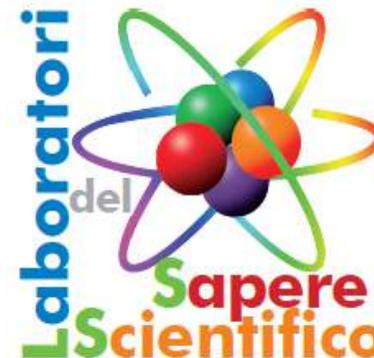


REGIONE
TOSCANA



**Prodotto realizzato con il contributo della Regione
Toscana nell'ambito dell'azione regionale di
sistema**

Laboratori del Sapere Scientifico

Introduzione al concetto di forza

Come si sviluppa il concetto di forza, in contesti di equilibrio, attraverso la presentazione e l'analisi di molteplici situazioni concrete

“La definizione esatta di qualunque concetto in ambito scientifico costituisce uno stadio avanzato e piuttosto tardo dello sviluppo di un concetto” [6]

“Nello studio della fisica, il principio d'inerzia e il concetto di forza sono stati, storicamente, due degli scogli più duri per gli studenti e finora è stata svolta in questa area più ricerca cognitiva che in ogni altra. Non è sorprendente che il problema didattico in questo campo sia così difficile da risolvere, se si tiene conto di quanto tempo fu necessario all'inizio alla mente umana per chiarire questi aspetti dei fenomeni naturali.” [1]

Percorso svolto
nelle **classi prime**
del liceo scientifico e
del liceo scientifico opzione scienze applicate

Collocazione del percorso nel curricolo verticale

Data la centralità del concetto di forza nello sviluppo della fisica, e dunque nello studio della disciplina, il percorso è svolto all'inizio del biennio. Un approccio al concetto di forza dovrebbe essere già stato svolto nella scuola secondaria di primo grado; ma l'esperienza mostra che si tratta per lo più di conoscenza di nomi, solo raramente accompagnata da appropriazione autentica di significati.

Prerequisito del percorso è un lavoro sul peso e sulla bilancia a bracci uguali (che dovrebbe essere svolto nella scuola primaria).

Nelle Indicazioni Nazionali per il liceo scientifico lo studio delle leggi della dinamica è collocato nel biennio; il concetto di forza è fondamentale e, insieme ai concetti di velocità e accelerazione, costituisce elemento essenziale per una reale comprensione delle leggi della dinamica.

L'esperienza didattica dei docenti conferma ciò che è descritto in molta letteratura: gli studenti possiedono idee ingenuie su forza, velocità, accelerazione, mostrando confusione e sovrapposizione tra questi concetti. Si sottolinea dunque la scelta di trattare, inizialmente, la forza in contesti di equilibrio, avendo ben presente la complessità, che andrà affrontata già a partire dal biennio, delle situazioni dinamiche.

Obiettivi essenziali di apprendimento

- Obiettivo fondamentale è la costruzione del concetto di forza come azione esterna esercitata su un oggetto da un altro oggetto, quindi del concetto di forza come *interazione* (terza legge della dinamica)
- Legame forza-deformazione, confronto tra forze, misura di una forza
- Rappresentazione delle forze
- Risultante di più forze applicate a un oggetto, natura vettoriale delle forze; scomposizione di una forza data
- Caratteristiche fondamentali di alcune forze (gravità, elastica, attrito, elettrica...)

Elementi salienti dell'approccio metodologico

- Si procede analizzando situazioni concrete, tutte quelle di cui si può disporre, il più possibile facendone fare esperienza agli studenti;
- si pongono opportune domande stimolo e si fanno scrivere le risposte, singolarmente sul quaderno, perché il coinvolgimento sia il più ampio possibile e ciascuno possa riflettere sulle proprie idee
- si leggono alcune risposte (dopo che il docente le ha sommariamente esaminate girando tra i banchi);
- si discutono le idee emerse, si chiede di affinare, di precisare, per arrivare a una conclusione (definizione, legge o altro ancora) condivisa
- All'inizio di ogni ora di lezione si riprendono in sintesi le conclusioni della lezione precedente o le questioni aperte, lasciate spesso come argomento di riflessione a casa.

In sintesi: **dalla fenomenologia alla costruzione e alla definizione di nuovi concetti per interpretare i fenomeni**; non definizioni a priori, dettate dall'insegnante o studiate sul libro di testo (in cui, per una malintesa ricerca di rigore, tutto è *svelato* da subito); e neppure successione di esperienze senza riflessione. Se si propone un'osservazione o un'esperienza lo si fa in vista di una ricerca di interpretazione, finalizzata all'affinamento di nuovi strumenti concettuali.

Materiali, apparecchi e strumenti impiegati

Materiali: Utilizzo solo parziale del libro di testo. Per alcune parti del percorso l'insegnante ha predisposto delle dispense (per l'introduzione di semplici elementi di goniometria, per lo svolgimento di esperienze sui fenomeni elettrici a casa)

Apparecchi: Estensori, molle, bilance, dinamometri, carrucole, goniometri; apparecchio per la misura delle forze su un piano inclinato; "leva ottica"; elettroscopio e altri semplici strumenti per elettrostatica. Ogni oggetto può essere materiale di studio in quanto può subire/esercitare forze

Strumenti: Oltre a quanto già elencato, è ovviamente uno strumento ampiamente utilizzato il computer (per la scrittura di testi, per la comunicazione tra studenti e docente, per la rete internet)

Ambienti in cui è stato sviluppato il percorso

Aula: Si supera il luogo comune secondo il quale l'aula è il luogo della lezione frontale e della didattica trasmissiva: anche nell'aula scolastica si può mettere in atto una didattica laboratoriale; inoltre, tanti oggetti presenti possono essere spunto per lo studio delle forze (attaccapanni, zaini, astucci, libri, quaderni, diari...)

Laboratorio di Fisica La possibilità di stare seduti in piccoli gruppi intorno ai banchi conferisce alla lezione in laboratorio un carattere diverso rispetto a quella in aula; le relazioni tra i soggetti coinvolti, per forza di cose, sono diverse, più favorevoli alla partecipazione di tutti, a una relazione più spontanea tra studente e docente. Inoltre si hanno a portata di mano molti più oggetti specifici per il percorso, si possono più facilmente mettere alla prova le ipotesi formulate

Altri luoghi ... Dal momento che si chiede agli studenti di sperimentare e riflettere sulle forze anche come compito a casa, qualunque luogo può contribuire allo sviluppo del percorso

Tempo impiegato:

- **per la messa a punto preliminare nel gruppo LSS:** 5 ore; ma si precisa che il percorso era già stato progettato e svolto da una docente prima della formazione del gruppo LSS, nel corso di diversi anni; esso è stato proposto e ampiamente discusso nel gruppo durante un incontro di formazione e altre riunioni.
- **per la progettazione specifica e dettagliata nella classe:** si possono stimare circa 10 ore, per la preparazione specifica delle singole lezioni e per la predisposizione delle attività sperimentali (tenendo però presente quanto precisato al punto a)
- **tempo-scuola di sviluppo del percorso:** circa 4 mesi (dalla fine di ottobre ai primi di marzo), 2 ore settimanali (circa la metà delle 66 ore annuali previste per la disciplina). Non si sono svolte uscite.
- **per documentazione:** circa 25 ore per la stesura del diario di bordo (stimate in 45 min per ciascuna ora di lezione); altre 20 ore circa per la predisposizione del presente documento (la descrizione del percorso e i tempi indicati si riferiscono in particolare a quanto svolto dalla docente Falsini, con contributi da altri docenti; la documentazione è stata ricavata dal diario di bordo dell'insegnante e dai quaderni degli studenti; si è dato maggiore spazio alla descrizione delle fasi del percorso con approccio più innovativo)

Bibliografia

1. A.B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli, 1992
2. L. Barsantini, C. Fiorentini, *L'insegnamento scientifico verso un curricolo verticale. Volume primo - I fenomeni chimico-fisici*, L'Aquila, IRRSAE Abruzzo, 2001
3. N. Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991
4. G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, Firenze, La Nuova Italia, 1995
5. E. Aquilini, *Il ruolo del linguaggio nel passaggio dai concetti di senso comune ai concetti scientifici*, in "Insegnare", 1999, n. 11/12
6. E. Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Bollati Boringhieri, 1977
7. M. Jammer, *Storia del concetto di forza*, Feltrinelli, 1971
8. N. Nersessian, *Conceptual change in science and in science education* Synthese 80: 163-183, 1989
9. P. Bozzi, *Fisica Ingenua*, Garzanti, Milano, 1990
10. P. Falsini, *La fisica ingenua resiste*, in *La Fisica nella Scuola*, anno XXXVII, n. 1, 2004

Descrizione del percorso didattico

Si è iniziato chiedendo agli studenti di scrivere sul quaderno **esempi di forza in senso fisico**

Oralmente, prima, si era chiesto di fare esempi di forza in senso figurato, cioè non fisico (per esempio, forza di volontà) per far riflettere sul fatto che il termine *forza* può avere un significato molto ampio nel linguaggio comune

Il docente, girando tra i banchi, legge quanto hanno scritto e riporta alcuni esempi alla lavagna; successivamente chiede agli studenti di inviare per email quanto scritto sul quaderno

Alcuni esempi di ciò che hanno scritto gli studenti:

- Forza dei fenomeni naturali (forza del vento, forza dell'acqua...);
- Forza muscolare (tirare su un peso...)
- Forza centrifuga
- Forza di gravità
- Forza elettromagnetica
- Forza di attrazione
- La forza di attrazione di una calamita o di altri oggetti
- La forza creata dall'attrito di due oggetti

- Forza di attrazione (come quella che esercita la terra sulla luna o il sole sui pianeti del nostro sistema solare, tra cui la terra)
- Forza dinamica (il muscolo varia la dimensione sia in allungamento, sia in accorciamento)
- Forza fisica (la forza che ti permette di muoverti e fare determinate azioni della vita di tutti i giorni)
- Forza che deforma (come quando accartocci un foglio di carta)
- Forza di pressione, ossia quando premi un oggetto con la mano fino ad arrivare a spostarlo, deformato o perfino romperlo
- Forza di un motore
- Forza idrica e eolica
- Forza di Coriolis
- Forza nucleare
-

In molti casi si capisce che gli studenti **sanno/scrivono/dicono nomi, termini cui non corrisponde alcun riferimento concreto significativo**

Si vede anche che alcuni ricorrono a definizioni da vocabolario

Per portare gli studenti a riflettere su situazioni concrete, si è posta la domanda: **“Come si può riconoscere la presenza di una forza?”**

Le risposte sono sostanzialmente di due tipi:

- **“se metto in moto un oggetto”**
- **“se deformato un oggetto”**

Qui è stato necessario dichiarare che ci saremmo occupati, in questa prima fase dello studio delle forze, di situazioni di equilibrio e quindi portare l'attenzione degli studenti sul legame tra **forza e deformazione**

Per far sperimentare in concreto questo legame sono stati distribuiti degli **estensori** da palestra (attività in aula e in laboratorio): gli studenti li maneggiano, ovviamente li allungano... qualcuno dice che *si deformano*.

