

REGIONE
TOSCANA



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

Laboratori del Sapere Scientifico

EUREKA – la spinta di Archimede

classe 2°D scuola secondaria di 1° grado A. Frank Pistoia
anno scolastico 2018/2019

Ierone tiranno di Siracusa, (secondo la leggenda) ad Archimede (230a.c. circa): **“Hai tre giorni di tempo per portarmi la soluzione: la mia corona d’oro è fatta di oro puro oppure no? Se non ci riuscirai ti taglierò la testa”**

L'idea è nata **durante l'attività di formazione** LSS svolta in questo anno scolastico con il supporto del formatore esterno.

Il gruppo di ricerca delle medie del nostro Istituto è diventato più numeroso negli anni di militanza in LSS, di pari passo all'ampliamento della scuola **ed è attualmente composto da tutti gli insegnanti di matematica e scienze** della scuola secondaria; questo offre la possibilità concreta di ripensare seriamente il curriculum a cui stiamo attivamente lavorando sia per quanto riguarda la matematica sia per le scienze. A maggior ragione ci lavoreremo nell'anno a venire, visto anche gli ampi riconoscimenti ricevuti a livello istituzionale (visita dei NEV) che raccomandano in modo esplicito l'ampliamento del "metodo LSS" a tutte le discipline. L'attuale percorso EUREKA è stato effettuato in parallelo da 4 insegnanti di **classi seconde** della secondaria di I grado **dell'Istituto**

La classe **2° D** è composta da bambini curiosi e diligenti nelle attività laboratoriali, nel complesso piuttosto capaci nelle abilità di base. Si sono impegnati in maniera attiva e proficua.

Nel **vecchio curriculum** la spinta di Archimede era proposta nella classe terza in quanto comprensiva di concetti complessi come **forza – pressione – densità**.

Nell'attuale percorso il fenomeno è guardato da un altro punto di vista e cioè quello dove gli studenti osservano l'**azione dell'acqua sul moto degli oggetti**. Abbiamo ritenuto quindi di poterlo proporre nella **classe seconda**, come possibile prosieguo di concetti affrontati nella classe prima come peso, volume e caratteristiche degli stati della materia

Su suggerimento del formatore **il concetto di spinta di Archimede** è stato concettualizzato solamente alla fine del percorso, che, in pieno spirito LSS si è svolto in maniera induttiva e laboratoriale: i ragazzi si sono resi conto da soli ed in base ai risultati sperimentali che c'è una spinta verticale dal basso verso l'alto che contrasta la forza di gravità, quella che, invece, fa cadere gli oggetti verso il basso.

Oggetto e modalità del percorso in sintesi

Argomento storico carico di enfasi e di leggende attorno al personaggio di Archimede. Archimede è protagonista di una scoperta che sarà fondamentale per la fisica, immediatamente per il suo tempo (220a.c. circa) e fino ai giorni d'oggi, dove il suo principio è ancora valido ed utilizzato dagli ingegneri di tutto il mondo, e conserva il suo nome.

Si rende necessaria la scoperta del principio da parte degli alunni che sperimentano liberamente, gestendo grandezze fisiche misurabili di vari oggetti: forza peso in aria, forza peso in acqua, volume, volume di acqua spostato dall'oggetto in immersione. L'insegnante eviterà ogni concettualizzazione, lasciando che gli alunni facciano liberamente i loro ragionamenti, giusti o sbagliati che siano, casomai intervenendo in fase di discussione collettiva e successivo aggiustamento.

Fasi del percorso

- 1) Stimolare la curiosità degli alunni utilizzando la narrazione in un contesto leggendario: visione di un filmato che mostri la leggenda della corona di Ierone, tiranno di Siracusa. Ad Archimede viene affidato il compito di dimostrare se è di oro puro oppure no. Egli scopre un modo originale di misurare il volume della corona: immergendola in acqua. Confrontando il volume della corona con quello di un lingotto dello stesso peso vede che sono differenti. Da subito, anche grazie al suddetto filmato si fa capire agli alunni l'importanza di misurare. Lo studio di un fenomeno scientifico passa, 90% delle volte, dai numeri e questi sono rappresentati dalle misure. Per prendere le misure ci vogliono gli strumenti giusti, e bisogna saperli usare.
- 2) Conoscenza ed uso degli strumenti, quanto vale ogni singola tacca sulla scala graduata del dinamometro? E sul cilindro graduato? Concetto di portata e di sensibilità. Bisogna far capire da subito agli alunni l'importanza del prendere le misure, e di farlo in modo corretto.
- 3) Misura della trazione nell'aria con il dinamometro di vari oggetti, calcolo della media delle varie misure. Inserire i dati in tabella. I discenti devono rendersi conto che annotare i dati nel modo giusto è importante.
- 4) Misurazione della trazione in acqua degli stessi oggetti con il dinamometro, calcolo della media delle varie misure. Aggiornamento tabella dati.

Fasi del percorso

5) Calcolo della differenza di trazione (in aria – in acqua). Aggiornamento tabella dati. Questa fase è importante perché si rendono subito conto che c'è una differenza. Ciò è il punto di partenza, poiché anche se ancora non lo sanno, questa differenza equivale alla spinta di Archimede.

6) Misurazione del volume dell'oggetto per immersione (come la corona di Ierone, vista nel filmato), osservazione del volume nel cilindro. Aggiornamento tabella dati.

7) Prima prova - di gruppo. Occasione per poter giocare in squadra con uno scopo comune: rispondere bene a più quesiti possibili.

8) Una cosa la si capisce meglio se la si vede. Ripetizione dell'intera procedura con in più la visualizzazione del volume di acqua spostata in un cilindro da 100 ml, nel quale abbiamo messo il volume in acqua corrispondente al volume dell'oggetto. Cosa possiamo misurare di questo volume di acqua? Una volta messo in una bustina sigillata: la sua trazione nell'aria (sempre con il dinamometro). Ciò servirà a mettere questo in relazione con la differenza di trazione in acqua/in aria (che in pratica è la spinta di Archimede, anche se neanche in questa fase viene nominata)

9) Tabellazione di tutti i dati e scoperta delle corrispondenze tra grandezze, previa conversione da Newton a grammi-peso. I ragazzi si trovano di fronte a delle corrispondenze tra le forze. Qui comincia la concettualizzazione.

Fasi del percorso

- 10) Si iniziano a tirare fuori i concetti: in questa fase terminale del percorso i ragazzi da soli o discutendo tra loro devono trarre dei principi dalle esperienze fatte
- 11) Seconda prova – individuale, basata sulla prima prova – di gruppo con in più alcune risposte aperte per vedere se la concettualizzazione ha dato buoni frutti.
- 12) Concetto dell'acqua che 'sostiene'. Video sul principio di Archimede applicato, in cui si spiega il principio e la sua formula. È necessario che per i ragazzi sia chiaro che l'acqua è 'accogliente' e si sposta via via che un oggetto entra in acqua, ma che poi spinge, per cercare di riprendersi quello spazio

In questa sede è trattato il percorso svolto nella classe 2°D da metà aprile fino a tutto il mese di maggio 2019 (circa 5 settimane, considerando le vacanze di Pasqua).

La finalità è quella di arricchire il curriculum di scienze con un percorso che introduca gli studenti ad un interessantissimo capitolo della fisica, la spinta di Archimede, con un “approccio fenomenologico – induttivo”, partendo dall’osservazione della realtà, problematizzando la realtà stessa e passando poi alla matematizzazione, quindi alla misura di grandezze, il che costituisce il link naturale tra lo studio delle Scienze e la Matematica applicata alla soluzione di problemi.

Il percorso è stato concordemente suddiviso in più fasi logicamente connesse, internamente e fra loro.

Obiettivi di apprendimento

- Saper leggere gli strumenti di misura (cilindro graduato, dinamometro)
- Saper misurare i volumi degli oggetti con il cilindro graduato
- Saper misurare la forza peso in Newton con il dinamometro
- Far prendere coscienza della forza di attrazione gravitazionale
- Scoprire l'effetto dell'acqua, che contrasta la suddetta attrazione
- Utilizzare il calcolo percentuale per descrivere quanto è meno intensa la forza peso in acqua rispetto al peso in aria
- Prendere coscienza di ciò che aveva capito Archimede gridando "EUREKA EUREKA" uscendo dalla vasca da bagno (dal filmato: "Archimede's bath")
- Arrivare da soli a capire che la spinta di Archimede equivale esattamente al peso del volume di acqua spostata, pesando i sacchettiini con dentro un volume d'acqua corrispondente al volume degli oggetti immersi (e quindi al volume di acqua spostata dagli stessi)

Tempi

10 ore per la messa a punto e periodica discussione sugli stati di avanzamento dell'attività nel gruppo LSS.

7 ore per la messa a punto individuale prima di ogni stato di avanzamento e altre 5 per compilare il diario docente.

26 ore per la documentazione.

Nella classe: 13 ore, circa 5 settimane

Spazi - Materiali e mezzi

La classe e le aule speciali (laboratorio scientifico)

Cilindri graduati, dinamometri, oggetti vari da ferramenta (viti, bulloni) sfera di polistirolo, sfera di plastilina, bustine di plastica sigillate, becker.

Cominciamo..

