $\vec{F}$, $\vec{v}$, $\vec{a}$) anche nella fase in cui la pallina è accelerata dalla mano. Le risposte alla domanda 1 sono state raggruppate in 5 categorie (vedasi sotto). Ho chiesto inoltre di valutare la veridicità di varie affermazioni che di solito costituiscono un problema e di spiegare il ragionamento (domanda 2a, ..., f e 3).

4.3.1 Domanda 1: La forza risultante che agisce sulla pallina è sempre verso il basso mentre essa è in volo?

Solo 3/19 allievi hanno risposto di no, di cui 2 mantengono una concezione dell'impeto.

4.3.2 Domanda 1: La forza risultante che agisce sulla pallina è verso l'alto mentre essa è spinta dalla mano?

La maggior parte degli allievi (8/19), che rispondono negativamente, non identificano chiaramente la forza della mano come superiore alla forza peso e perciò come causa dell'accelerazione verticale della pallina. Un'allieva scrive addirittura che "la spinta che viene data dall'uomo non è considerata una forza".

4.3.3 Domanda 1: Il grafico velocità-tempo della fase in volo è una retta (moto uniformemente accelerato)?

Solo 4/19 allievi rispondono di no, di cui 3 pensano che il grafico velocità-tempo debba essere una parabola, probabilmente perché lo confondono con il grafico spazio-tempo.

4.3.4 Domanda 1: La velocità può prendere valori positivi o negativi (salita o discesa)?

10/19 allievi rispondono di no, perché di nuovo confondono con il grafico spazio-tempo e disegnano una parabola (sempre positiva) o un triangolo (sempre positivo). Simultaneamente questi allievi possono scrivere che $v = 0$ in *cima al grafico-parabola*, anche se il grafico stesso mostra chiaramente un valore diverso da zero.

4.3.5 Domanda 1: distinzione tra 'moto uniformemente accelerato' e 'moto uniforme' e senso dell'accelerazione?

10/19 allievi non danno la risposta giusta: 8 di loro non fanno una distinzione chiara tra $\vec{v}$ e $\vec{a}$ e una risponde che la velocità della pallina che sale è costante.

4.3.6 Domanda 2a

8/19 allievi sbagliano e associano ancora un aumento della velocità con un (necessario) aumento della forza.

4.3.7 Domanda 2b

8/19 allievi sbagliano, perché rispondono che la forza risultante in volo è zero, perché scrivono che c'è, oltre la forza-peso, la forza normale (o di sostegno) che agisce sulla pallina, anche in chiara assenza di sostegno.

4.3.8 Domanda 2c

8/19 allievi (e non sempre gli stessi) sbagliano perché pensano che $a = v/t$ e perciò quando $v = 0$ allora anche $a = 0$.

4.3.9 Domanda 2d

Tutti gli allievi rispondono correttamente.

4.3.10 Domanda 2e

Solo 3/19 allievi sbagliano e rispondono che $\vec{F} \propto \vec{v}$.

4.3.11 Domanda 2f

5/19 allievi sbagliano per motivi diversi: per es. 2 allievi credono che la velocità aumenti solo fino a un certo punto e un'allieva dimostra una concezione completamente aristotelica.

4.3.12 Domanda 3

5/19 allievi rispondono che tale situazione è impossibile: due lo giustificano scrivendo che $a = \Delta v / \Delta t$, perciò a e Δv hanno lo stesso segno (grave confusione tra v e Δv), una che pensa che la velocità non sia mai negativa. Due allievi non rispondono. Le risposte corrette più gettonate sono il lancio verticale di un oggetto e la frenata di un'automobile.

4.4 Conclusioni per la classe prima

Nell'insieme i risultati della verifica sono stati meno soddisfacenti per le prime. La concezione dell'impeto è quasi sparita, però non c'è ancora una differenziazione chiara tra velocità e accelerazione. Ci sono anche alcuni resti della concezione $\vec{F} \propto \vec{v}$. L'uso di metodi alternativi d'insegnamento si è limitato ad una dimostrazione di laboratorio: il trenino che viaggia a velocità costante su un cuscino d'aria e senza nessuna forza che lo spinga. Sarebbe stato anche utile usare altri modi (filmati, simulazioni o altre esperienze di laboratorio) per consolidare la differenziazione tra velocità e accelerazione. Chiaramente il minor numero di ore dedicate in prima al soggetto ha una parte di responsabilità sui risultati.