“Si possono deformare anche in modo diverso?”

In generale, un corpo si può schiacciare, torcere



Si è chiesto agli studenti: “**se c’è una forza c’è sempre una deformazione?**”

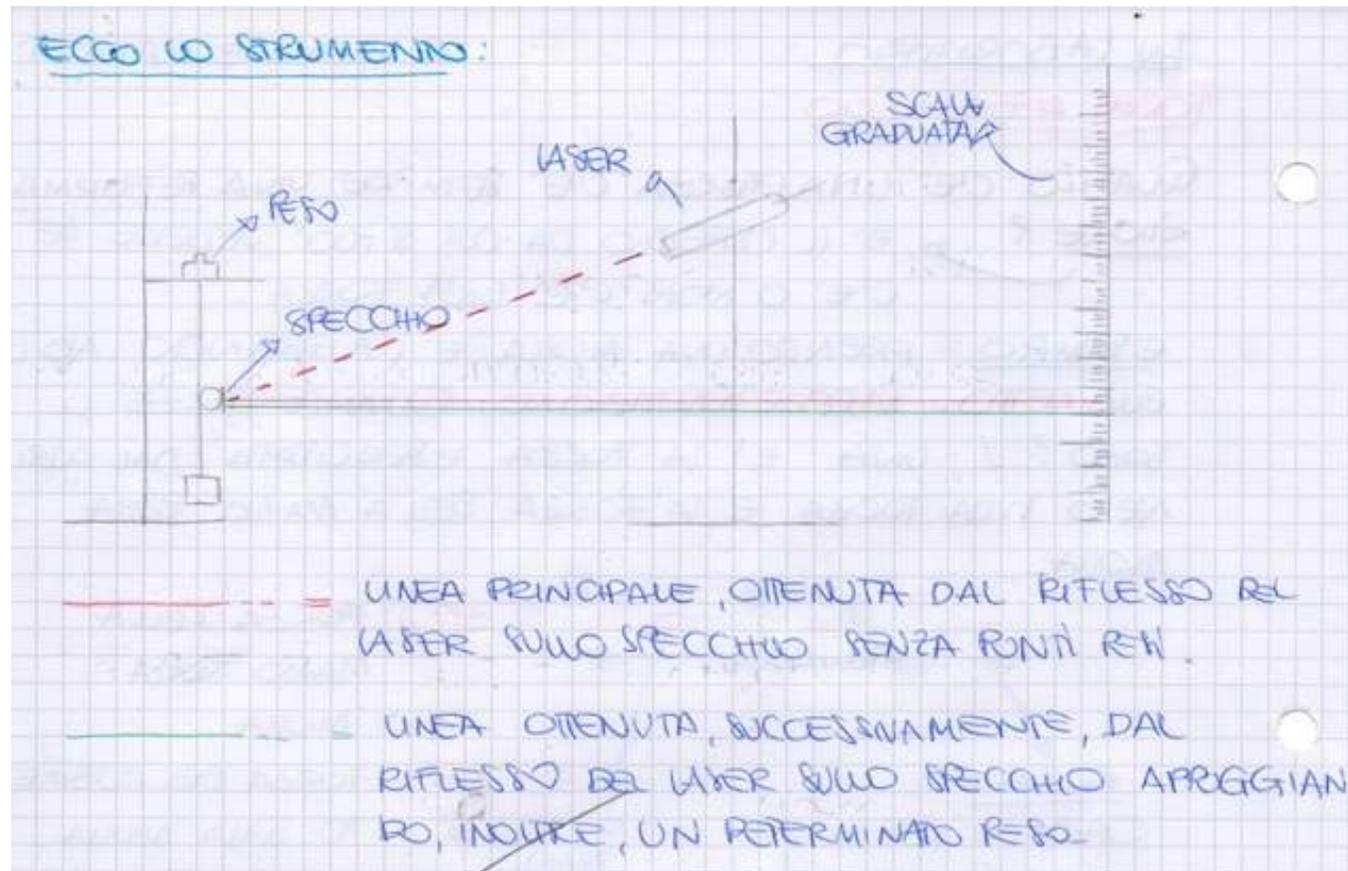
Molti rispondono di no, ma alla richiesta di motivare le loro risposte sono incerti. Qualcuno dice che si potrebbero rompere; qualcuno che ci potrebbe essere movimento; è quindi necessario richiamare di nuovo la scelta di occuparsi di situazioni di equilibrio.

Emergono un po’ alla volta esempi di oggetti che *non* si deformano con l’applicazione di una forza: il banco, il davanzale di cemento, ...

Per convincere tutti che la deformazione è presente anche quando non è visibile, si è svolta un’esperienza in laboratorio, simile a quella suggerita da Arons [1, pag 84, dove l’apparecchiatura è denominata *leva ottica*]: sotto una tavoletta di compensato è attaccato un filo, tenuto in tensione, su cui è fissato uno specchietto. Un fascio laser è puntato sullo specchietto e il raggio riflesso incide su una scala graduata. Quando sulla tavoletta si appoggia un pesetto il raggio riflesso si sposta; gli studenti provano anche premendo appena con un dito sulla tavoletta.

E’ un’esperienza che sorprende, molto convincente, che porta alla conclusione che ***anche se non si vede la deformazione c’è.***

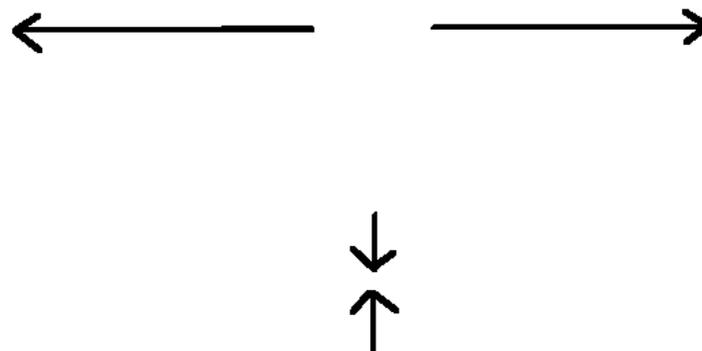
Dagli appunti di una studentessa:



L'esperienza della leva ottica rappresenta anche una prima occasione per introdurre la questione del *confronto tra forze*: appoggiando pesetti noti si può osservare la relazione con lo spostamento della macchia di luce riflessa sulla scala rispetto alla posizione iniziale in assenza di forze. La questione è stata ripresa più avanti.

Qui si è deciso di sfruttare ancora questa situazione sperimentale per affrontare la questione fondamentale del ***riconoscimento*** delle forze presenti e della loro ***rappresentazione***.

Richiamando e ripetendo l'esperienza degli estensori si è chiesto di rappresentare sul quaderno le forze presenti: *molte rappresentazioni sono sostanzialmente corrette (1° schema), ma è interessante proporre alla discussione degli studenti il 2° schema...*



Dalla discussione collettiva emerge che il secondo schema potrebbe essere una rappresentazione di come si è deformato l'estensore, o di una sollecitazione diversa da quella realmente applicata ma con effetto analogo.

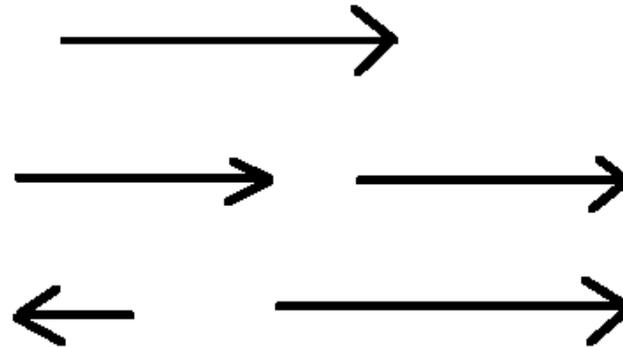
Questa puntualizzazione è servita a mettere in guardia sulla possibile confusione tra rappresentazione della forza e rappresentazione della deformazione.

Gli studenti sono ancora ben lontani dall'avere una nozione corretta di forza; ciò è ben evidenziato dal modo in cui viene rappresentata la seguente situazione: *una estremità di una molla viene fissata a un supporto mentre sull'altra si agisce con la mano facendo allungare la molla; lo stesso si può realizzare con l'estensore (con qualche difficoltà in più perché va annodato a un supporto).*

Si è chiesto agli studenti di identificare e rappresentare le forze che agiscono sulla molla

Stavolta nessuno disegna lo schema corretto!! E c'è molta confusione sull'identificazione delle forze: *la forza di estensione, la resistenza, la deformazione ...* solo per fare alcuni esempi

Alcuni degli schemi disegnati dagli studenti:



Pur non essendo possibile esaminare uno a uno tutti gli schemi disegnati, è fondamentale discutere con gli studenti quanto prodotto. Si cerca di far capire che stiamo “giocando con le idee”, che stiamo cercando di passare dalle idee che hanno all’idea scientifica corretta. Dalla discussione collettiva, in cui il docente fa tesoro dei suggerimenti dei singoli che portano nella giusta direzione, si analizzano i significati dei diagrammi più comuni (dopo averli riprodotti alla lavagna)

Il primo diagramma potrebbe esprimere l'idea che solo gli esseri animati sono in grado di esercitare forze: è una questione fondamentale, che verrà ripresa in tante altre situazioni. Per aiutare gli studenti a capire che anche il supporto esercita una forza, si riproduce la stessa situazione di allungamento della molla ma agendo con tutte e due le mani (tornando alla prima situazione sperimentata con gli estensori)

Il secondo diagramma: la freccia più a destra rappresenta la forza della mano che tira la molla, *e l'altra freccia?* Per qualcuno può essere la molla che tira il supporto, ma altri potrebbero semplicemente aver rappresentato la molla che si allunga... E' necessario richiamare che la nostra attenzione si deve concentrare sulle **forze che agiscono sulla molla**. Si tratta di un passaggio cruciale; e le tante situazioni concrete che andremo a esaminare serviranno proprio a imparare a riconoscere le forze che agiscono su un oggetto. E' il momento di dare un'indicazione più precisa, un criterio per riconoscere/individuare una forza:

Da chi/che cosa è esercitata? Su chi/che cosa?