Su suggerimento del formatore è stato proposto ai ragazzi un filmato, di circa 10 minuti che narra la leggenda di **Archimede a Siracusa, alle prese con Ierone, il Tiranno dell'epoca (230a.c.)**, allo scopo di stimolare la curiosità dei ragazzi ed il loro pensiero critico nei confronti di grandezze quali il peso ed il volume, ed a considerare le caratteristiche dell'acqua.



Il filmato descrive il dubbio di Ierone sulla sua corona d'oro, ovvero se essa sia fatta interamente di oro puro oppure no

Ad Archimede viene chiesto un modo di stabilire ciò, senza fondere o disassemblare la corona, insomma mantenendo la sua integrità (oggi si direbbe: metodo non distruttivo)

EUREKA!

Archimede prova prima a misurare la corona con un regolo... ma come fare a calcolare il volume di un oggetto così complesso? Ciò risulta praticamente impossibile!

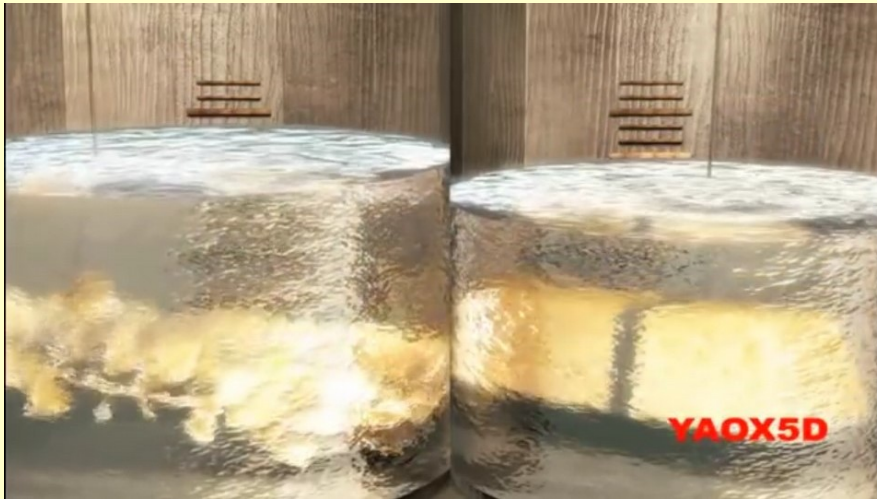
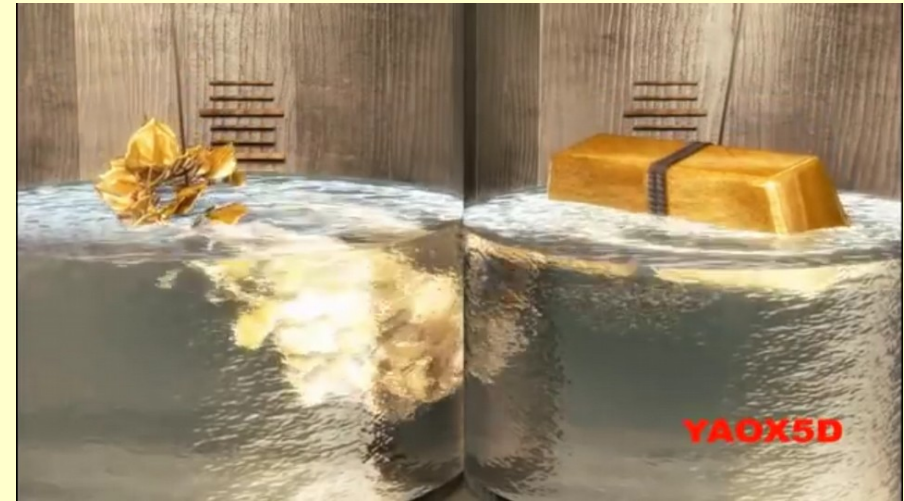


L'idea gli viene facendo un bagno... quello che si concede per fare una pausa e che potrebbe essere l'ultimo della sua vita: se non risolverà l'enigma Ierone gli farà tagliare la testa...



Osserva l'acqua che esce dalla tinozza quando lui entra, ed alla fine salta fuori dalla vasca urlando **"EUREKA!"** (Ho capito!). La leggenda vuole che corse nudo fino alla reggia, ansioso di dimostrare subito il suo principio

EUREKA!

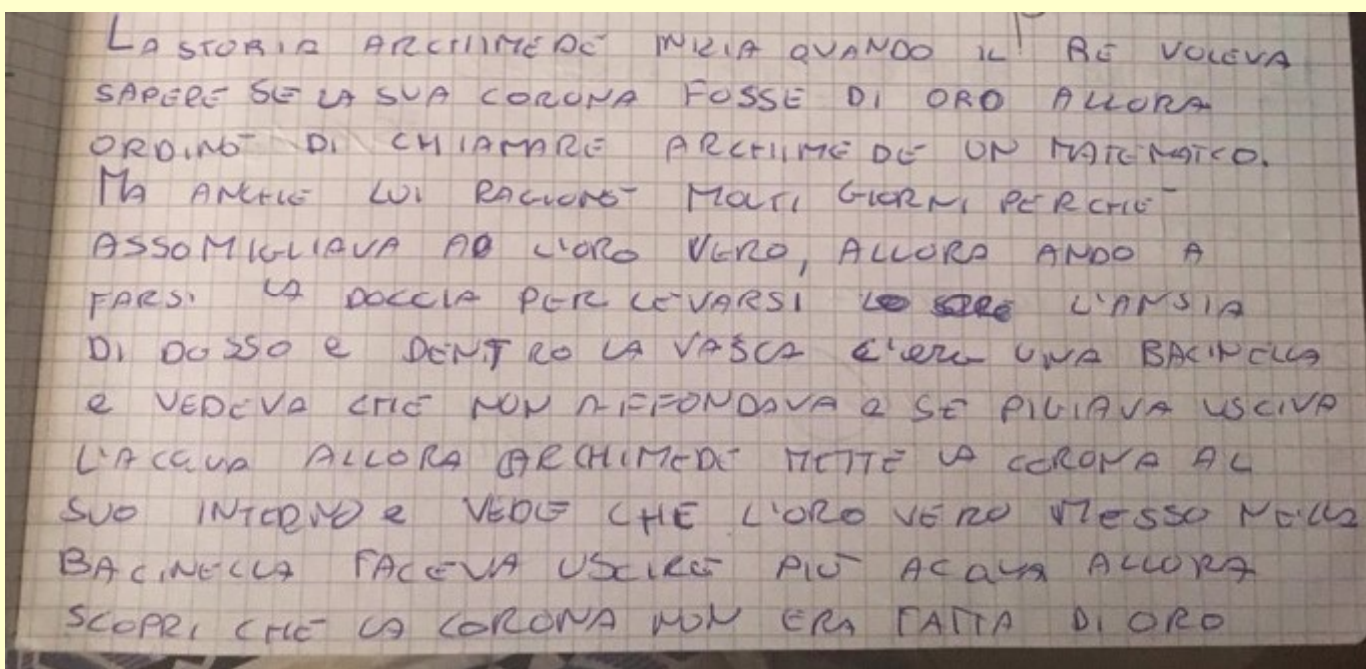


Alla reggia immerge la corona e il lingotto, per vedere che contengano la stessa quantità di oro. Il peso è lo stesso, ma lui adesso vuole vedere se il volume è diverso. L'orefice ha assicurato al tiranno Ierone di avere usato tutto il lingotto d'oro. Come si vede dopo l'immersione, hanno un **volume diverso infatti il livello dell'acqua non è lo stesso!** Quindi la corona non è fatta di oro puro, e l'orefice mente.

Il video serve anche a far notare che **c'è sempre la necessità di misurare i**, per capire veramente e **per prendere le misure ci vogliono gli strumenti** (giusti). La **graduatura** che Archimede ha fatto nei due secchi è fondamentale e l'ho fatta notare ai ragazzi

I commenti sul video

Siamo ancora lontani dal concetto della 'spinta' di Archimede, che col filmato è stata anticipato solo in parte: qui il concetto chiave è il **fluido spostato dall'oggetto**. Vediamo cosa hanno scritto gli alunni...



LA STORIA ARCHIMEDE INIZIA QUANDO IL RE VOLEVA SAPERE SE LA SUA CORONA FOSSE DI ORO ALLORA ORDINO DI CHIAMARE ARCHIMEDE UN MATEMATICO. MA ANCHE LUI RAGIONO MOLTI GIORNI PERCHÉ ASSOMIGLIAVA AD L'ORO VERO, ALLORA ANDO A FARSI LA DOCCIA PER LEVARSI ~~LO~~ L'ANSIA DI DOSSO E DENTRO LA VASCA C'ERA UNA BACINETTA E VEDOVA CHE NON RIFONDAVA E SE PUGIAVA USCIVA L'ACQUA ALLORA ARCHIMEDE METTE LA CORONA AL SUO INTERNO E VEDOV CHE L'ORO VERO MESSO NELLA BACINETTA FACEVA USCIRE PIU' ACQUA ALLORA SCOPRI CHE LA CORONA NON ERA FATTA DI ORO

Non solo la procedura è sbagliata (sembra che faccia la prova della corona e del lingotto nella sua vasca da bagno) ma anche il risultato nelle mani di Archimede (è il contrario: è la corona contraffatta a fare alzare di più il livello dell'acqua)

il giorno, lo si sapeva in casa, per cui oggi per
Clone ha fatto Archimede a sapere che la corona di Gerone
non era tutta d'oro? Archimede ha preso 1 lingotto d'oro, e
la corona d'oro, li ha messi su una bilancia e ha visto che
pesavano tutti e due lo stesso peso, poi dopo ha preso due
voci due ha messo una specie di sigello, la messa la
corona ed il lingotto nei rispettivi secchi, e ha visto che nel
secchio dove ha messo la corona, il livello dell'acqua si è
alzo di più che in quello del lingotto, quindi Archimede
ha detto che la corona non è d'oro perché se no il
lo spazio che l'acqua avrebbe preso, sarebbe stato uguale
tutti e due i secchi.