Conclusioni

In questa piccola ricerca ho provato ad applicare un modo d'insegnamento della fisica che tentasse di identificare con completezza le concezioni degli allievi per poi attaccarle e scardinarle con l'ausilio di strumenti didattici differenziati. La verifica ha dato un esito soddisfacente (circa 2/3 degli allievi sono passati al profilo scientifico, con un maggiore incidenza nelle seconde rispetto alla prima), ma non è stata un successo completo e totale, perché?

Parafrasando un mio collega di chimica potrei cominciare ad abbozzare una spiegazione realizzando che anche quando ci sembra di essere riusciti a correggere le concezioni degli allievi, non dovremmo farci troppe illusioni: "se rigiriamo la frittata, ci sono buone probabilità che ci ricaschino!"

Approfondire la comprensione degli allievi, aiutarli ed accompagnarli verso la costruzione di concetti corretti può essere paragonato alla creazione di una densa rete di conoscenze. Essa include diverse capacità: sapere riconoscere e scomporre le situazioni proposte, saper fare analogie, saper applicare metodi operativi coerenti e strutturati. Più la rete è fitta e ricca, più essa diventa stabile e resistente all'erosione del tempo. Senza voler entrare in un tentativo di spiegazione neurologica, mi spingo a sostenere che il parallelo con la "vera" rete neuronale non è del tutto fuori luogo. Al livello fisiologico è appurato che il cervello si crei nel corso della vita e si arricchisce grazie all'apprendimento: un bambino nasce con i neuroni preesistenti, ma con pochissime connessioni tra di loro.

Prendere nella giusta considerazione le concezioni degli allievi è sicuramente un passo fondamentale ma non sufficiente per costruire una rete ricca e sana. Lo scalino successivo è certamente quello di portare l'allievo a scoprire in prima persona dove e quando la rete è troppo povera o addirittura incapace di risolvere in modo corretto un problema. Eppure tutto ciò non sembra bastare sempre. Sono convinto, anche considerando la giovane e problematica età degli allievi e la loro poca consuetudine a compiere questo tipo di astrazione, che occorra passare e ripassare molte volte sugli stessi concetti per costruire una rete ricca, solida ed efficiente. Solo in questo modo possiamo sperare di provocare un cambiamento durevole nella rete neuronale. Nel concludere la mia ricerca, non posso fare a meno di mostrare una certa perplessità sulla conciliabilità di due esigenze: la breve durata del corso di base di fisica liceale e la necessità di una persistente e ripetuta visitazione dei concetti con gli allievi.

Conteggio caratteri: 52482

Referenze

- Bachelard, G., 1938, *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris
- Clement, J. J., 1982, *Students' preconceptions in introductory mechanics*, American Journal of Physics, 1, 66
- Crombie, A. C., 1963, *Medieval and Early Modern Science*, Harvard University Press, Cambridge, vol. 2, p.67
- Fuschini, E., Grimelli Tomasini, N. & Pecori Balandi, B., 1984, *Student's frameworks in mechanics: a study on freshmen*, Atti del Convegno GIREP, Utrecht, p. 240
- Giordan, A. & de Vecchi, G., 1994, *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, Lausanne
- Giordan, A., Girault, Y. & Clément, P., 1994, *Conceptions et connaissances*, Peter Lang, Berne
- Grimellini-Tomasini, N., Segrè, G., 1991, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, La Nuova Italia, Firenze
- Halloun, I. A. & Hestenes, D., 1985a, *The initial knowledge state of college physics students*, American Journal of Physics, 53 (11), 1043
- Halloun, I. A. & Hestenes, D., 1985b, *Common sense concepts about motion*, American Journal of Physics, 53 (11), 1056
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G., 1992, *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher, 30, 141
- Honorez, M., 2000, *L'acquisition des compétences terminales en sciences*, Informations pédagogiques, 50, 9
- Jonnaert, P., 1988, *Conflits de savoirs et didactique*, De Boeck & Larcier, Paris-Bruxelles
- McCloskey, M., 1983, *Intuitive physics*, Scientific American, 249, 122
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B., 1980, *Curvilinear motion in absence of external forces: naive beliefs about the motion of objects*, Science, 210, 1141
- Roletto, E., 2004, *Apprendimento delle scienze e didattiche disciplinari*, iRiDiS, Innovazione e Ricerca per la Didattica delle Scienze
- Skrenes, C., 2005, *Buridan's Impetus Hypothesis*, disponibile sul sito dell'autore, <http://kleene.ss.uci.edu/~skrenes/pages/index.php?ID=3>
- Viennot, L., 1979, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Hermann, Paris

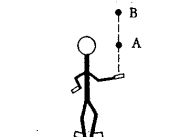
- Viennot, L., 1996, *Raisonnement en physique, la part du sens commun*, Pratiques pédagogiques, De Boek Université, Paris, Bruxelles
- Vygotskij, L.S., 1975, *Lo sviluppo psichico del bambino*, Editore Riunti, Roma.
- Watts, D. M., Zylbersztajn, A., 1981, *A survey of some children's ideas about force*, Physics Education, 15, 360

Capitolo 5

Allegati

5.1 Il questionario per la classe prima

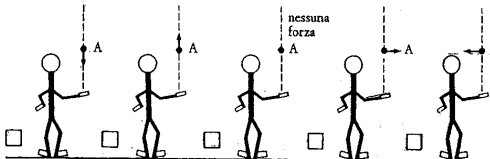
1.