Dunque la freccia diretta da sinistra a destra rappresenta la forza esercitata dalla molla sul supporto fisso. *Si deforma il supporto?* No, è la prima risposta superficiale di molti; poi tutti si correggono, la deformazione potrebbe esserci senza essere visibile.

E il terzo diagramma? E' corretto?

Mentre si discute, un ragazzo, Leonardo, riproduce la situazione, in modo che la riflessione abbia luogo di fronte alla situazione concreta (la questione era stata assegnata come compito a casa). Dal diario del docente:

Chiedo a Alice; lei dice che le lunghezze sono troppo diverse. Gregorio vuole precisare e dice che la forza del supporto è sicuramente maggiore o uguale di quella della mano sulla molla. [C'è sotto l'idea che per resistere a qualcosa bisogna essere uguali o superiori...] Faccio capire che non sono soddisfatta, ma diversi sono della stessa idea. Allora prendo due studenti, do loro un estensore e chiedo che lo tirino: le forze esercitate dai due compagni sono uguali o diverse? Federico dice che sono diverse ... non riesco a immaginare come gli possa venire in mente!! I ragazzi capiscono che io sono dubbiosa, e allora ci arrivano, qualcuno dice "Sono uguali, se no non ci sarebbe equilibrio". Io faccio l'esempio del tiro alla fune, sembrano convinti.

Come si potrebbe fare per verificare che sono davvero uguali? In fondo ci siamo arrivati con il ragionamento... Sono in difficoltà... Gregorio, che è ripetente, dice che ci vorrebbe un dinamometro... Poi Matteo dice "Si potrebbe prendere una forza come campione e confrontare". Tommaso precede la mia domanda e dice "si potrebbe guardare la deformazione". Io preciso, aggiungo che le forze non si vedono, si vedono le deformazioni; loro dicono gli effetti, le conseguenze.

Si chiede a Leonardo di esercitare la stessa forza appendendo la molla a un supporto in verticale (prima la teneva orizzontale). ***Come si fa a essere sicuri che sta esercitando la stessa forza?*** Rispondono che la lunghezza è circa la stessa. Chiedo a un altro studente, Samuele, di esercitare una forza sulla molla che sia circa la metà di quella che aveva esercitato Leonardo... Ci si rende conto che è necessario fare delle misure ...

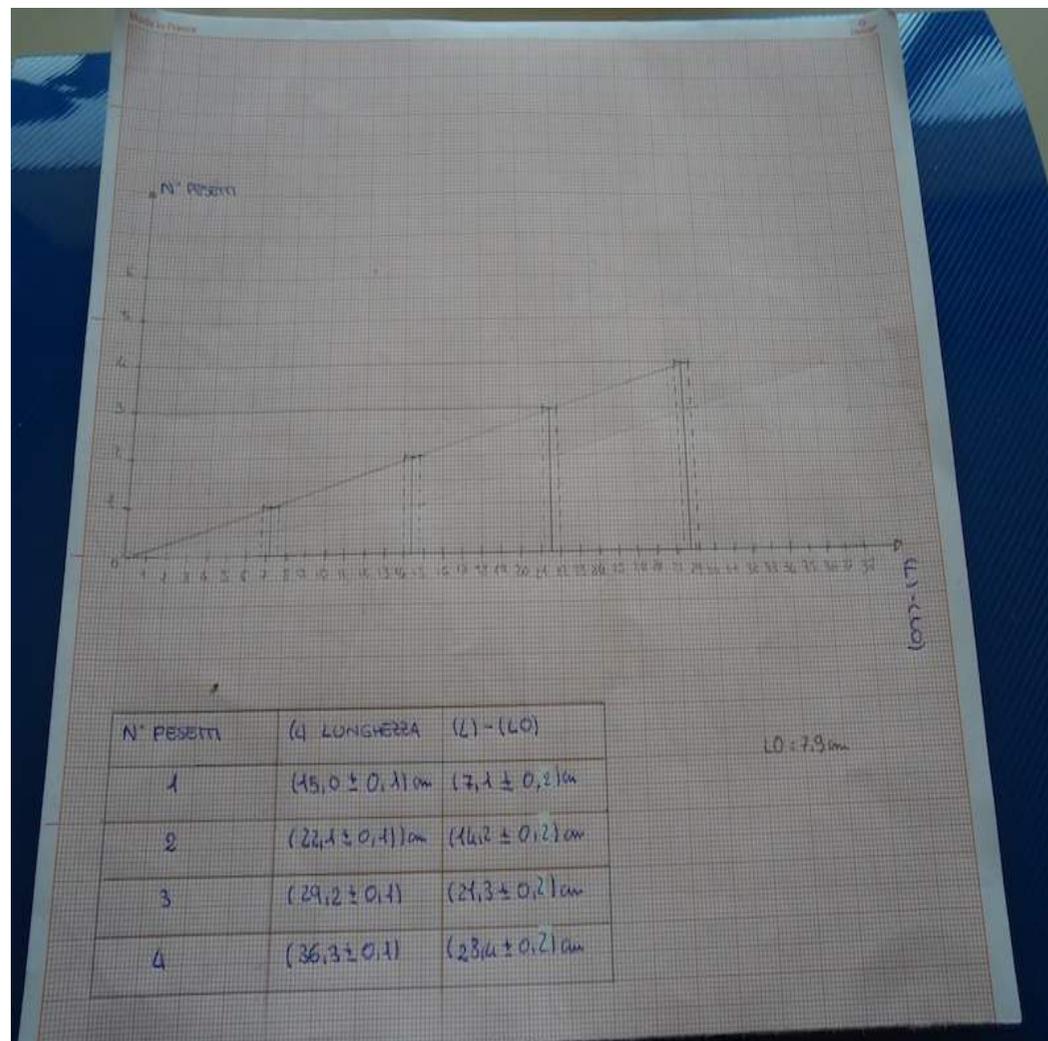
Ma è necessario far emergere un'altra questione a cui gli studenti non hanno proprio pensato: il comportamento della molla. Si capisce che danno per scontato che una deformazione doppia corrisponda una forza applicata doppia e così via. [E' un'occasione per riprendere la relazione di proporzionalità diretta tra due grandezze]

Si fa una prova con un elastico da capelli di Emma: si capisce facilmente che non si comporta come la molla

Si pone la domanda: ***Come faremo a esercitare una forza doppia?***

Dalla discussione collettiva emerge la proposta di attaccare alla molla due oggetti uguali. Il docente mostra agli studenti una serie di pesetti da 50 g e una serie di pesi da pesca di diverso valore

Studio sperimentale dell'allungamento di una molla



Di questa fase del percorso sono significativi i seguenti aspetti:

- È l'occasione per affrontare molte questioni legate alla misura (incertezze, sensibilità degli strumenti, cifre significative, rappresentazione grafica dei dati e delle incertezze, ...) in modo contestualizzato, e non come fanno tutti i libri di testo come tema a sé, all'inizio del corso di fisica
- L'attività, in una classe, è stata svolta con strumentazione davvero essenziale (non era ancora disponibile il materiale acquistato con il finanziamento LSS), accompagnata da molta imprecisione; ma è comunque meglio dello studio sul libro di testo
- Lo studio del comportamento della molla fornisce un'occasione per ritrovare in concreto una relazione di proporzionalità diretta, ma anche per capire che non è l'unica relazione possibile
- Lo studio del comportamento della molla conduce alla definizione di *costante elastica* della molla; come suggerisce Arons, è un'occasione preziosa per:
 - ✓ capire cos'è una **definizione operativa**
 - ✓ Introdurre una **grandezza definita come rapporto**

Nel seguito, ove non esplicitamente descritto, si sottintende che ogni nuova acquisizione avviene con la metodologia descritta: questioni concrete, domande stimolo del docente, risposte dai singoli (scritte o orali), discussione collettiva, affinamento delle risposte dei singoli, sintesi condivisa

Definizione della costante elastica di una molla

Dal diario del docente:

Si prendono in esame alcuni dei grafici prodotti a casa dagli studenti, in particolare quelli di Tommaso e del suo gruppo, che avevano una molla di buona qualità; si trascrivono i dati alla lavagna. In questo caso si riesce a disegnare una semiretta uscente dall'origine... *Che cosa possiamo concludere?* In molti rispondono che si tratta di una proporzionalità diretta. *Che cosa significa?* Che il rapporto tra le grandezze rimane costante. *Verifichiamo*, aggiungendo una colonna alla tabella. Scriviamo i rapporti, facciamo la media. *Quali unità di misura ha il rapporto calcolato?* Qualcuno risponde che sono g/cm. *Che vuol dire?* Molti non scrivono nulla, non sanno che dire... Serghei dice che ci vuole un peso di 11,2 grammi per allungare la molla di 1 cm. Cerco di insistere su questo significato ma è già suonata la campana!

Nella lezione successiva si torna a considerare il numero 11,2 g/cm. Da come si esprimono si capisce se hanno chiaro o no il significato di questo rapporto, secondo la riflessione di Arons: alcuni si esprimono descrivendo un'azione, altri no

Pongo la domanda: *Se ho una molla "più dura", come sarà questo numero?* Si fa la prova, si appende lo stesso oggetto, un astuccio, alla nuova molla e a quella già studiata; si vede che la più dura si allunga meno. Chiedo che rispondano per scritto alla domanda. Diversi scrivono che il numero sarà più grande, ma non sanno poi spiegare nel dettaglio perché. Si fanno di nuovo prove, coinvolgendo gli studenti più incerti.