Corretto e preciso, soprattutto nella prima parte: si ricordava che all'inizio del video corona e lingotto vennero messe sulla bilancia, ed il loro peso risultò uguale. Da ciò scaturì la necessità di verificarne allora... il volume per poterli mettere a confronto. Il modo in cui Archimede determina il volume di questi oggetti, suggerirà il modus operandi agli alunni più tardi, quando verranno posti di fronte al problema di misurare i volumi di vari oggetti in laboratorio.

Galleggia o non galleggia?

Un altro filmato di 3,5 minuti ambientato in tempi decisamente più moderni, fa vedere come lattine di bibite, tutte rigorosamente **dello stesso volume**, talvolta galleggiano, e talvolta vanno a fondo



Ci si chiede perché, visto che hanno lo stesso contenuto in ml, che però... evidentemente in alcuni casi è più pesante



Pare questa l'unica spiegazione possibile, il conduttore afferma che dipende dalla quantità di zucchero che contengono. In effetti le lattine che galleggiano sono quelle a basso contenuto calorico o con zero calorie.

Elementi di organizzazione metodologica

I ragazzi sono stati divisi **a gruppi di 3**, adeguatamente bilanciati tra intraprendenti e timidi, eccellenti e fragili. La composizione dei gruppi non è mai stata cambiata, la classe è molto coesa e si era in passato dimostrata tale in diverse occasioni e con gruppi assortiti nei più diversi modi. Da subito, **si è creata un'intesa**, sicuramente molto positiva dal punto di vista del cooperative learning.

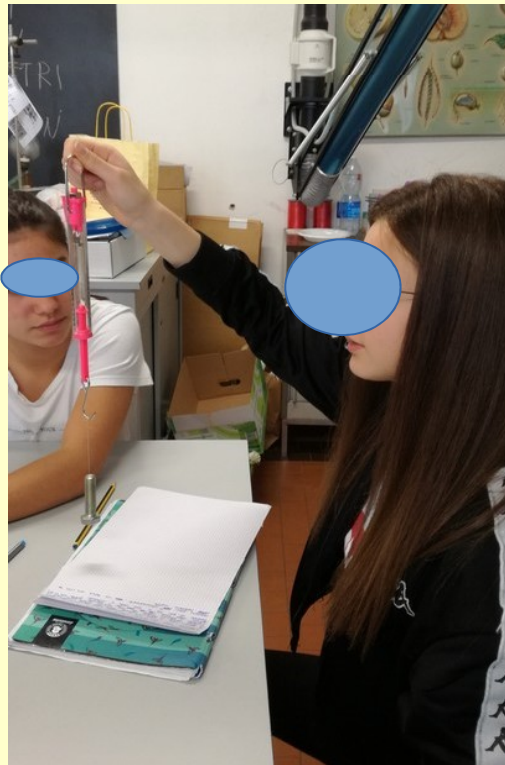
Ai gruppi sono state somministrate prove scritte **su un unico test per gruppo**, in modo da costringerli a lavorare insieme. Questo ha costituito quindi il principale mezzo di preparazione alle verifiche, con tutti gli esercizi e i problemi affrontati. Ad una settimana di distanza dal test di gruppo sono state somministrate le prove individuali, sulla falsariga di quelle di gruppo, ovvero con quesiti differenti ma della stessa tipologia, per verificare l'acquisizione dei concetti da parte dei singoli alunni, ed il raggiungimento dell'indipendenza di ognuno.

Come **prima fase sperimentale** hanno dovuto prendere dei cilindri graduati, e stabilire il **valore di una singola tacca**. Hanno poi preso i dinamometri ed hanno dovuto, anche qui, stabilire il valore di ogni singola tacca. In entrambi i casi hanno dunque scoperto la sensibilità dello strumento. Non ho controllato se avessero considerato i valori giusti... volevo che eventualmente si rendessero conto personalmente di eventuali errori di misura e delle conseguenze quando non fossero tornate le misure con quelle dei compagni. Saper usare gli strumenti di misura correttamente è fondamentale per ogni attività sperimentale, e su questo, su suggerimento del nostro formatore, è stato speso molto tempo.



Cominciamo a misurare ..

Da ora in poi gli alunni hanno lavorato a **gruppi di 3**. È stato a loro chiesto di misurare la forza di attrazione terrestre su un peso per gruppo, usando il dinamometro. Il peso è stato attaccato al dinamometro con un filo di nylon. Non è stato usato il termine massa, che come sappiamo ha un altro significato in fisica. In seguito è stato anche usato il concetto di '**forza peso**', ma per ora si è parlato di **attrazione gravitazionale** (che si manifesta come trazione della molla del dinamometro)



Come oggetti sono stati usati **piccoli pezzi da ferramenta**, prevalentemente dadi e bulloni di sufficiente peso da spostare significativamente l'indicatore sul dinamometro, al contempo non troppo grandi ed ingombranti da poter entrare nei cilindri graduati (vedi seguito)



Si misura in maniera indipendente!

Da bravi 'scienziati' gli alunni in gruppi di tre hanno misurato i N della forza peso dell'oggetto di metallo **ciascuno per conto suo**, senza guardare le misure degli altri. C'era un oggetto di metallo per ciascun gruppo, quindi **da ogni gruppo sono venute fuori tre misure indipendenti**, qualche volta identiche, più spesso leggermente diverse. Le misure poi sono state raccolte in un'unica tabella.

OGGETTO	N nell'aria
bullone misura 1	0,73
bullone misura 2	0,72
bullone misura 3	0,74

L.V.N.	N IN ARIA
<u>LORE 1</u>	0,80 N
<u>VANE 2</u>	0,78 N
<u>LA VINGHES 3</u>	0,78 N

Parlando di forza di gravità...

Ho mostrato agli alunni come **il nostro pianeta attrae gli altri oggetti verso il basso**, e non in altri modi: la direzione è sempre quella. Ho lasciato cadere **due sfere di circa lo stesso volume e forma, ma di peso diverso**: una di polistirolo, ed una di plastilina, ed il loro peso risulta molto diverso. Entrambe le sfere arrivano più o meno insieme sul tavolo. Il peso dell'oggetto in prima approssimazione non influisce sulla velocità di caduta (anche se per essere in condizioni ideali la caduta dovrebbe avvenire sotto vuoto), ma su questo torneremo l'anno prossimo per un approfondimento.



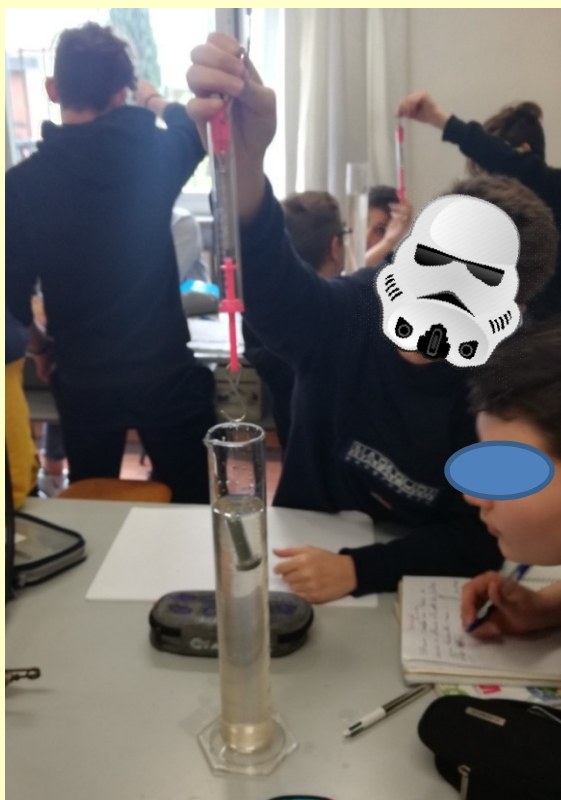
con lo scizzo di gravità il peso non è rilevante, l'esperimento era di utilizzare una pallina di pongo e uno di polistirolo e abbiamo notato che cadono nello stesso momento perché il peso è irrilevante.

GABISSO

PONGO
POLISTIROLO

Stesso metodo di misurazione... ma in immersione!

Gli alunni, senza avere la minima anticipazione su quello che poteva essere il risultato, **hanno misurato la forza di attrazione del pianeta sugli oggetti**, anche dopo averli immersi nell'acqua. Anche adesso, ognuno in maniera indipendente dagli altri. I risultati dunque, sia nell'aria che nell'acqua sono stati messi in tabella.