Un sasso è lanciato in aria verso l'alto.
Esso si allontana dalla mano della persona, salendo passa per il punto A, arriva in alto fino a B e poi ritorna giù passando ancora per A.
I tre disegni seguenti si riferiscono a questa situazione.

2.

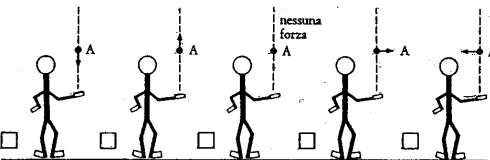
Supponiamo che le frecce che compaiono nelle figure rappresentino la *direzione della forza* che agisce sul sasso.
Quale figura pensi che rappresenti meglio la forza che agisce sul sasso quando, *salendo*, passa per A?



Spiegazione:

4.

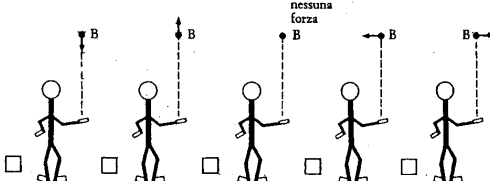
Delle figure che seguono, quale pensi che rappresenti meglio la forza che agisce sul sasso quando, *scendendo*, passa per A?



Spiegazione:

3.

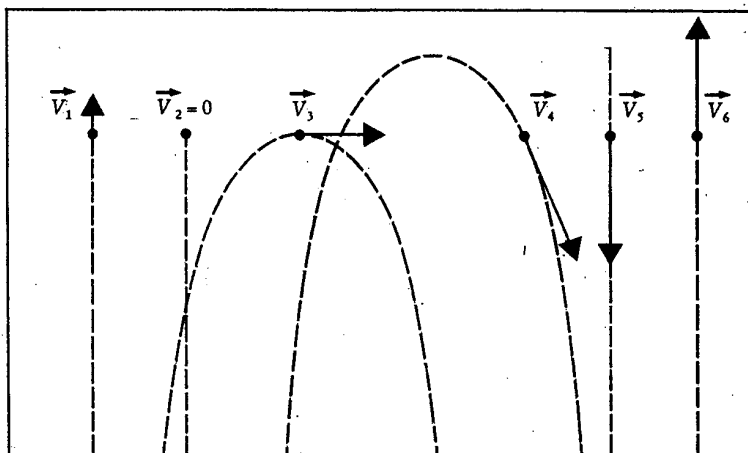
Delle figure che seguono, quale pensi che rappresenti meglio la forza che agisce sul sasso quando esso *raggiunge* il punto B (altezza massima)?



Spiegazione:

FIGURA 5.1— La domanda numero 1 posta agli allievi di classe prima

Un giocoliere sta giocando con sei palle identiche. All'istante t , le sei palle si trovano in aria alla stessa quota, sulle traiettorie rappresentate in figura mediante linee tratteggiate. Sulle traiettorie sono stati inoltre rappresentati i vettori velocità di ciascuna delle sei palle all'istante t .



1) Trascurando la resistenza dell'aria, le forze che si esercitano sulle palle all'istante t sono:

le stesse per le sei palle	diverse per qualcuna delle sei palle	le stesse per alcune palle (quali?)	diverse per alcune altre (quali?)
perché?	perché?	perché?	perché?

FIGURA 5.2— La domanda numero 2 posta agli allievi di classe prima

5.2 Il questionario per le classi seconde

Le forze

Leggi attentamente i dati degli esercizi qui sotto e rispondi a tutte le domande **spiegando accuratamente il tuo ragionamento**. Prova a ragionare e non rispondere a caso: Lo scopo dell'esercizio è proprio di vedere quello che pensi. Non c'è una nota, quindi non temere di scrivere la tua opinione, anche se non sei sicuro che darai la risposta giusta. Grazie della collaborazione e buon lavoro!