A questo punto si dà un nome a questo numero: costante elastica della molla e si scrive la formula matematica che esprime la proporzionalità diretta (legge di Hooke).

Chiedo a Andrea *E se considerassimo l'altro rapporto, $\Delta l/\text{peso}$? 0,089 cm/g, che vorrebbe dire?* un po' aiutato da me, lo dice bene: "i cm di cui si allunga la molla se ci attacco un peso di 1 g"

Dinamometro

- Si richiama la questione che aveva condotto allo studio del comportamento delle molle, il confronto tra forze.
- Si conducono gli studenti a capire che il comportamento della molla ci permette di costruire uno strumento per la misura delle forze (diversi lo conoscono già dalla scuola media e ne dicono il nome)
- Si distribuiscono alcuni dinamometri, tutti quelli a disposizione in laboratorio, in modo che tutti possano osservarli, maneggiarli.
- La prima osservazione che emerge è che su quasi tutti ci sono due scale, una in grammi l'altra in N: anche qui molti già sanno che si tratta di Newton. E' necessario esplicitare che per il momento ci si limita a prendere atto di questa unità di forza, senza possibilità di capirne l'origine, la definizione. Osservando gli strumenti, gli studenti arrivano a ricavare il fattore di corrispondenza tra grammi e Newton.
- Alcuni studenti osservano che il dinamometro può misurare qualunque forza, non solo un peso attaccato ...

Il peso è una forza

L'ultima considerazione ci porta ad affrontare la questione del *peso* (ma le occasioni per affrontarla sarebbero già state molteplici).

Dall'idea che la presenza di una forza si riconosce dalla deformazione che produce, pare naturale che il peso di un corpo sia una forza.

Eppure la questione è piuttosto delicata e ha bisogno di un'attenta riflessione.

Si è nuovamente attaccato un peso a una molla disposta verticalmente e si è allungata una seconda molla, affiancata alla prima, tirandola con una mano. Si è chiesto agli studenti di ***riconoscere e disegnare le forze presenti sulla molla*** nei due casi.

Tutti disegnano il diagramma corretto (anche se alcuni sono poco precisi)

Quanto alla denominazione delle forze verso il basso, nel primo caso alcuni hanno scritto "**la forza peso**" altri "**la forza del peso**".

Senza commentare, per il momento, si chiede di ***disegnare le forze che agiscono sull'oggetto appeso alla molla.***

Molti disegnano le forze sul disegno precedente; va precisato che è meglio disegnare solo l'oggetto di cui di volta in volta ci si occupa (per avviarli verso il *diagramma di corpo libero*).

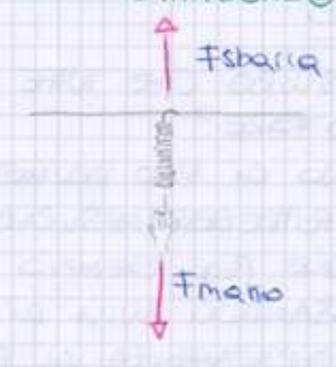
Qui emergono molte più incertezze: alcuni disegnano una forza sola, la maggior parte due forze ma senza molta chiarezza sulla forza verso l'alto (qualcuno l'ha disegnata lontana dall'oggetto, sulla sbarra cui è appesa la molla ... è la sbarra che regge, in fondo). Molti hanno disegnato correttamente le forze ma avevano dubbi sul nome da attribuire. Circa metà classe ha scritto, correttamente, *forza di gravità e forza della molla.*

Dal quaderno di una studentessa

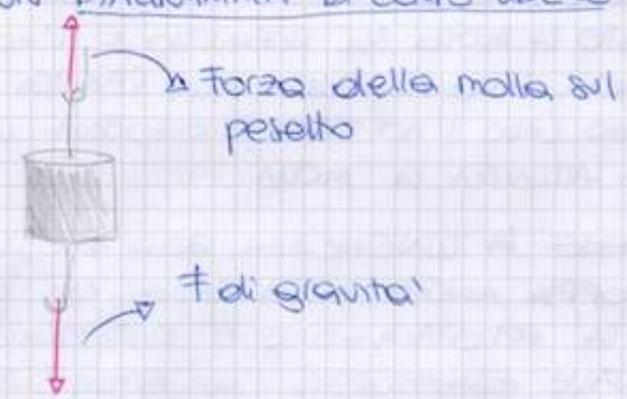
RAPPRESENTAZIONE ①



RAPPRESENTAZIONE ②



DISEGNARE, ORA, LE FORZE CHE AGISCONO SUL PESILLO
ATTRAVERSO UN DIAGRAMMA DI CORPO LIBERO (RAPPRESENTAZIONE ③)



■ LA FORZA SULLA MOLLA VERSO IL BASSO E LA FORZA VERSO IL BASSO SULL'OGGETTO SONO LA STESSA FORZA?

Si sono disegnati alla lavagna i due diagrammi corretti per i due casi e si è posta la domanda: ***le due forze verso il basso nei due diagrammi sono la stessa forza?***

C'è molta incertezza, gli studenti hanno discusso tra loro; molti non sanno proprio come rispondere... Diversi intuiscono che non sono la stessa forza ... Un po' con l'aiuto del docente qualcuno arriva a questa risposta "una è dall'oggetto sulla molla, l'altra è dalla gravità sull'oggetto".

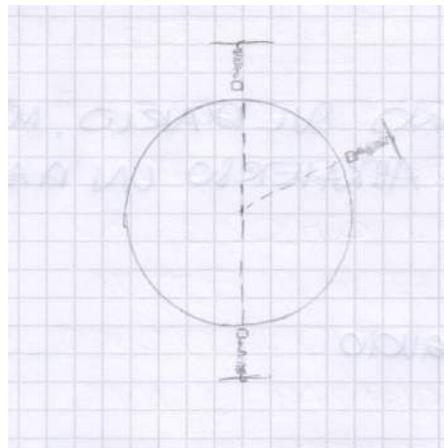
E' un passo avanti (ma la gravità non è un oggetto...). ***Da parte di chi/che cosa è esercitata la forza di gravità?*** Giulio dice che è dovuta alla Terra, anzi dal centro della Terra. Anche altri dicono dal centro della Terra. ***Come facciamo a saperlo?*** Hanno idee confuse..

Si chiede di disegnare le molle con l'oggetto attaccato in diversi punti della superficie terrestre, per mettere in evidenza che in ogni punto l'orientamento è verso il centro della Terra. Non si può affrontare la questione se sia la Terra o solo il suo centro a esercitare questa forza.

A ribadire ancora che le due forze verso il basso sono due forze diverse, Serghei afferma che una delle due forze è di contatto e l'altra no.

Si dichiara che, da ora in poi, alle espressioni ***peso - forza peso- forza di gravità*** attribuiremo lo stesso significato: *la forza esercitata dalla Terra sugli oggetti, diretta verso il centro della Terra*

La questione ha dato anche l'occasione per riflettere sui concetti di *verticale* e *orizzontale*



Continua l'attività di riconoscimento di forze...

Un'agenda è appoggiata su un banco: ***riconoscete e rappresentate le forze che agiscono sull'agenda***

L'esperienza della *leva ottica*, le altre situazioni di equilibrio analizzate in precedenza fanno intuire che c'è una forza verso l'alto; ai dubbiosi si propone di sostenere l'oggetto con una mano, per far capire che il piano *deve* esercitare la forza che esercita la mano

Si dà un nome alla forza verticale verso l'alto esercitata dal piano d'appoggio (F normale)

Si propongono situazioni più complesse: un pacco (B) è appoggiato su una valigia (A) a sua volta appoggiata su un piano orizzontale: ***riconoscete e rappresentate le forze che agiscono sul pacco e sulla valigia***

Questa situazione è particolarmente adatta a introdurre/consolidare l'idea che “le forze vanno a coppie”; seguendo un suggerimento presente in letteratura si è parlato di *forze gemelle*: per esempio, alla forza di B che preme su A corrisponde la forza normale esercitata da A su B.

Osservazioni:

- non si è parlato agli studenti di terza legge della dinamica, ma è evidente che si tratta proprio di quel principio
- è inevitabile che qualcuno ponga la questione di quale sia la *gemella* della forza di gravità esercitata dalla Terra sugli oggetti; semplicemente “ribaltando” l'espressione si arriva a dire che “l'oggetto esercita una forza sulla Terra” ma si comprende che non ne possiamo fare alcuna esperienza e si è dichiarato che la questione, per ora, non può essere affrontata

Si osserva una situazione particolarmente adatta a evidenziare la reciprocità delle forze:

una grappetta è attratta da un magnete del Geomag che le impedisce di cadere .. Ma lo stesso accade invertendo le posizioni (il magnete è abbastanza leggero)

La reciprocità dell'attrazione si osserva anche appoggiando il magnete e la grappetta su un banco; si tiene fermo con la mano il magnete e, avvicinando opportunamente la grappetta, si vede che questa, una volta lasciata libera, tende ad avvicinarsi al magnete (rompendo la situazione di equilibrio)... Ma accade anche il contrario, tenendo ferma la grappetta e lasciando libero il magnete, si vede che quest'ultimo tende ad avvicinarsi alla grappetta

Non si deve pensare che questa prova sia definitiva per l'idea di interazione tra oggetti (gli studenti potrebbero sempre pensare che sia una particolarità della forza magnetica); l'idea dovrà essere consolidata ancora a lungo, sfruttando ogni possibile situazione

La forza d'attrito

Gli esempi proposti per il riconoscimento di forze ci hanno condotto presto a riconoscere la presenza di un altro tipo di forza

In laboratorio, di nuovo si maneggiano gli estensori; gli studenti, a coppie, in piedi, tirano l'estensore da parti opposte

Si chiede: *“Disegna, in due diagrammi separati, **le forze che agiscono sull'estensore e quelle che agiscono su di te** e specifica quale oggetto sta esercitando ciascuna delle forze che hai disegnato”*