OGGETTO	N nell' aria	N nell' acqua
bullone misura 1	0,73	0,61
bullone misura 2	0,72	0,7
bullone misura 3	0,74	

<u>L.V.N.</u>	N IN ARIA	N IN H ₂ O
<u>LORE 1</u>	0,80 N	0,70 N
<u>VANE 2</u>	0,78 N	0,68 N
<u>LA VINGHESI 3</u>	0,78 N	0,68 N



Bene, abbiamo misurato la forza peso... adesso misuriamo anche il volume



Come si può calcolare il volume prendendo tutte le misure di questi oggetti? Non è certo facile! Sembra di trovarsi di fronte al **problema che si trovò di fronte Archimede nel video**. Misurare il volume di un oggetto dalla geometria complessa richiede... un altro metodo!

Si sono resi conto **da soli** che c'era una differenza **in difetto**. Allora li ho invitati ad aggiungere una colonna per visualizzare tale differenza

<u>L.V.N.</u>	N IN ARIA	N IN H ₂ O	DIFFERENZA
<u>LORE 1</u>	0,80 N	0,70 N	0,10 N
<u>VANE 2</u>	0,78 N	0,68 N	0,10 N
<u>LA VINGHESI 3</u>	0,78 N	0,68 N	0,10 N

Tra di loro hanno cominciato a ragionare e come spiegazione diversi hanno detto che **l'acqua... diminuirebbe la forza di gravità!** Ho detto loro che la forza di gravità non cambia, e che tutti gli oggetti sul nostro pianeta, immersi o non immersi, ne risentono allo stesso modo. Questa attrazione cambia come intensità, solamente in funzione della massa. Non ho detto altro, tanto meno ho nominato la spinta di Archimede! É ancora presto per le concettualizzazioni.

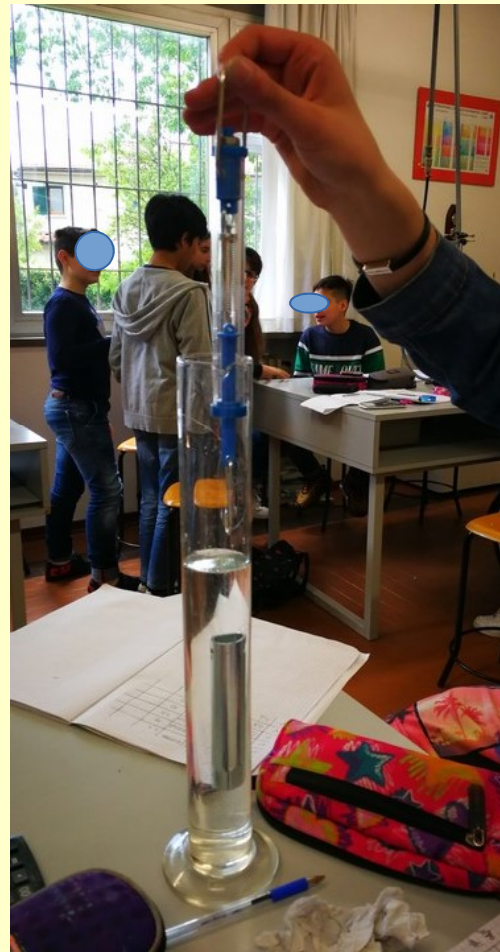
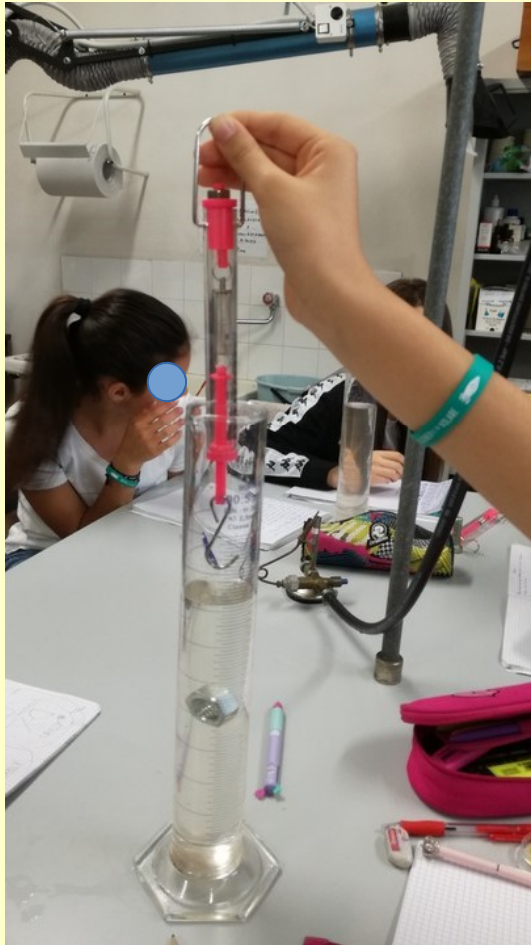
Considerare il volume di liquido spostato come la corona di lerone

A questo punto ho spostato l'attenzione dei ragazzi verso qualcos'altro: ho chiesto loro cosa notavano durante l'inserimento dell'oggetto nel cilindro: nel momento dell'immersione notavano che succedeva qualcosa di particolare all'acqua del cilindro oppure no? Tutti hanno notato **il livello che saliva** nel cilindro ogni volta che l'oggetto dall'esterno entrava nell'acqua.

Ho chiesto se questo cambiamento di volume poteva essere misurato. In pratica ciò non era possibile perché avevo fatto riempire i cilindri da 500ml fino a 500ml, e quelli da 1000ml fino a 1000ml, e sopra al livello massimo non ci sono le tacche. Ho volutamente fatto in modo che si scontrassero con questo problema, che hanno risolto abbastanza in fretta: hanno capito che dovevano svuotare un po' il cilindro per poter sfruttare le tacche della graduatura al momento che il livello dell'acqua si fosse alzato.

Gli alunni hanno fatto tutto da soli: hanno prima svuotato poi riempito lentamente e con cura per raggiungere 400ml nei cilindri da 500ml e 900ml o 950ml nei cilindri da 1000ml. A questo punto erano tutti in grado di misurare i volumi degli stessi oggetti utilizzati nella fase di studio precedente.

Si sono resi conto **da soli** che la procedura giusta per calcolare il volume dell'oggetto era quella di **sottrarre** al valore del volume dell'acqua nel cilindro dopo l'introduzione dell'oggetto, il valore del volume dell'acqua prima. Ho ripetuto alla classe (lo avevano già fatto in prima) che 1ml equivale ad 1cm^3 per loro informazione, anche se qui nel percorso utilizzeremo solo i ml.



L'uso del dinamometro, qui mero gancio per tenere appeso l'oggetto, senza funzione di misurazione, vedremo poi che (nelle verifiche) purtroppo ha generato un po' di confusione...

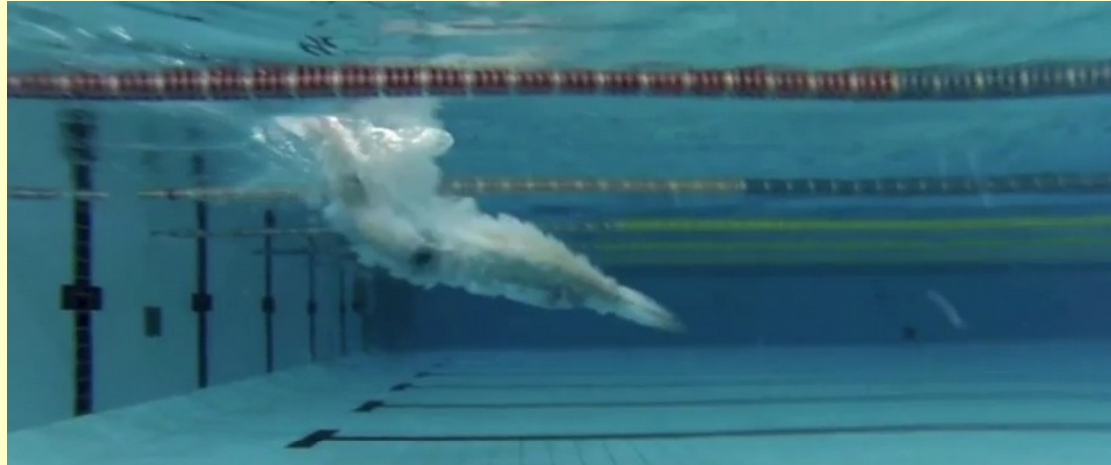
Aggiornamento tabelle

<u>L.V.N.</u>	N IN ARIA	N IN H ₂ O	DIFFERENZA	VOLUME
<u>LORE 1</u>	0,80 N	0,70 N	0,10 N	10 ml
<u>VANE 2</u>	0,78 N	0,68 N	0,10 N	10 ml
<u>LA VINGHESI 3</u>	0,78 N	0,68 N	0,10 N	10 ml