1. Una massa puntiforme m oscilla liberamente (caso 1,2,3) o ruota (caso 4) in un piano verticale. La massa è fissata all'estremità di una corda tesa di lunghezza l , di massa trascurabile, la cui altra estremità è fissata al punto c . Trascura tutti gli attriti, incluso quello dell'aria. In ciascuno dei casi mostrati qui sotto sono disegnati traiettoria (linea tratteggiata), velocità v e posizione angolare della massa m .

Su ciascun disegno traccia la forza risultante che agisce sulla massa m e spiega la tua risposta.

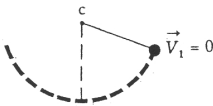
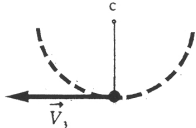
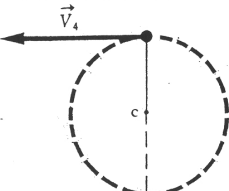
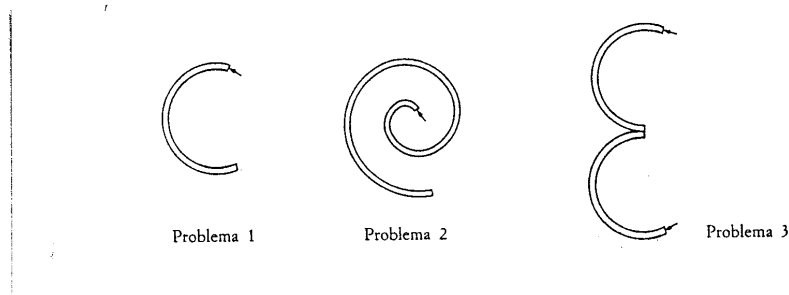
caso	dati cinematici
1	
2	
3	
4	

FIGURA 5.3— Domanda numero 1 posta alle classi seconde

2. Nel disegno sotto appare un sottile tubo curvo di metallo visto dall'alto. Una pallina di metallo è posta all'estremità del tubo indicata dalla freccia. La palla è poi lanciata in modo che esca ad alta velocità dall'altro estremo. Il tuo compito è di disegnare la traiettoria della palla quando esce dal tubo e di spiegare il ragionamento che ti ha portato a questa conclusione. (Tracciando il percorso della palla trascura la resistenza dell'aria e presupponi che la palla esca con la stessa velocità da tutti i tubi).



3. Un cavaliere su un cavallo al galoppo tiene di lato una pesante palla e la lascia cadere. Secondo te, la palla colpirà il terreno:
- immediatamente sotto il punto dove è stata rilasciata;
 - immediatamente sotto il punto in cui sono cavallo e cavaliere quando la palla raggiunge il suolo;
 - in una posizione diversa da quella di a e b: specifica quale.
4. Una palla viene lanciata verso l'alto da un punto A. Essa raggiunge al suo massimo un punto *più alto* di un punto che chiameremo C. B è il punto a metà strada fra A e C (cioè, $AB=BC$). Trascurando la resistenza dell'aria,
- 4.1. Qual'è la velocità della palla mentre passa il punto C paragonata alla sua velocità mentre passa il punto B?
- metà della velocità del punto B
 - più piccola della velocità del punto B, ma non necessariamente la metà.
 - uguale alla velocità del punto B
 - due volte la velocità del punto B
 - più grande della velocità del punto B, ma non doppia.
- 4.2. Mentre sale, quale forza agisce (o quali forze agiscono) sulla palla ?
- La forza-peso diretta verso il basso
 - Una forza che mantiene il suo moto verso l'alto
 - La forza-peso verso il basso e una forza costante verso l'alto
 - La forza-peso verso il basso e una forza decrescente verso l'alto
 - Una forza verso l'alto che prima agisce da sola sulla palla dal punto A fino ad una certa altezza, e poi oltre tale punto, anche la forza-peso che comincia ad agire sulla palla.

FIGURA 5.4— Domande poste alle classi seconde (seguito)

4.3 Dopo che la palla raggiunge in aria il punto più alto (al di sopra del punto C), essa cambia direzione e ricade a terra. Quando ricade, quale forza agisce (o quali forze agiscono) sulla palla ?

Quando ricade, qual'è la velocità della palla mentre passa il punto B, paragonata alla velocità che aveva allo stesso punto in fase di salita.

- a) più piccola della velocità che aveva in fase di salita
- b) uguale alla velocità che aveva in fase di salita
- c) doppia della velocità che aveva in fase di salita
- d) più grande della velocità che aveva in fase di salita, ma non doppia
- e) non puoi dirlo, perchè ti mancano dati.