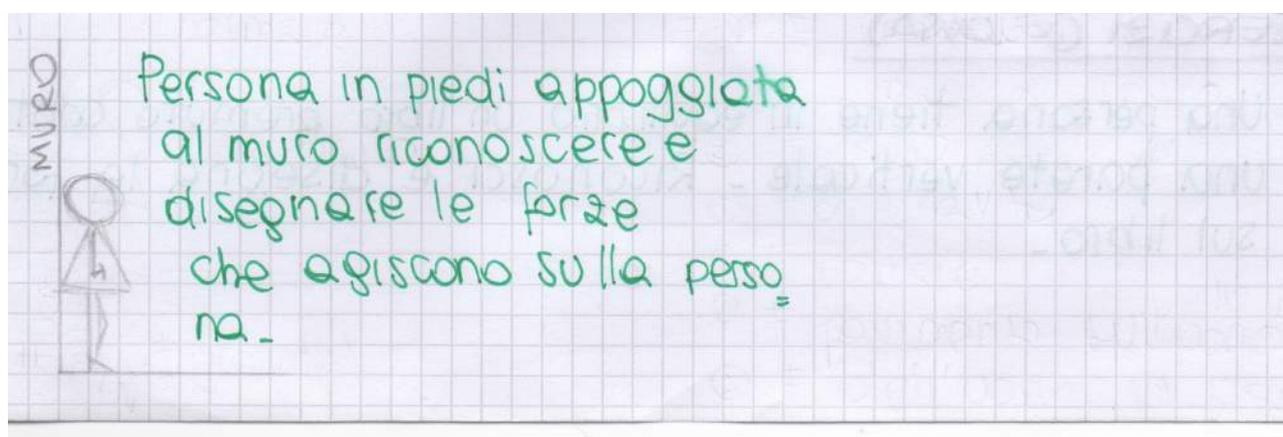
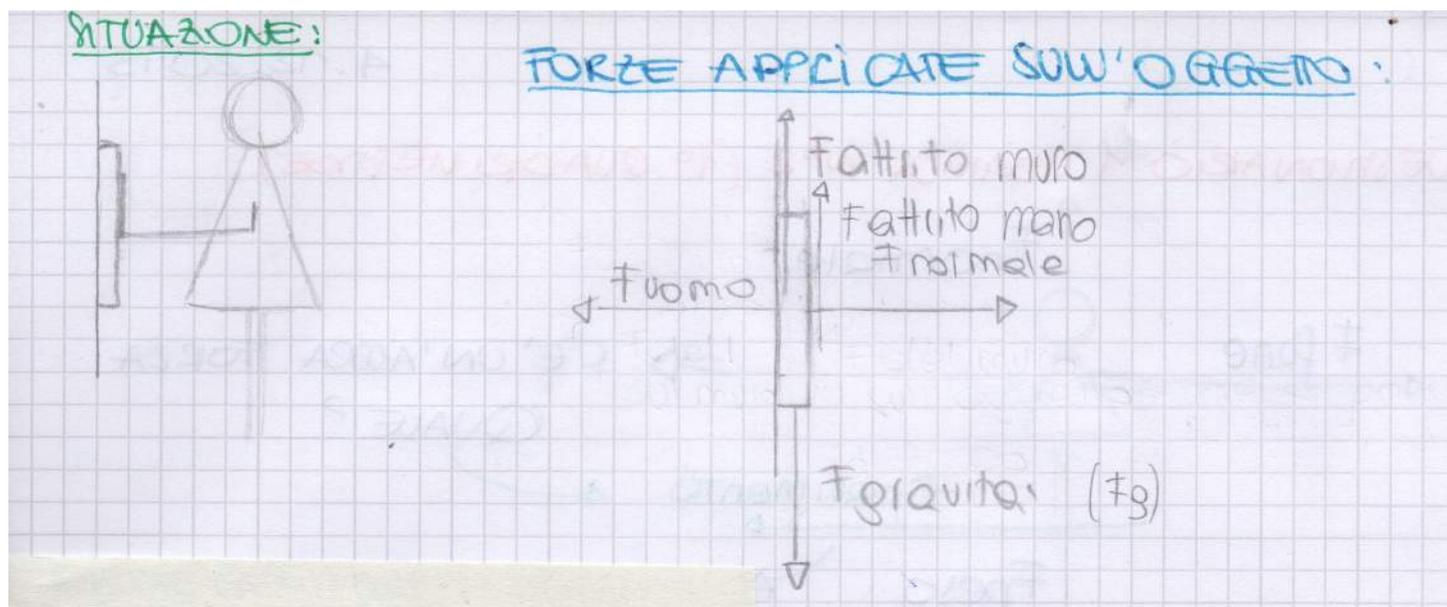
Difficoltà ... *“Provate ancora”*

E' facile percepire su di sé la forza dell'estensore; qualcuno comincia a capire il ruolo dei piedi, del pavimento; osserva che sull'olio o sul ghiaccio la situazione sarebbe molto diversa

A qualcuno viene in mente di fare un salto (mentre sta ripetendo la prova di “tiro” dell'estensore) e fa notare che atterra spostato verso il compagno...

Questo serve a tutti a capire ancora di più che *c'è una forza dal pavimento sui piedi...* qualcuno dice che è *l'attrito*

Altre situazioni in cui si riconosce il ruolo della forza d'attrito



FORZE GEMELLE:

- F uomo sul muro
 F normale applicata dal muro sull'uomo
- F di gravita'
 F normale
- F normale applicata dal pavimento sull'uomo
 F dell'uomo sul pavimento.

Qual'è la F gemella della F di gravita', cioè la forza della terra sull'uomo? È la F dell'uomo sulla Terra.

Osservazione: questa studentessa ha commesso un errore molto comune (a parte “qual è” scritto con l’apostrofo!), quello di considerare *forze gemelle* due forze applicate sullo stesso oggetto (forza di gravità e forza normale). Nelle ultime due righe c’è la correzione, ma l’esperienza mostra che questa idea sbagliata è molto tenace...

Studio sperimentale delle caratteristiche della forza d'attrito (presentato attraverso il quaderno di una studentessa)

11.12.2013

FORZA D'ATTRITO

La forza d'attrito ^{una} è la forza che si adatta alla situazione.

LA FORZA MASSIMA D'ATTRITO È 3,2 N (IN QUESTO CASO). QUINDI SE APPLICO UNA FORZA MAGGIORE DI 3,2 N SI OTTENE UN DISTACCO.

$0 \leq F_a \leq F_{a\max}$

Gomma sul cartone

Peso (N)	$F_{a\max}$
2N (1B)	1,25N
4N (2B)	2 N
6N (3B)	3,2N
8N (4B)	4 N

INDICA LA F d'ATTRITO.
 > DIPENDE dal PESO, dalla SUPERF. CHE.
 COSA SI NOTA?
 CHE LA FORZA D'ATTRITO MASS. RIMA E' DIRETTAMENTE PROPORZIONALE AL PESO.

Gomma sul tavolo

Peso (N)	$F_{a\max}$
2N	N
4N	2N
6N	2,5N
8N	3,5N

13.12.2013

SINTESI LEZIONE PRECEDENTE:

- $0 \leq F_a \leq F_{a\max}$
- $F_{a\max} \propto F_{\text{peso}} \Rightarrow F_{a\max}/F_{\text{peso}} = \text{COSTANTE}$

RIGUARDO L'ELENCO DI COSE DA FARE CON LA FORZA D'ATTRITO ABBIAMO DECISO DI FARE RESTARE IL PESO COSTANTE (2N), MA CAMBIARE LA SUPERFICIE SU CUI SI APPOGGIA IL BUCCHETTO, QUINDI ABBIAMO OTTENUTO I SEGUENTI RISULTATI:

COPIE di SUPERFICIA	$F_{a\max}$	COSTANTE ($F_{a\max}/F_{\text{peso}}$)
• GOMMA SU FORMICA	1,4 N	0,7
• ACCIAIO SU FORMICA	0,1 N	0,05
• GOMMA SU STOFFA	0,8 N	0,4
• ACCIAIO SU STOFFA	0,09 N	0,045
• GOMMA SU LANA	0,55 N	0,28
• ACCIAIO SU LANA	0,3 N	0,15