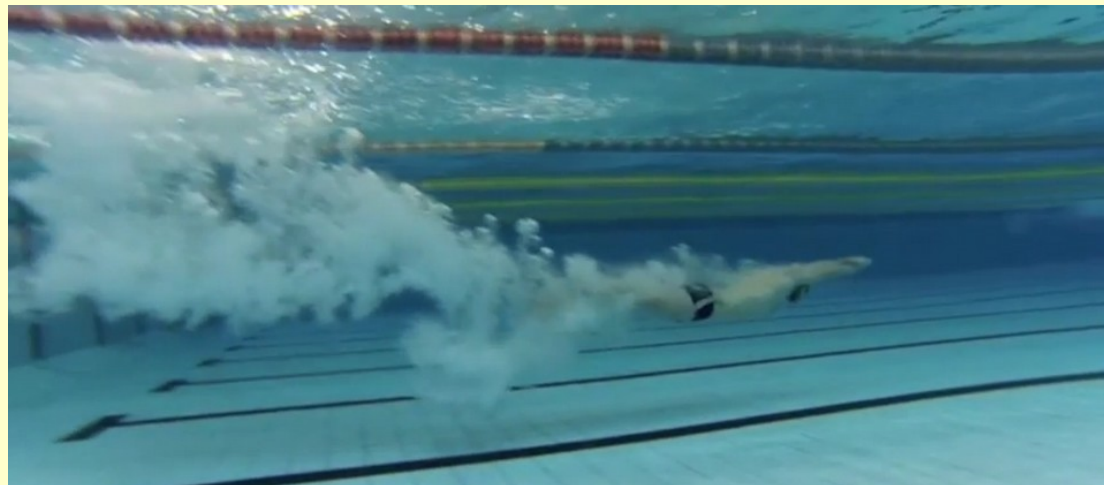
	NEWTON IN ARIA	NEWTON IN ACQUA	DIFFERENZA	VOLUME
10	0,78	0,68	0,10	10
MATTEO	0,77	0,66	0,11	10
GIACOMO	0,78	0,68	0,10	10

Visualizziamo bene il concetto di: 'volume di acqua spostata'

Con un altro video: il nuotatore che si tuffa, e lascia un 'vuoto' dietro di se



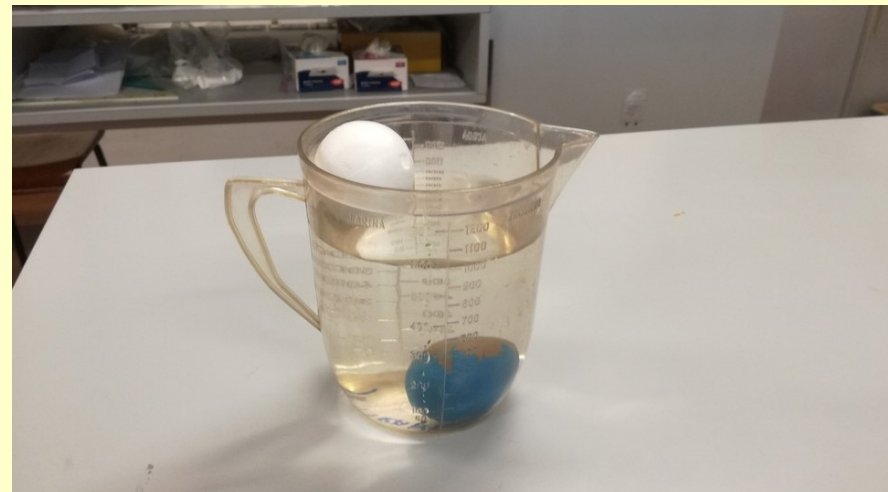
'Vuoto' che subito si richiude poiché l'acqua spinge immediatamente da tutti i lati "per colmare tale vuoto" (questo concetto servirà più avanti per la concettualizzazione del principio della spinta di Archimede)



Ho posto ai ragazzi la domanda chiave: **ti butteresti in una piscina vuota?** La risposta è stata unanime: “NO”. **L’acqua ti sostiene.** Qualcuno tra loro esprime il concetto che essa **esercita una spinta dal basso verso l’alto.** Concetto questo che cominciava ad emergere dalle nostre sperimentazioni.

GALLEGGIA O VA A FONDO?

Ulteriore conferma di tale spinta: ho preso **le due sfere di** (approssimativamente) **uguale forma e volume**, una di polistirolo, una di plastilina utilizzate in precedenza per far vedere la caduta dei gravi nell’aria, e le ho appoggiate sulla superficie di un grosso becker pieno d’acqua: ecco il risultato qua sotto a destra: una sfera galleggia, l’altra no.



Ho poi **spinto la sfera di polistirolo verso il basso**: esperienza che chiunque avrà fatto al mare o in piscina con una palla, spingendola verso il basso. Il ritorno della pallina in superficie rivela ancora una volta la natura della spinta: dal basso verso l’alto

Sempre cercando di **evitare le concettualizzazioni** ho cercato di farli ragionare con alcune domande del tipo: perché la forza peso dell'oggetto in Newton è minore in acqua? Perché alcuni oggetti galleggiano e perché altri vanno a fondo? Trovi qualche corrispondenza tra i valori delle tabelle?

"Perché un oggetto in acqua pesa meno?"
- Pesa meno in acqua perché lì c'è meno ossigeno.
Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso il basso e' puro
non al peso del volume di fluido spostato

• Perché un oggetto in acqua pesa di meno?
- Perché l'acqua lo trattiene e lo solleva in modo che solo parte del suo peso totale viene attratta dalla Terra; mentre l'altra parte è sorretta appunto dall'acqua.

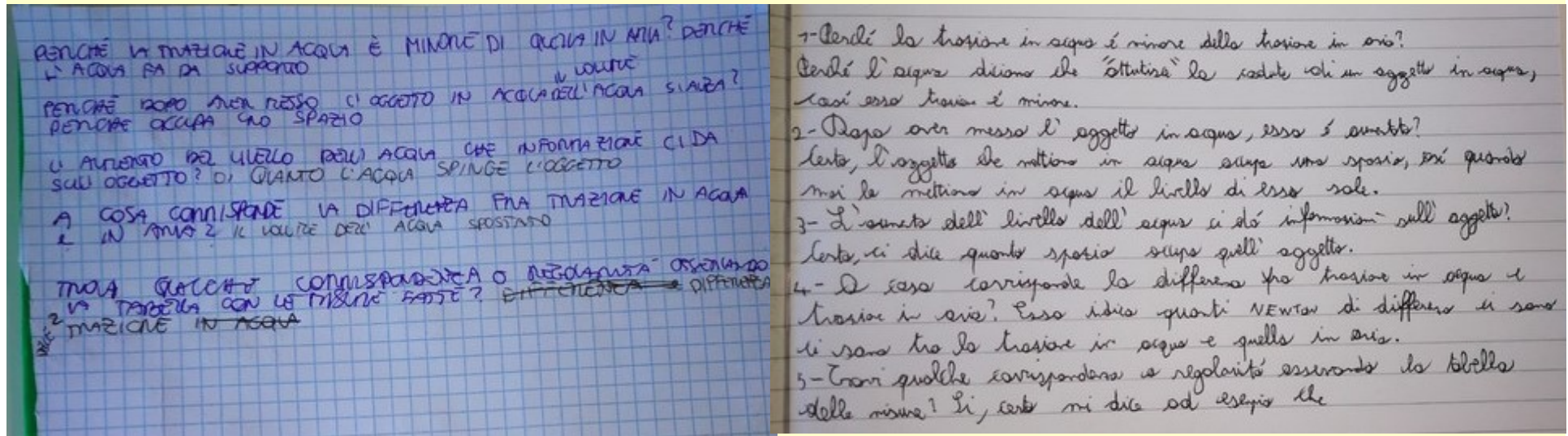
DOMANDE

- 1) Perché la trazione in acqua è minore della trazione in aria?
- 2) Perché dopo aver messo l'oggetto il volume dell'acqua è aumentato?
- 3) L'aumento del livello dell'acqua che informazioni dà sull'oggetto?
- 4) A cosa corrisponde la differenza fra trazione in aria e in acqua?
- 5) Trovi qualche corrispondenza o regolarità osservando la tabella con le misure usate?

- 1) Perché quando l'oggetto viene messo in acqua essa fa come da supporto.
- 2) L'acqua è aumentata perché l'oggetto anche esso occupa uno spazio cioè ha un volume.
- 3) Che l'oggetto ha un volume.
- 4) Che in aria l'oggetto cade più velocemente invece in acqua l'oggetto cade più lentamente perché l'acqua fa da supporto.

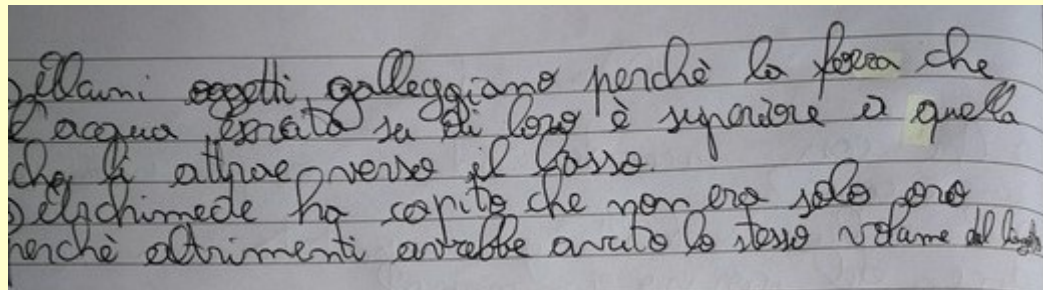
Hanno risposto quasi sempre in modo corretto, ma mai in maniera formalmente valida. È stato interessante vedere che sono comunque capaci di ragionare in modo logico, esprimendosi poi a parole loro.