5. Una pietra viene lanciata verso terra dal tetto di un edificio:

- a) la pietra raggiunge la sua massima velocità molto presto dopo il lancio e poi continua a cadere ad una velocità costante.
- b) la pietra accelera mentre cade perché l'attrazione gravitazionale diventa considerevolmente più forte mentre la pietra si avvicina alla terra.
- c) la pietra accelera a causa di una quasi costante forza di gravità che la influenza
- d) la pietra cade a causa della tendenza naturale di tutti gli oggetti di riposare sulla superficie della terra.
- e) la pietra cade a causa degli effetti combinati della forza di gravità che la spinge verso il basso e della forza dell'aria che anche la spinge verso il basso.

6. Una palla viene sparata da un cannone che si trova sulla cima di un dirupo, così come viene mostrato dalla figura. Quale delle traiettorie seguirà più verosimilmente la palla di cannone?

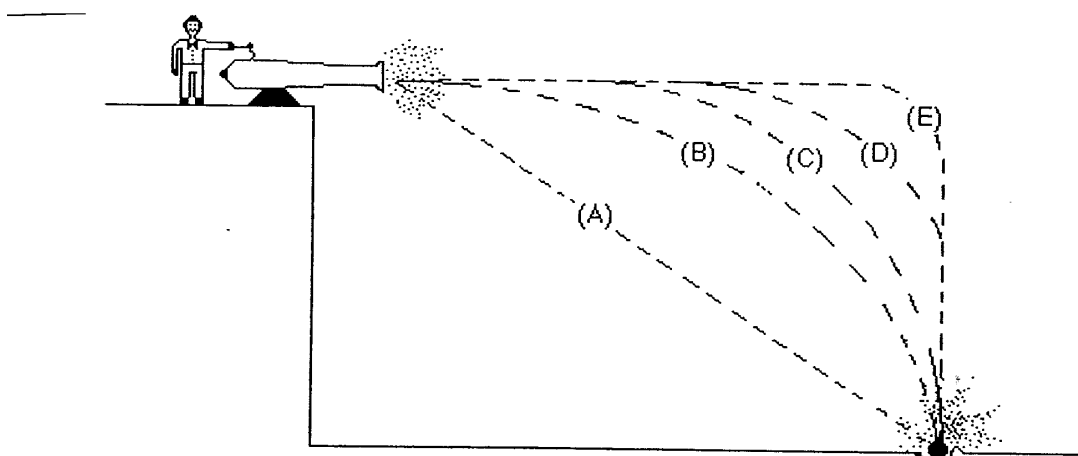


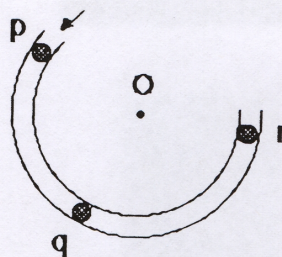
FIGURA 5.5— Domande poste alle classi seconde (seguito)

7. La figura sotto mostra un canale della forma di un segmento circolare con centro "O". Il canale è stato ancorato a un tavolo orizzontale. Stai guardando il tavolo da sopra. Trascura tutte le forze di attrito. Una palla viene sparata ad alta velocità all'interno del canale dal punto "p" ed esce dal punto "r". Considera le seguenti forze:

1. La forza di gravità verso il basso
2. La forza esercitata dal canale in direzione q verso O
3. La forza nella direzione del moto
4. La forza in direzione O verso q

Quali delle suddette forze agisce (o agiscono) sulla palla quando si trova all'interno del canale nella posizione "q"?

- a) solo la 1
- b) la 1 e la 2
- c) la 1 e la 3
- d) la 1, la 2 e la 3
- e) la 1, la 3 e la 4



8. Quale traiettoria nella figura sotto rappresenterebbe al meglio la palla che esce dal canale nel punto "r" e che si muove sul tavolo privo di attrito?

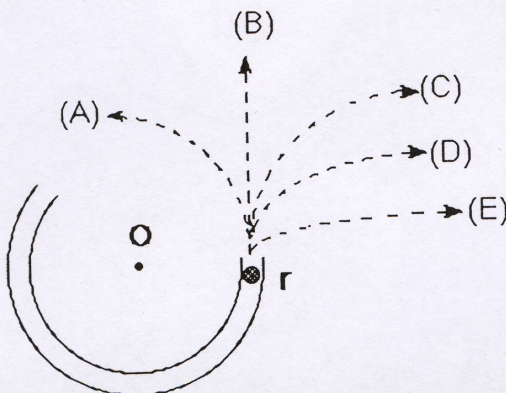
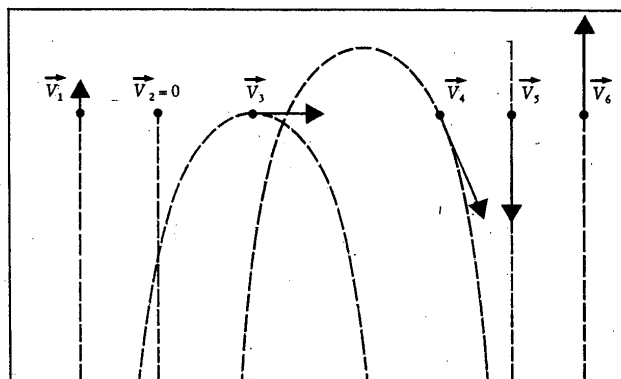