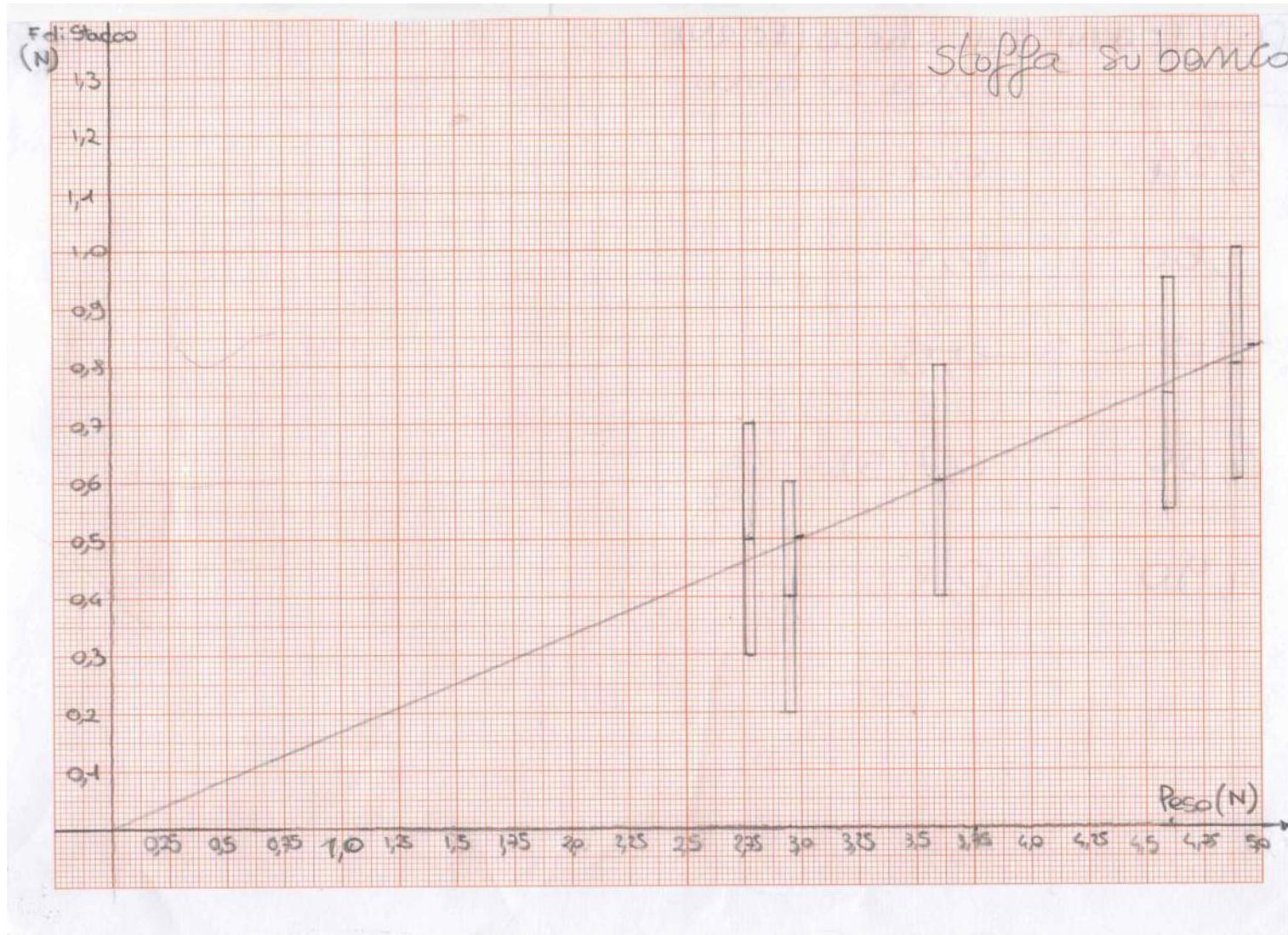
ESISTE UN RAPPORTO COSTANTE TRA $F_{a\max}$ e F_{peso} ?
 SI ESISTE, MA DIPENDE DALLE COPPIE di SUPERFICIE. QUESTO RAPPORTO ($F_{a\max}/F_{\text{peso}}$) PRENDE IL NOME di Coefficiente d'attrito.

NON HA UNITA' di MISURA

$$\frac{F_{a\max}}{F_{\text{peso}}} = \text{COSTANTE d'ATTRITO} = \mu (MI)$$

Studio sperimentale delle caratteristiche della forza d'attrito

Altra serie di misure, in una classe diversa; occasione per occuparsi delle incertezze delle misure

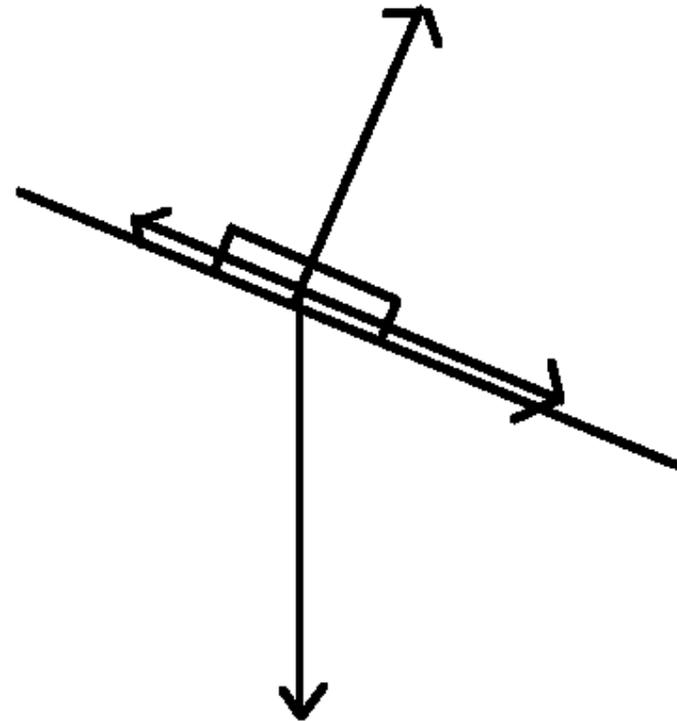


Forze su diverse direzioni

Si appoggia un libro su un banco e si inclina un po' il banco (evitando di far scivolare il libro). Si chiede di ***riconoscere e rappresentare le forze presenti sul libro ...***

Dal diario del docente:

Circa un terzo della classe disegna il diagramma corretto; ma più di metà della classe disegna una forza di troppo (come nel disegno qui a fianco...). Tuttavia, in diversi esprimono dei dubbi, sono in difficoltà nel riconoscimento della forza verso il basso (parallela al piano): non si sa da chi è esercitata...



Forze su diverse direzioni

Il fatto che tanti studenti, pur mostrandosi dubbiosi, sentano la necessità di rappresentare una forza verso il basso mostra quanto sia facile confondersi e rappresentare “altro”. Dalla discussione collettiva emerge che gli studenti hanno voluto rappresentare “la propensione al moto”, “l’inclinazione”, ...

Si è portato all’attenzione degli studenti il fatto che le forze presenti non sono tutte verticali o tutte orizzontali, come era capitato fino a questo momento

Si discute dell’effetto della forza di gravità: tende a far scendere l’oggetto lungo il piano ma lo spinge anche verso il piano

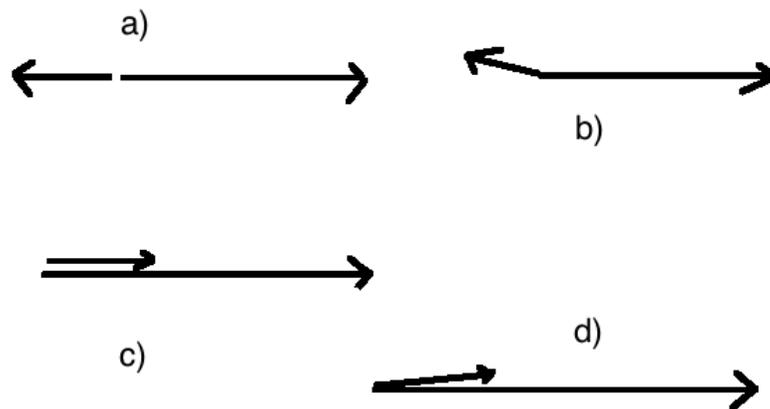
La questione viene per il momento accantonata, per riprenderla dopo aver introdotto il concetto di ***forza risultante***

FORZA RISULTANTE

I casi apparentemente banali non lo sono affatto: anche nel caso a), come riportato in letteratura, molti studenti pensano alla forza risultante come alla forza totale che c'è e fanno la somma delle intensità

Ci si sofferma quindi anche su questi casi particolari (due forze dirette lungo la stessa direzione, nello stesso verso e in verso opposto) arrivando alla definizione condivisa

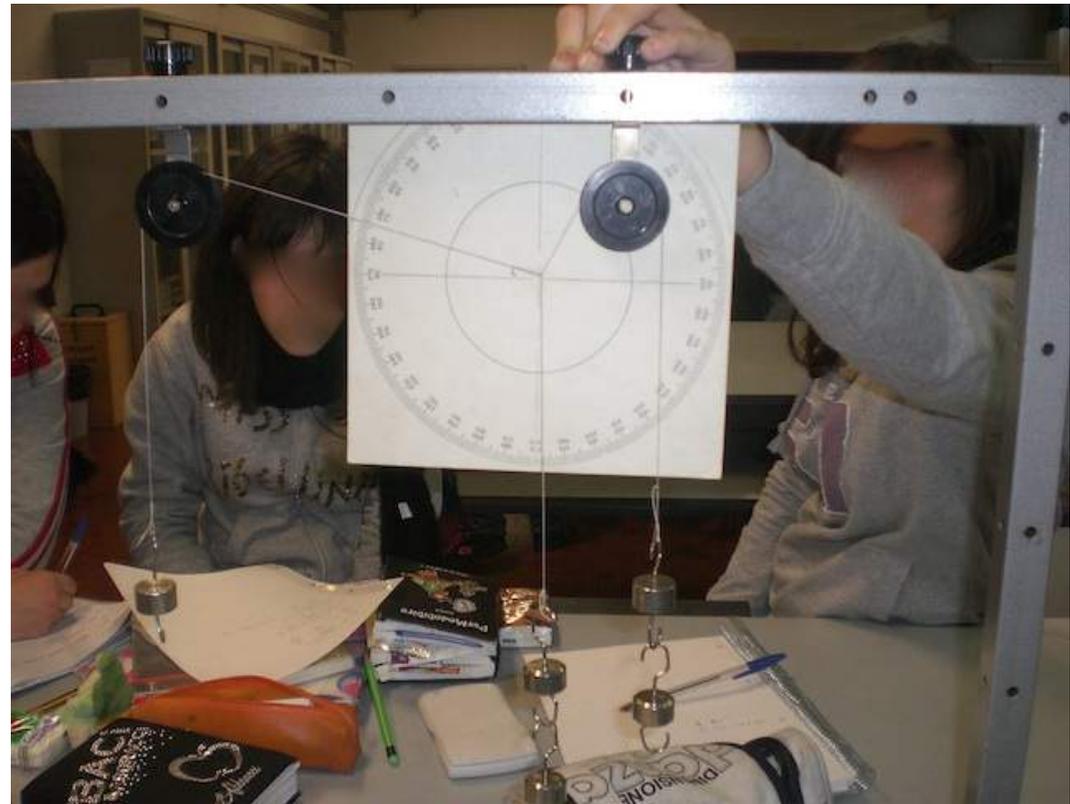
I casi b) e d) ripropongono la questione già introdotta della diversa direzione e il confronto con i casi a) e c) può aiutare a intuire almeno in parte il risultato



Regola del parallelogramma e scomposizione delle forze

Come si vede nell'immagine qui a fianco, l'apparato sperimentale utilizzato per studiare l'effetto di forze su diverse direzioni è molto semplice: tre fili annodati, due carrucole, alcuni pesetti. Si sono realizzate diverse condizioni di equilibrio, variando i pesi attaccati a ciascuno dei tre fili e misurando in ciascun caso gli angoli formati tra i fili.