Altri esempi... stesse domande



Domande: Perché alcuni oggetti galleggiano? Come ha fatto Archimede a capire che la corona di lerone non era fatta solo di oro?

Risposte:



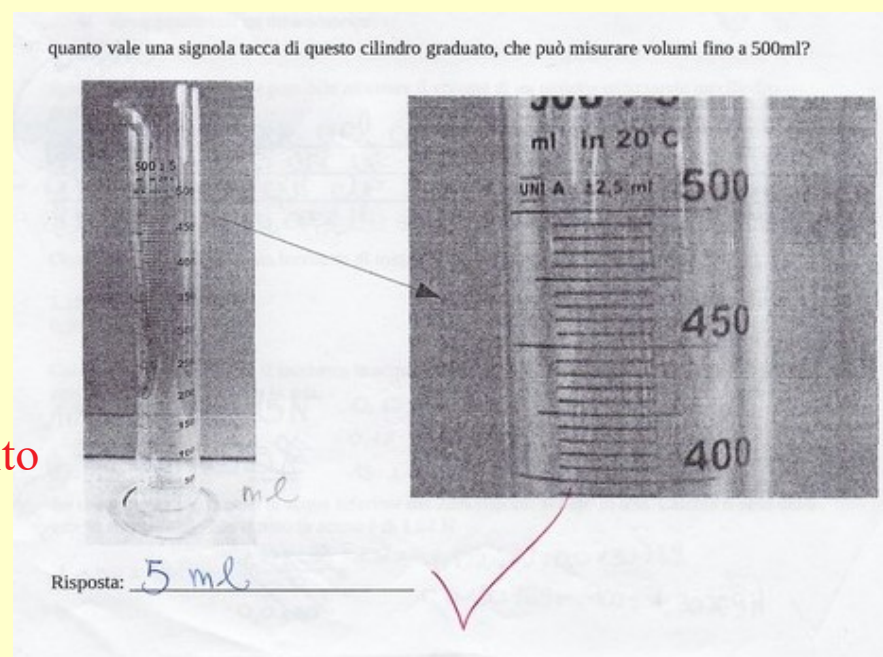
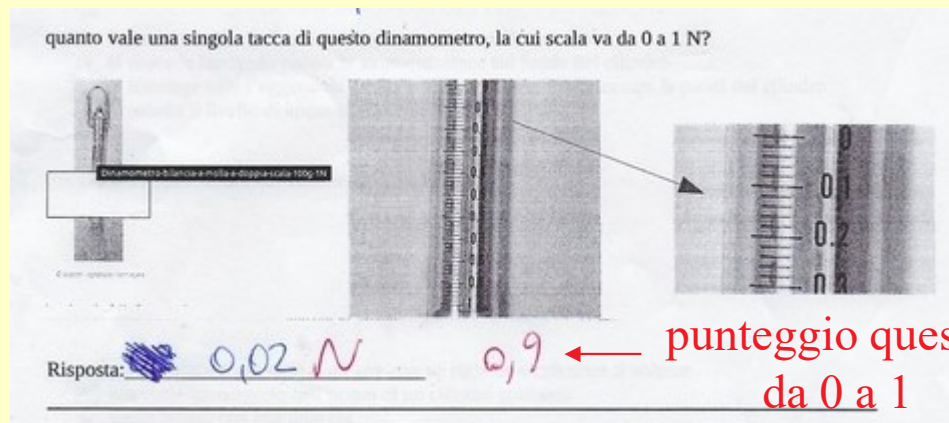
Risposte scarse, ma assolutamente corrette. Il principio di Archimede non è ancora formalizzato.

Primo test di gruppo

Un totale di 10 quesiti tra esercizi grafici, domande a risposta multipla, domande a risposta aperta e problemi, Tempo a disposizione: 1 ora e 20 minuti. 4 quesiti sono di primo livello, cui si spera tutti rispondano, 5 quesiti sono intermedi e uno è per le eccellenze.

Gli alunni **imparano a lavorare in gruppo per uno scopo comune importante**: fare un buon test, che ovviamente verrà valutato. La valutazione, per evitare polemiche future (“io ho lavorato di più, lui meno”) non ha fatto media per gli scrutini.

Qui di seguito mostro il test svolto, soprattutto con gli errori più comuni:



Per ottenere una misura del peso di un oggetto in aria:

- bisogna agitare il dinamometro verticalmente
- bisogna che il peso sia fermo
- bisogna che l'occhio sia all'altezza del peso
- non serve che il peso sia inferiore alla capacità (scala) del dinamometro

Per ottenere una misura del peso di un oggetto in acqua:

- è necessario che il dinamometro sia immerso nell'acqua
- si procede lasciando cadere la strumentazione sul fondo del cilindro
- si immerge solo l'oggetto da pesare e si cerca di non fargli toccare le pareti del cilindro
- si misura il livello di acqua che sale nel cilindro

Per calcolare una misura del volume di questo oggetto:



- conviene prendere tutte le misure con un righello e calcolare il volume
- conviene immergerlo nell'acqua di un cilindro graduato
- viene pesato con una bilancia
- viene pesato con un dinamometro

Spiega a parole tue come è possibile misurare il volume di un oggetto utilizzando un cilindro graduato e dell'acqua:

~~SI PRENDE IL DINAMOMETRO, SI ATTACCA IL PESO CHE VIENE IMMERSO NELL'ACQUA E SI LEGGE SULLA SCALA LA TACCA SUL DINAMOMETRO~~
CILINDRO!

Diversi ci sono cascati: l'occhio deve stare all'altezza dell'indicatore del dinamometro, mentre il peso si trova più in basso

L'uso del dinamometro è stato frainteso: gli oggetti erano già appesi ai rispettivi dinamometri, è stato dunque pratico immergerli utilizzando gli stessi dinamometri come semplici ganci, anche perché il filo di nylon era troppo corto e la mano non sarebbe entrata nel cilindro. **Il dinamometro non ha nessuna funzione nella misurazione del volume**

L'unità di misura è importante!

Otengo queste misure da un lucchetto di metallo utilizzando un dinamometro:

1,13 N in aria

0,98 N in acqua

Calcola quanto pesa meno il lucchetto in acqua rispetto al peso in aria, e calcola questa differenza in percentuale rispetto al peso in aria.

0,15 N in meno
13,27%

Risultati

0 – 5:	0%
6 – 7:	13%
7 – 9:	48%
9 – 10:	39%

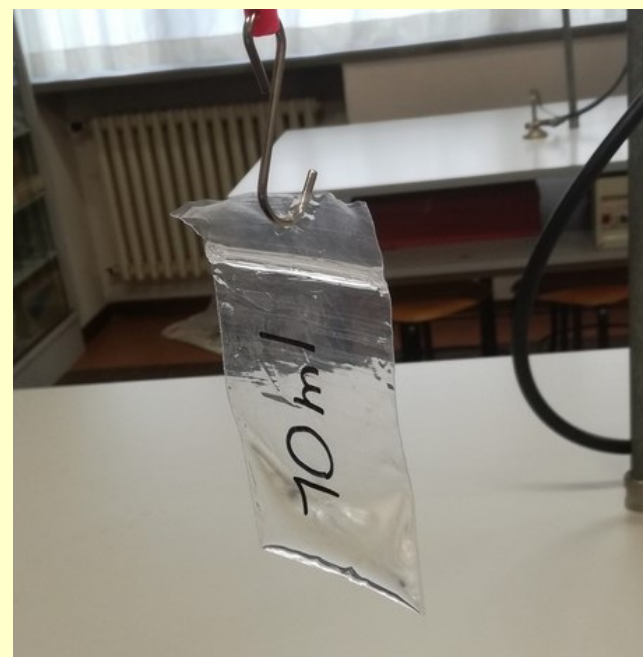
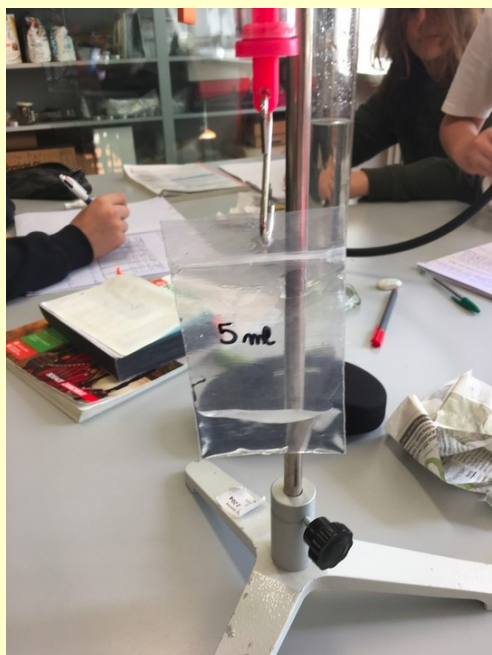
Visualizziamo il 'famoso' volume di acqua spostata

Dopo aver ripetuto tutta la procedura sperimentale (**repetita juvant**) questa volta cambiando l'oggetto ad ogni gruppo, ho mostrato loro il volume di acqua corrispondente all'oggetto in questione, **in un piccolo cilindro da 100ml**. Questo perché, su suggerimento del nostro formatore è utile visualizzare tale volume fuori dal sistema sperimentale. Ciò che si vede è più facile da capire.