FIGURA 5.6— Domande poste alle classi seconde (seguito)

Un giocoliere sta giocando con sei palle identiche. All'istante t , le sei palle si trovano in aria alla stessa quota, sulle traiettorie rappresentate in figura mediante linee tratteggiate. Sulle traiettorie sono stati inoltre rappresentati i vettori velocità di ciascuna delle sei palle all'istante t .



1) Trascurando la resistenza dell'aria, le forze che si esercitano sulle palle all'istante t sono:

le stesse per le sei palle	diverse per qualcuna delle sei palle	le stesse per alcune palle (quali?)	diverse per alcune altre (quali?)
perché?	perché?	perché?	perché?

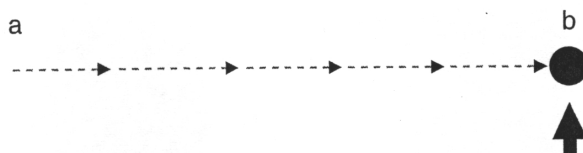
FIGURA 5.7— Domande poste alle classi seconde (seguito)

5.3 La verifica per le classi seconde

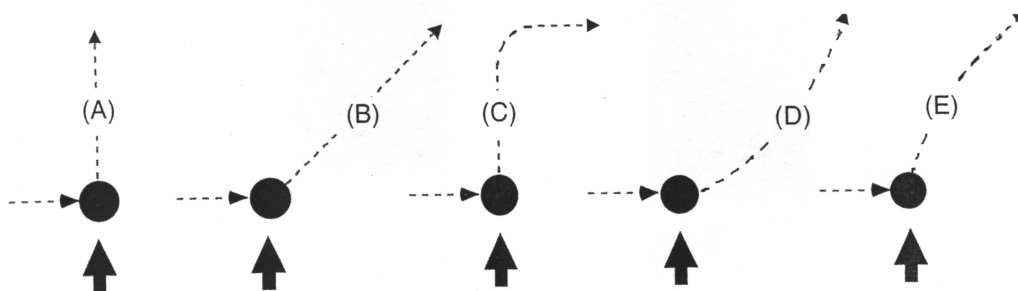
Le forze (seconda parte)

Leggi attentamente i dati degli esercizi qui sotto e rispondi a tutte le domande **spiegando accuratamente il tuo ragionamento**. Prova a ragionare e non rispondere a caso: Lo scopo dell'esercizio è proprio di vedere quello che pensi. Giustifica **tutte** le tue risposte. Grazie della collaborazione e buon lavoro!

Primo Esercizio: La figura sotto mostra una piastrella da hockey scivolare ad una velocità costante v_0 in linea retta dal punto 'a' al punto 'b' su una superficie orizzontale senza che sia esercitato alcun attrito. Trascura le forze esercitate dall'aria e immagina che tu stia osservando la scena dall'alto. Quando la piastrella in movimento raggiunge il punto 'b' riceve una spinta nella direzione indicata dalla freccia in neretto nel disegno. Se la piastrella a questo punto fosse stata ferma sul punto 'b' allora la spinta avrebbe messo la piastrella in movimento ad una velocità v_k nella direzione della spinta.



1. Quale delle traiettorie indicate qui sotto seguirebbe più verosimilmente la piastrella dopo aver ricevuto la spinta? Spiega il perché della tua risposta.



2. Lungo la traiettoria senza attrito che hai scelto per la domanda 1 la velocità della piastrella dopo aver ricevuto la spinta:

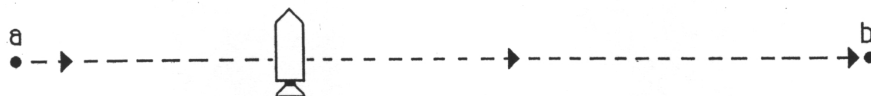
- a) è costante
- b) aumenta continuamente
- c) diminuisce continuamente
- d) aumenta per un poco e poi decresce
- e) è costante per un poco e poi decresce

(Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che hai scelto!)