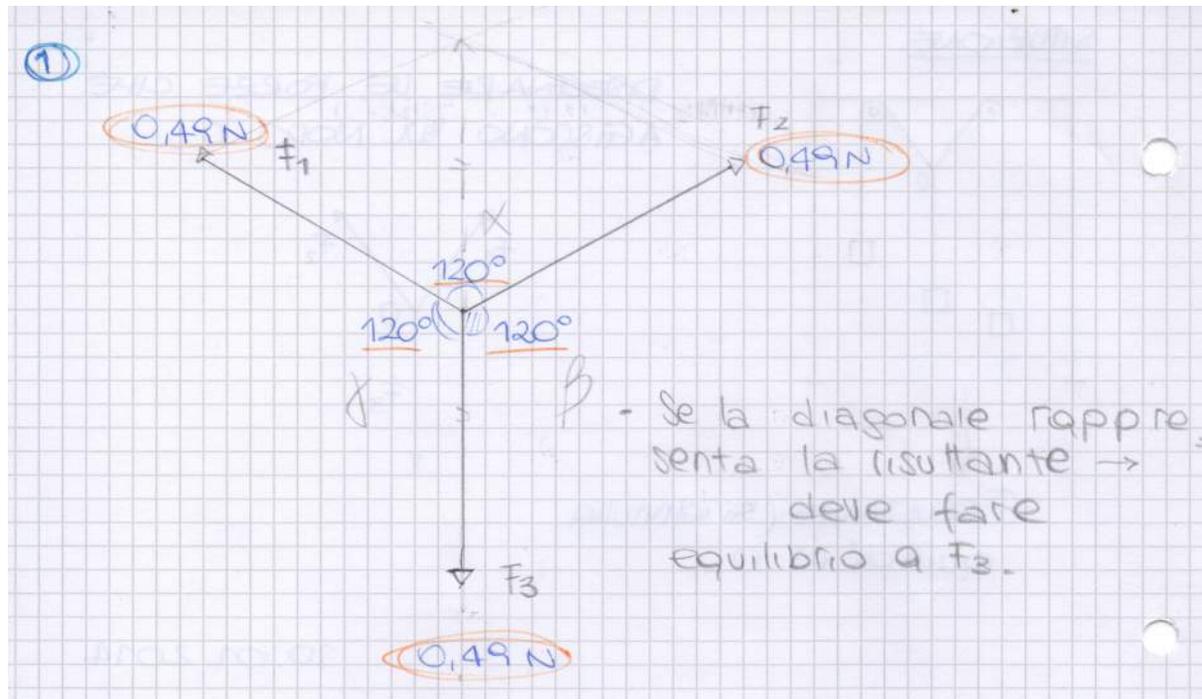
Si è chiesto agli studenti di **disegnare le forze agenti sul nodo tra i fili**



Regola del parallelogramma e scomposizione delle forze

La regola del parallelogramma *non è immediatamente ricavabile, in modo induttivo, dai dati sperimentali*. L'esperienza mostra che è più ragionevole fornire la regola e farla verificare nei casi studiati (assegnato anche come lavoro a casa); lo si fa, comunque, dopo la riflessione e discussione collettiva sui dati raccolti

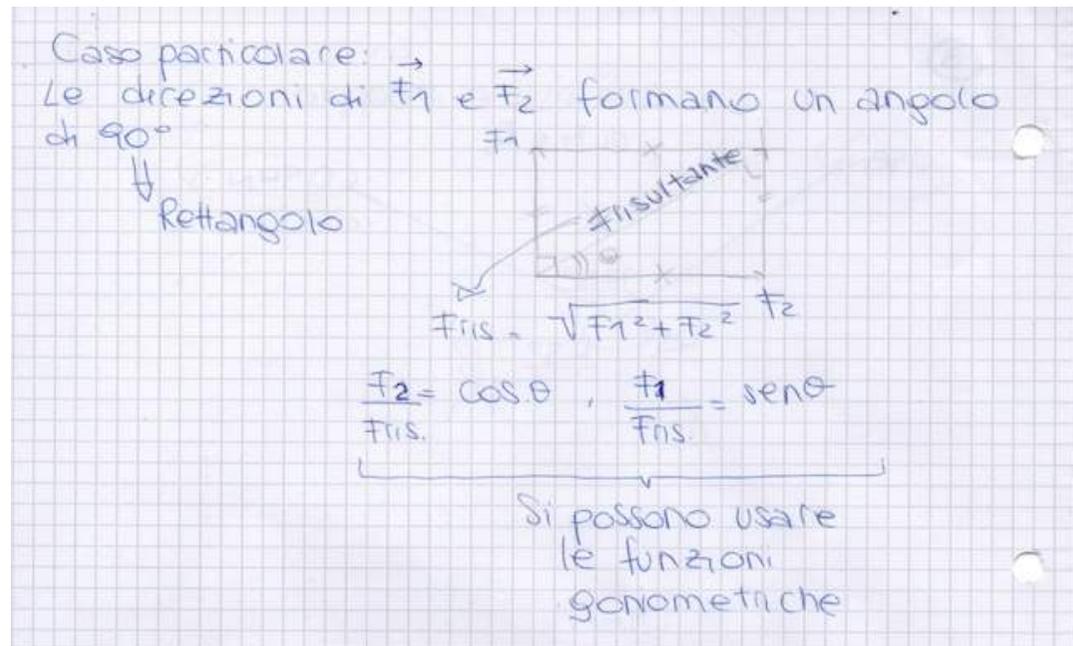
(L'immagine seguente non è riferita alla situazione della foto precedente)



Regola del parallelogramma e scomposizione delle forze

Si è disegnato alla lavagna il caso di due forze agenti su direzioni perpendicolari e si è chiesto di determinare graficamente la risultante. Si sono guidati gli studenti a riconoscere che ogni forza potrebbe essere immaginata come la risultante di due forze su direzioni perpendicolari, di intensità opportuna. Tale idea è stata prima di tutto applicata alle forze oblique nella situazione sperimentale appena studiata. Si sono introdotti i termini, *scomposizione e forze componenti* (non avendo, deliberatamente, svolto una trattazione rigorosa e generale dei vettori, non si è distinto tra vettori componenti e componenti di un vettore)

Richiamando le nozioni elementari di trigonometria che erano state introdotte all'inizio dell'anno scolastico, si sono utilizzate per la determinazione di tali componenti



Piano inclinato

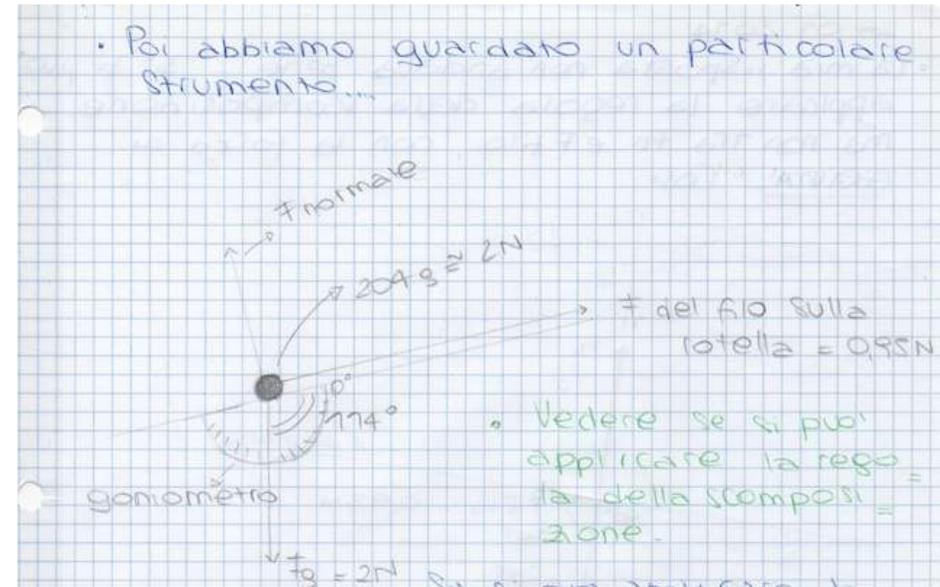
L'idea di scomposizione di una forza è stata applicata alla forza di gravità agente su un oggetto appoggiato su un piano inclinato.

Si sono di nuovo invitati gli studenti a riflettere sull'equilibrio di un oggetto su un banco appena inclinato; e si è aggiunta una nuova situazione: piano inclinato, dotato di goniometro, su cui un oggetto è tenuto in equilibrio da un filo tirato da un dinamometro, mantenuto in posizione parallela al piano.

Si può applicare a queste situazioni l'idea di scomposizione di una forza?

Con qualche incertezza e qualche suggerimento da parte del docente, gli studenti arrivano alla costruzione corretta; e comprendono che la forza verso il basso, che molti avevano disegnato quando la situazione è stata proposta la prima volta, è ora riconoscibile come la componente della forza di gravità parallela al piano.

Su questa parte sono stati svolti numerosi esercizi di consolidamento



Distinzione massa - peso

A questo punto del percorso si è ritenuto opportuno fare, per quanto possibile, un po' di chiarezza sui termini massa e peso. Infatti gli studenti conoscono il termine *massa*, ne hanno sentito parlare in molte occasioni; per quanto la questione sia molto complessa e necessiti, per una trattazione soddisfacente, dello studio della relazione tra forza e movimento, si è ritenuto comunque opportuna tale chiarificazione.

L'unico percorso praticabile è quello che utilizza la storia di questi concetti; **non è infatti possibile ricorrere a fatti direttamente osservabili**, ma solo **raccontare** la scoperta che, secondo gli storici della Scienza, condusse alla distinzione in questione.

In *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Bollati Boringhieri, 1977, E. Mach afferma che: “Al concetto di massa si giunse quando si osservò che la gravitazione imprime allo stesso corpo accelerazioni diverse”; si riferisce alle misure svolte dall'astronomo francese Jean Richer, effettuate tra il 1671 e il 1673. Egli era stato incaricato dall'Académie Royale des Sciences di recarsi nella Guyana Francese, stato a nord-est del Brasile, allo scopo di eseguire alcune osservazioni astronomiche; in questa occasione ebbe modo di constatare che il suo orologio a pendolo ritardava di 2 minuti e mezzo al giorno rispetto all'ora solare media.