Pesiamo il 'famoso' volume di acqua spostata

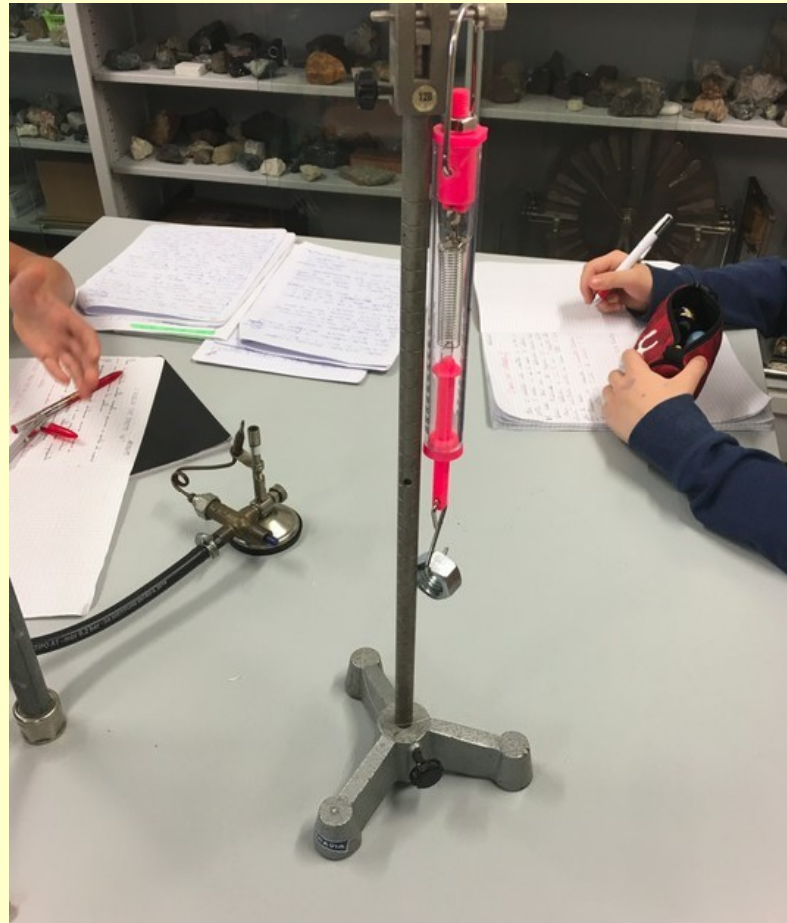
Inoltre abbiamo preso il volume di acqua in questione e lo abbiamo inserito in una **bustina di plastica**. Ogni gruppo aveva la sua bustina di plastica con dentro il suo volume d'acqua relativo al proprio oggetto di indagine, e tale volume in ml era scritto anche sull'esterno della busta. É stato facile **agganciare le bustine ai dinamometri**, e vedere la loro forza peso.



Ogni gruppo ha pesato il volume relativo al proprio oggetto, all'interno della bustina di plastica. Una pignoleria che mi ha fatto molto piacere: mi hanno fatto notare che anche la bustina ha un peso. Abbiamo allora verificato che il peso della sola busta non è rilevabile, perché il dinamometro non è abbastanza sensibile.

Non si finisce mai di imparare

Per **ridurre la variabilità** fra le misure, durante questa seconda sessione sperimentale abbiamo deciso di **appendere il dinamometro** ad un supporto.



Sicuramente è più scomodo da leggere, perché bisogna abbassarsi affinché l'occhio sia all'altezza dell'indicatore, ma si eliminano le oscillazioni verticali, inevitabili se si tiene il dinamometro in mano (anche se chiaramente i ragazzi prendevano le misure solo dopo che l'indicatore si fosse fermato)

Arricchiamo le nostre tabelle

... con il dato della forza peso dell'acqua spostata, o **'trazione dell'acqua spostata'**, che dir si voglia

oggetto	trazione in aria	trazione in acqua	differenza	volume di acqua spostata	trazione dell'acqua spostata
PESTELLO GRANDE	1) 1,15 N	0,65 N	0,50 N	50 ml	0,50 N
	2) 1,15 N	0,65 N	0,50 N	50 ml	0,48 N
	3) 1,15 N	0,40 N	0,45 N	50 ml	0,58 N ←
	4) 1,07 N	0,60 N	0,47 N	50 ml	0,50 N
PESTELLO PICCOLO	1) 0,58 N	0,32 N	0,26 N	25 ml	0,25 N
	2) 0,62 N	0,34 N	0,28 N	35 ml	0,35 N ←
	3) 0,58 N	0,30 N	0,28 N	25 ml	0,36 N ←
	4) 0,56 N	0,32 N	0,24 N	25 ml	0,22 N

I dati sottolineati sono anomali perché si discostano da ciò che ci attendiamo, e quindi probabilmente errati: frutto forse di un errore nella lettura dello strumento. Tali dati 'sospetti' non sono stati considerati

Facciamo le medie dei valori

senza considerare i dati 'sospetti', facciamo la **media aritmetica**:

OGGETTO						
MISURA		TRAZIONE IN ARIA	TRAZIONE IN ACQUA	DIFFERENZA	VOLUME DI ACQUA SPOSTATA	TRAZIONE NELLE ACQUE SPOSTATE
PESTELLO GRANDE MISURA	1)	1,15 N	0,65 N	0,50 N	50 ml	0,50 N
	2)	1,15 N	0,65 N	0,50 N	50 ml	0,48 N
	3)	1,15 N	0,70 N	0,45 N	50 ml	0,58 N
	4)	1,07 N	0,60 N	0,47 N	50 ml	0,50 N
MEDIA		1,13 N	0,65 N	0,48 N	50 ml	0,49 N
PESTELLO PICCOLO MISURA	1)	0,58 N	0,32 N	0,26 N	25 ml	0,25 N
	2)	0,62 N	0,34 N	0,28 N	35 ml	0,35 N
	3)	0,58 N	0,30 N	0,28 N	25 ml	0,26 N
	4)	0,56 N	0,32 N	0,24 N	25 ml	0,22 N
MEDIA		0,59 N	0,32 N	0,27 N	25 ml	0,24 N

A questo punto ho chiesto agli alunni di guardare bene i dati, e se notavano qualche corrispondenza. Non è stato immediato, perché si tratta di unità di misura differenti. Qualcuno ha cominciato a notare qualcosa, ma a questo punto abbiamo fatto la conversione tra N e grammi-peso, affinché fosse chiaro per tutti

Notiamo le corrispondenze

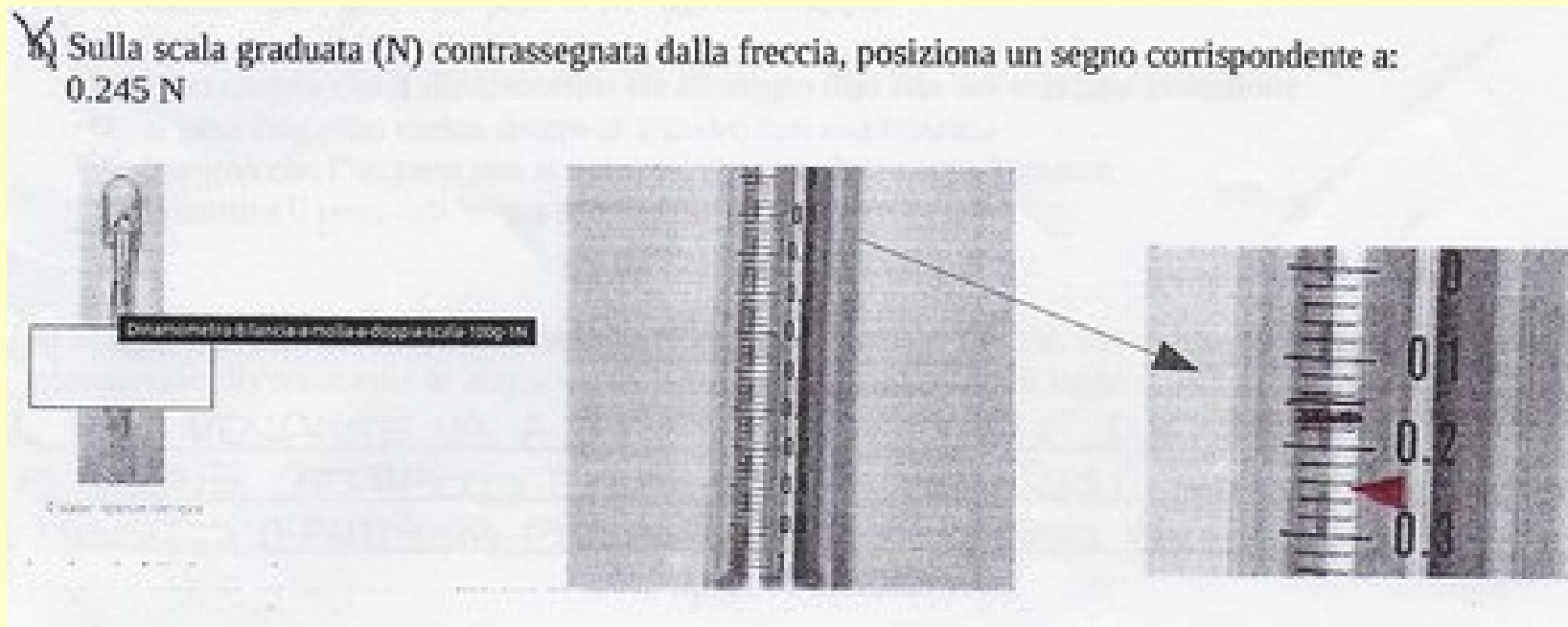
abbiamo fatto la conversione tra N e grammi-peso, in questo modo è più facile confrontare i dati:
 $102 \text{ grammi-peso} = 1\text{N}$,
 quindi abbiamo moltiplicato i valori in N x102 ed abbiamo ottenuto i grammi-peso