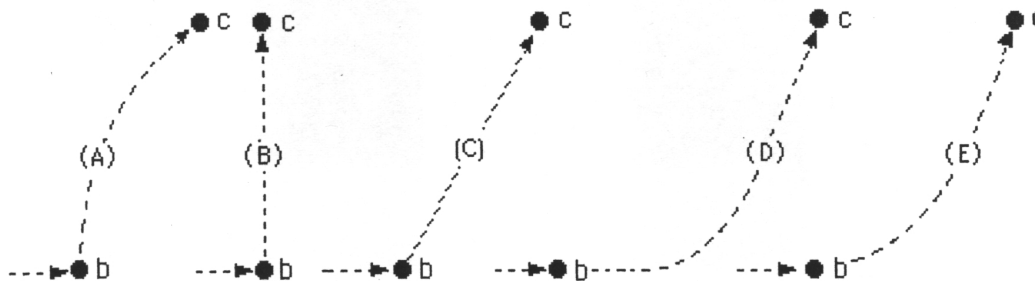
FIGURA 5.8— Domande poste alle classi seconde per la verifica

3. Lungo la traiettoria senza attrito che hai scelto per la domanda 1 quale sono le forze che agiscono sulla piastrella dopo la spinta?
- la forza-gravità verso il basso
 - la forza-gravità verso il basso e una forza orizzontale nella direzione del moto
 - la forza-gravità verso il basso, la forza esercitata dalla superficie verso l'alto e una forza orizzontale nella direzione del moto
 - la forza-gravità verso il basso e la forza esercitata dalla superficie verso l'alto
 - Nessuna (cioè non ci sono forze che agiscono sulla piastrella)
- (Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che hai scelto!)

Secondo esercizio: Un razzo va alla deriva nello spazio dal punto 'a' al punto 'b' come mostrato nella figura qui sotto. Il razzo non è soggetto ad alcuna forza esterna. Iniziando dalla posizione 'b' il motore del razzo viene acceso e produce una spinta costante (cioè una forza che agisce sul razzo) ad angolo retto rispetto alla linea 'ab'. La spinta costante viene mantenuta fino a quando il razzo raggiunge il punto 'c' nello spazio.



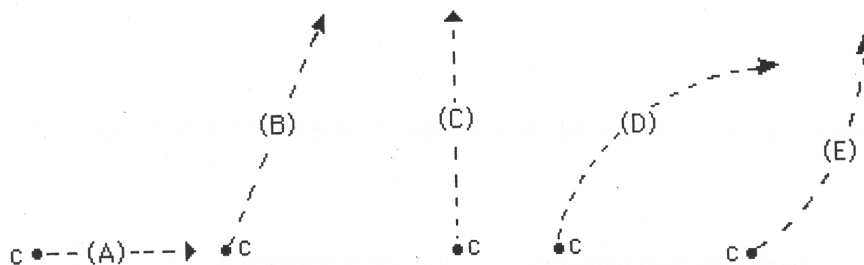
1. Quale delle traiettorie qui sotto rappresenta più verosimilmente la traiettoria del razzo tra il punto 'b' e 'c'?
- (Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che hai scelto!)



2. Mentre il razzo si muove dalla posizione 'b' alla posizione 'c' la sua velocità:
- è costante
 - cresce continuamente
 - decresce continuamente
 - cresce per un po' ed è poi costante
 - è costante per un po' e poi decresce
- (Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che hai scelto!)

FIGURA 5.9— Domande poste alle classi seconde per la verifica (seguito)

3. Al punto 'c' il motore del razzo viene spento e la spinta immediatamente scende a zero. Quale delle traiettorie qui sotto seguirà il razzo oltre il punto 'c'?
- (Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che sceglierai!)



4. Oltre la posizione 'c' la velocità del razzo:
- è costante
 - cresce continuamente
 - decresce continuamente
 - cresce per un po' ed è poi costante
 - è costante per un po' e poi decresce
- (Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che hai scelto!)

Terzo esercizio: Un carrellino su ruote viaggia su un binario dritto. A un certo punto della sua traiettoria, esso spara una pallina verticalmente. A differenza del filmato che avete visto, questa volta il carrellino è attaccato a una fune che lo tira con una forza orizzontale costante sul carrellino. Come nel filmato, la pallina è sparata mentre il carrellino è in moto. Trascurando tutte le forze di attrito, dove cadrà la pallina?

- nello stesso punto in cui è stata lanciata,
 - esattamente sul carrellino,
 - indietro rispetto al carrellino,
 - davanti rispetto al carrellino.
- (Per favore non dimenticare di spiegare il perché della risposta che hai scelto!)