Distinzione massa - peso

Facendo riflettere gli studenti sul fatto che l'oscillazione di un pendolo è dovuta alla gravità, si sono portati alla conclusione che ***il peso di un corpo varia con il luogo***. Diversi sanno già qualcosa, pensano alla Luna, allo spazio; ma hanno idee confuse. Si sottolinea come non sia per noi possibile fare questa verifica, poiché ci troviamo sempre nello stesso luogo della Terra (e anche se qualcuno di noi si spostasse in un luogo diverso, cosa sempre più comune per la facilità con cui si viaggia, avrebbe bisogno di strumenti di notevole precisione).

Possiamo dunque considerare il peso come il prodotto di due fattori: uno che dipende dall'oggetto, che chiamiamo ***massa*** (a rigore si tratta della massa gravitazionale, ma è una precisazione priva di significato per gli studenti e non è stata introdotta), e uno che dipende dal luogo (lo abbiamo chiamato ***fattore luogo***; si tratta evidentemente del campo gravitazionale, ma neppure questa espressione è stata introdotta).

Si è svolta poi una discussione sul ruolo dei diversi tipi di bilancia, su come sono tarate e sul loro corretto utilizzo.

Infine, si è data un'interpretazione più corretta del fattore $9,8 \text{ N/kg}$ (che era stato introdotto con l'uso dei dinamometri).

Dallo studio dell'elettrostatica un'occasione di consolidamento sul concetto di interazione

Al termine del percorso sulle forze si è proposto lo studio dei fenomeni elettrici elementari. In questa descrizione del percorso si presentano solo le questioni che hanno a che fare con il concetto di forza.

Si sono assegnati agli studenti alcuni esperimenti da svolgere a casa (sono allegate le schede guida) e si sono poi ripetuti in laboratorio.

Tra i diversi fenomeni osservati, ci pare qui significativo riportare la riflessione svolta su uno in particolare.

Il primo esperimento (strofinare vari oggetti e verificare se attirano a sé oggetti leggeri) fornisce una prima definizione di elettrizzazione: *se l'oggetto strofinato attira a sé oggetti leggeri diremo che è elettrizzato*. In verità, alcuni studenti hanno, giustamente, criticato questa definizione: l'oggetto elettrizzato attrae anche gli oggetti più pesanti, solo che non riesce a spostarli e dunque l'attrazione non si manifesta.

Elettrostatica e concetto di interazione

Successivamente si staccano delle strisce di nastro adesivo da un tavolo e si verifica che sono elettrizzate, cioè che attraggono a sé oggetti leggeri Ma si osserva anche che *il nastro tende ad avvicinarsi alla mano che lo regge!*

La discussione collettiva ci ha portato ad applicare l'idea della **reciprocità delle forze**: il nastro attrae la mano, oggetto che “non si può muovere”, e la mano attira il nastro, che infatti tende ad appiccicarsi alla mano (e a tutto ciò che si trovi abbastanza vicino, come abbiamo verificato)

Interessante commentare ciò che ha scritto Gabriele: “*la forza della mano è più grande della forza del nastro*”. Interpellato dal docente, precisa che voleva dire che “*il nastro è leggero e la mano è pesante e per questo vediamo il nastro andare verso la mano*”

Il termine forza è stato utilizzato con un significato non specifico, confondendo la forza con l'effetto; ciò ci ricorda quanto **la costruzione di un concetto sia un processo lento, che niente ha a che vedere con la memorizzazione di formule verbali**

VERIFICHE DEGLI APPRENDIMENTI

Tipologie impiegate:

Quesiti scritti a risposta aperta

Risoluzione di quesiti con diagrammi e calcoli

Brevi domande orali

L'innovazione metodologica deve necessariamente investire anche l'ambito della verifica e della valutazione; si è dato ampio spazio a quesiti che richiedessero un'analisi *qualitativa* (come raccomanda Arons).

Si è cercato, inoltre, di verificare la capacità di *distinguere tra fatti sperimentali e interpretazioni*

Gli studenti sono addestrati dalla scuola a produrre *la risposta corretta*, a indovinare cosa vuole sentirsi dire il docente ("*questo ce lo metterò nel compito?*"), piuttosto che a esporre argomentazioni a favore o contro una data affermazione

Sono atteggiamenti difficili da modificare, soprattutto se è solo un docente in un consiglio di classe a perseguire questo cambiamento

Per quanto la docente non abbia ancora predisposto strumenti specifici, in qualche misura ha cercato di tenere conto anche della partecipazione, dell'interesse, della capacità di porre quesiti significativi.

Esempi di quesiti inseriti nelle prove di verifica

- Immagina la seguente situazione: hai agganciato un estensore a un gancio dell'attaccapanni qui nell'aula, sei in piedi e lo stai tirando. Disegna, in due diagrammi separati, tutte le forze che agiscono sull'estensore e quelle che agiscono su di te.
- Illustra come era fatto e a cosa serviva l'apparato di laboratorio in cui si faceva uso del fascio laser (*leva ottica*).
- Un libro è in equilibrio su un banco leggermente inclinato. Disegna le forze che agiscono sul libro e elenca le corrispondenti forze esercitate dal libro su altri oggetti
- Dopo aver illustrato il concetto di *forza risultante*, considera la seguente situazione: sono date due forze, F_1 di intensità 40 N e F_2 di intensità 65 N.
 - a. Come devono essere applicate ad un oggetto perché la forza risultante abbia intensità 105 N? Rappresenta con un disegno, sia le singole forze che la risultante
 - b. In quale situazione si ottiene la minima intensità per la forza risultante? E quanto vale tale intensità? Rappresenta con un disegno, sia le singole forze che la risultante
 - c. In quale situazione la forza risultante è circa 10N? Rappresenta con un disegno
 - d. Considera ora che le due forze siano applicate in modo che tra le loro direzioni si formi un angolo di 36° ; fai un disegno accurato e determina in modo completo la forza risultante

Esempi di quesiti inseriti nelle prove di verifica

- Una molla ha costante elastica $6,2 \text{ N/cm}$; che cosa significa in pratica? E' più dura o più morbida di una molla con costante elastica 36 kg/m ? Che peso bisogna appendere alla prima molla per allungarla di $1,6 \text{ cm}$? Esprimi il risultato anche in grammi. Se si tira la molla con una forza di $18,6 \text{ N}$ di quanto si allunga?
- Un grosso scatolone pieno di libri "pesa" 18 kg
 - a. Esprimi il peso in N.
 - b. Se il coefficiente d'attrito con il pavimento è $0,2$ qual è la minima forza orizzontale che si deve esercitare per muovere lo scatolone?
 - c. Se si applica una forza di 22 N per cercare di muoverlo, cosa accade? e quanto vale in questa situazione la forza d'attrito? Disegna tutte le forze che agiscono sullo scatolone
 - d. E se si applica una forza di 40 N cosa accade? Quanto vale la forza d'attrito?
- Cosa osservi quando strappi due nastri adesivi l'uno dall'altro e li avvicini tra loro? Cosa osservi quando strappi due nastri adesivi dalla stessa superficie e li avvicini tra loro? Disegna le due situazioni e, in ciascun disegno, le forze agenti
- In relazione al quesito precedente, come si interpreta ciò che si osserva? In entrambe le situazioni i nastri tendevano ad avvicinarsi alle mani di chi li sorreggeva. Come abbiamo interpretato questo fatto? Disegna le forze che agiscono sui due oggetti coinvolti.
- Una bacchetta di vetro viene strofinata con un panno di lana e poi appoggiata su un supporto in modo da ruotare liberamente (come in laboratorio); un coltello di metallo viene strofinato con un panno di lana e poi avvicinato alla bacchetta di vetro. Cosa si osserva? E come s'interpreta ciò che si osserva?

Risultati ottenuti

Un'analisi critica dei risultati, in relazione agli apprendimenti degli alunni, è in parte già presente nella descrizione del percorso

Aggiungiamo considerazioni relative alla classe cui si è fatto più ampio riferimento nella descrizione.

Essa era composta da 25 studenti; alla fine del primo quadrimestre solo due presentavano un'insufficienza (non grave) in fisica, recuperata nel corso del secondo quadrimestre. Per nessuno studente si è determinata la sospensione del giudizio a fine anno scolastico. Questi risultati positivi sono anche dovuti a una continua sollecitazione del docente al lavoro individuale, a casa, di consolidamento di quanto appreso nell'attività comune; è un aspetto importante, trattandosi di studenti ancora non autonomi nello studio personale e considerando che il libro di testo può essere utilizzato in misura molto limitata. Infine, si sottolinea come il percorso scelto abbia dato l'occasione di contribuire in modo significativo anche a quegli studenti che nel lavoro tradizionale (imparare, ripetere, riprodurre) ottengono di solito risultati più scadenti (e viceversa abbia messo un po' in difficoltà chi ha sempre confidato in questo schema "tradizionale").

Valutazione dell'efficacia del percorso didattico sperimentato in ordine alle aspettative e alle motivazioni del Gruppo di ricerca LSS

L'assenza di studenti con sospensione del giudizio è davvero un risultato notevole che evidenzia, al di là dell'apprendimento specifico relativo al concetto di forza, quanto sia positivo l'approccio metodologico che è stato adottato dall'insegnante anche per altri temi trattati nel corso dell'anno scolastico.

Ci pare che in esso si siano concretizzati: l'approccio fenomenologico-induttivo, la scelta di un contenuto epistemologicamente fondante quale è il concetto di forza in Fisica, l'introduzione di elementi concettuali come risultato di un processo didattico complesso e non come verità precostituite.

Lo stesso approccio è stato sperimentato da altri docenti del gruppo in percorsi disciplinari di ambiti scientifici molto diversi.

Tale approccio ha creato motivazione negli studenti, ha dato un senso al *fare fisica*, ha abituato all'osservazione dei fenomeni, a giocare con le idee, al confronto con le idee degli altri, alla ricerca di una interpretazione condivisa e rigorosa.