Quarto esercizio: Una donna esercita una forza costante in senso orizzontale su una scatola. Il risultato è che la scatola si muove su un piano orizzontale ad una velocità costante.

- Quale sono tutte le forze che agiscono sulla scatola? Potresti paragonare queste forze tra di loro, per es. dire se una forza è uguale ad un'altra (o minore, o maggiore)?
- Se la donna in questione improvvisamente smette di esercitare una forza costante in senso orizzontale sulla scatola, allora la scatola:
 - immediatamente si ferma
 - continua a muoversi ad una velocità costante per un poco e poi rallenta fino a fermarsi
 - immediatamente comincia a rallentare per fermarsi
 - continua ad una velocità costante
 - aumenta la sua velocità per un poco e poi comincia a rallentare per fermarsi

FIGURA 5.10— Domande poste alle classi seconde per la verifica (seguito)

5.4 La verifica per la classe prima

Forza, accelerazione e velocità – classe prima

Leggi attentamente i dati degli esercizi qui sotto e rispondi a tutte le domande **spiegando accuratamente il tuo ragionamento**. Grazie della collaborazione e buon lavoro!

1. Per quest'esercizio, prendi un sistema di riferimento verso l'alto e trascura le forze di attrito.
 - a) Un uomo è fermo e tiene una pallina in mano. A un certo punto, decide di lanciarla verso l'alto. Con l'aiuto di un grafico velocità – tempo, spiega quello che succede alla pallina dal momento in cui l'uomo comincia a muovere la mano (e non solo dal momento in cui la pallina si stacca dalla mano dell'uomo) finché essa ricade e tocca terra. In particolare, descrivi tutte le forze (e la loro direzione) che agiscono sulla pallina in ogni fase del moto: quando la pallina sta ancora in mano, quando sale in aria, quando arriva in cima e quando scende fino a toccare terra. Il grafico velocità – tempo deve includere tutte queste fasi temporali.
 - b) In ogni fase, di che tipo di moto si tratta (uniforme o uniformemente accelerato) e perché? In ogni fase, in che senso è la velocità e l'accelerazione (se esiste)?
2. Le affermazioni seguenti sono vere o false? (spiega perché)
 - a) "Per aumentare la velocità di un oggetto, c'è bisogno di una forza sempre maggiore"
 - b) "Nel momento in cui un oggetto lanciato verso l'alto si ferma momentaneamente (in cima alla traiettoria) e sta per ricadere, la somma delle forze che agiscono su di esso è uguale a zero"
 - c) "Nel momento in cui un oggetto lanciato verso l'alto si ferma momentaneamente (in cima alla traiettoria) e sta per ricadere, la sua accelerazione è uguale a zero"
 - d) "Quando la somma delle forze che agiscono su un corpo è uguale a zero o quando nessuna forza agisce su di esso, la velocità del corpo rimane immutata"
 - e) "La velocità di un corpo è proporzionale alla somma delle forze applicate su di esso"
 - f) "In una caduta libera senza forza di attrito un oggetto cade sempre più veloce perché man mano che si avvicina alla superficie della Terra, la forza di gravità aumenta"
3. Puoi pensare e descrivere una situazione in cui l'accelerazione e la velocità di un oggetto **non** hanno lo stesso senso, per es. dove uno è positivo e l'altro è negativo? o si tratta di una cosa impossibile? Spiega il perché.

FIGURA 5.11— Domande poste alla classe prima per la verifica

Ringraziamenti

Ringrazio Matteo Nota per le numerose discussioni che abbiamo avuto durante quest'anno scolastico, Mauro Luraschi per il suo aiuto con Physics Interactive e anche tutti i colleghi di fisica del liceo di Lugano 2 per gli scambi d'idee e l'atmosfera di lavoro molto gradevole.

Vorrei anche esprimere tutta la mia gratitudine al "team" di Lilu2 che mi ha accolto a Lugano, in particolare, Jürg, Maristella, Aurelio e Daniele.

Questo lavoro è stato scritto in $\text{\LaTeX}$ su un Mac Powerbook G4 con l'aiuto del programma TeXShop¹ 1.39.

¹TeXShop è un $\text{\TeX}$ previewer per Mac OS X che usa Pdf $\text{\TeX}$ e Pdf $\text{\LaTeX}$ piuttosto che $\text{\TeX}$ e $\text{\LaTeX}$ per la compilazione di un testo. Una distribuzione libera di TeXShop è disponibile a: <http://www.uoregon.edu/~koch/texshop/>