OGGETTO		DIFFERENZA IN GRAMMI-PESO	VOLUME ACQUA SPOSTATA	TRAZIONE DELL'ACQUA SPOSTATA IN GRAMMI-PESO
PESTELLO GRANDE MISURA	1	51	50 ml	51
	2	51	50 ml	49
	3	46	50 ml	59
	4	48	50 ml	51
MEDIA		49	50 ml	50
PESTELLO PICCOLO MISURA	1	29	25 ml	26
	2	29	35 ml	38
	3	29	25 ml	37
	4	24	25 ml	22
MEDIA		28	25 ml	24

Abbiamo così potuto notare che la differenza tra trazione in aria e trazione in acqua corrisponde nel numero al volume dell'oggetto, che corrisponde anche alla trazione di tale volume (di acqua spostata) nella bustina, pur tenendo a mente che grammo-peso e ml sono due unità di misura di grandezze diverse!

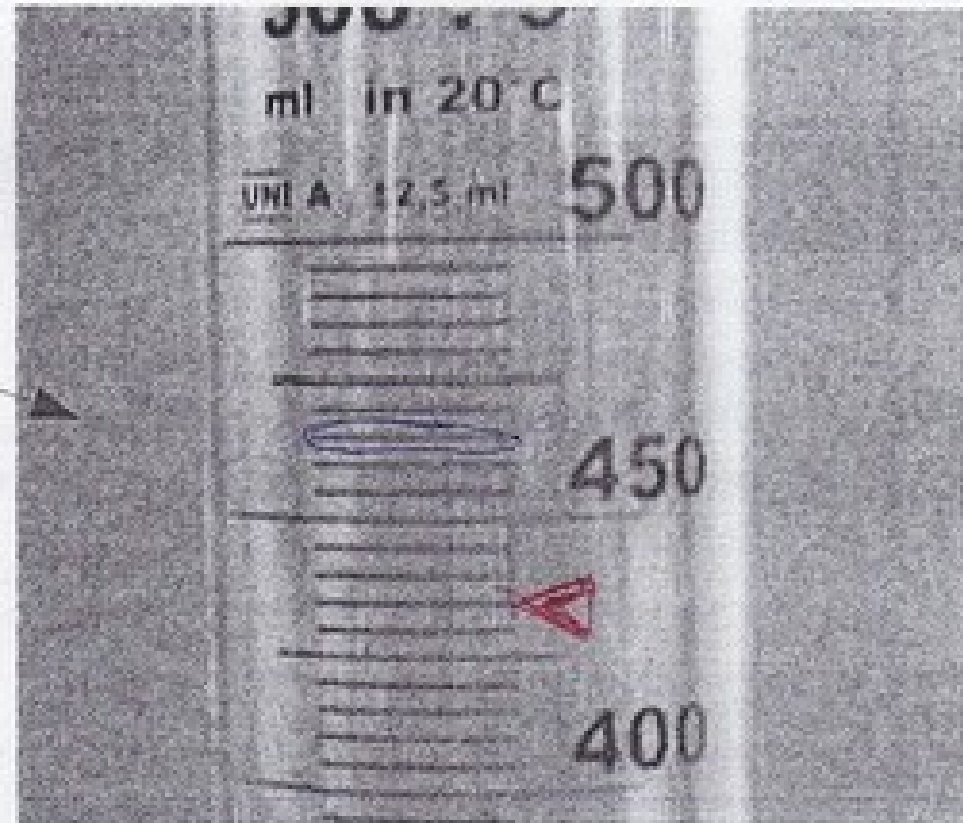
Test individuale

Adesso, **dopo aver fatto il test di gruppo, e dopo aver ripetuto (con un paio di aggiunte finali) il percorso sperimentale** con oggetti diversi, è arrivato il momento di lavorare ognuno per conto suo! E il risultato ovviamente farà media. Sulla falsariga del test di gruppo, **con la stessa tipologia di quesiti**, questo test consta di 10 quesiti tra esercizi grafici, domande a risposta multipla, domande a risposta aperta e problemi. Tempo a disposizione: 1 ora e 30 minuti. 4 quesiti sono di primo livello, cui si spera tutti rispondano, 5 quesiti sono intermedi e uno è per le eccellenze. Qui mostro volutamente solo gli errori più comuni (il resto degli alunni ha risposto discretamente)



Bisogna **contare le tacche... nella giusta direzione!**

b) Questo cilindro può misurare volumi fino a 500ml. Sulla scala graduata indicata dalla freccia, posiziona un segno corrispondente a 435ml



Bisogna **contare le tacche... nella giusta direzione!**

c) Per ottenere una misura del peso di un oggetto in aria:

- bisogna tirare il dinamometro fino al massimo
- bisogna che il peso si muova
- bisogna che l'occhio sia all'altezza dell'indicatore del dinamometro
- serve che il peso sia superiore alla capacità del dinamometro

A queste domande hanno risposto tutti bene

d) Per ottenere una misura del peso di un oggetto in acqua:

- è necessario che il dinamometro sia allungato fino alla sua massima estensione
- si pesa l'oggetto messo dentro al cilindro con una bilancia
- bisogna che l'oggetto non si muova e sia completamente immerso
- si misura il peso dell'acqua che rimane nel cilindro

La risposta comincia bene poi confonde il ruolo del peso con quello del volume! Difficile capire se lo abbia fatto in buona fede, ovvero se sia una svista.

punteggio
quesito da
0 a 1

e) Spiega a parole tue come mai due oggetti di stessa forma e volume, ma di peso diverso, si comportano diversamente in acqua: il più pesante va a fondo e il più leggero galleggia

Il più pesante viene spinto verso l'alto poiché alla pari con l'acqua sposta. Se l'oggetto è più pesante si sposterà una maggior quantità d'acqua che lo sostenterà. Se l'oggetto è più leggero si sposterà una minore quantità d'acqua e gli permetterà di galleggiare.

f) Ottengo questa misura da un grosso dado di acciaio utilizzando un dinamometro: 1,46 N in aria. Sapendo che la misura in acqua è inferiore del 18%, a quanti N corrisponde?

$(1,46 : 100) \cdot 18 = 0,2628$
~~1,46~~ $1,46 - 0,2628 = 1,1972 \text{ N} = \text{peso in acqua}$

DATI
1,46 N in aria
18% = inferiorità della misura in acqua

f) Ottengo questa misura da un grosso dado di acciaio utilizzando un dinamometro: 1,46 N in aria. Sapendo che la misura in acqua è inferiore del 18%, a quanti N corrisponde?

$$0,4011 \quad \frac{1,46 \cdot 18}{100} = 0,26 \text{ N (DIFFERENZA)} \quad 1,46 - 0,26 = 1,2 \text{ N}$$

g) So che un cubo di metallo ha un peso in aria superiore del 19,2% rispetto al peso in acqua. Calcola il peso del cubo in acqua sapendo che il peso in aria è di 0,78 N

$$\frac{1,72 \cdot 0,35}{100} = 0,60 \text{ N DIFF.}$$

punteggio
quesito da
0 a 1

In f) calcola la differenza correttamente, ma poi non la usa per ricavare i N in acqua!
In g) sbaglia completamente la proporzione per calcolare il peso del cubo in acqua.

h) Questo oggetto pesa di meno se immerso in acqua:



- perchè in acqua la forza di gravità è meno intensa
- perchè l'acqua tende a spingere verso l'oggetto per cercare di colmare il volume di acqua spostato
- perchè le molecole d'acqua sono sempre più pesanti di quelle dell'oggetto
- perchè l'aria esercita su di esso un peso che l'acqua non esercita

i) Spiega a parole tue perchè secondo te è stato importante pesare a parte in una bustina il volume di acqua spostato dall'oggetto immerso:

08
SI LEGGE ~~IL VOLUME~~ IL PRIMA ABBIAMO PESATO L'OGGETTO
SI FUORI DALL'ACQUA E DENTRO, PO SI È TROVATO IL VOLUME
E DOPO SI È MESSO DENTRO UNA BUSTINA E L'ACQUA DENTRO
LA BUSTINA ERA IL VOLUME, HA CHI FA CALCOLO CHE IL VOLUME
E L'ACQUA CHE SI ALZA

punteggio
quesito da
0 a 1

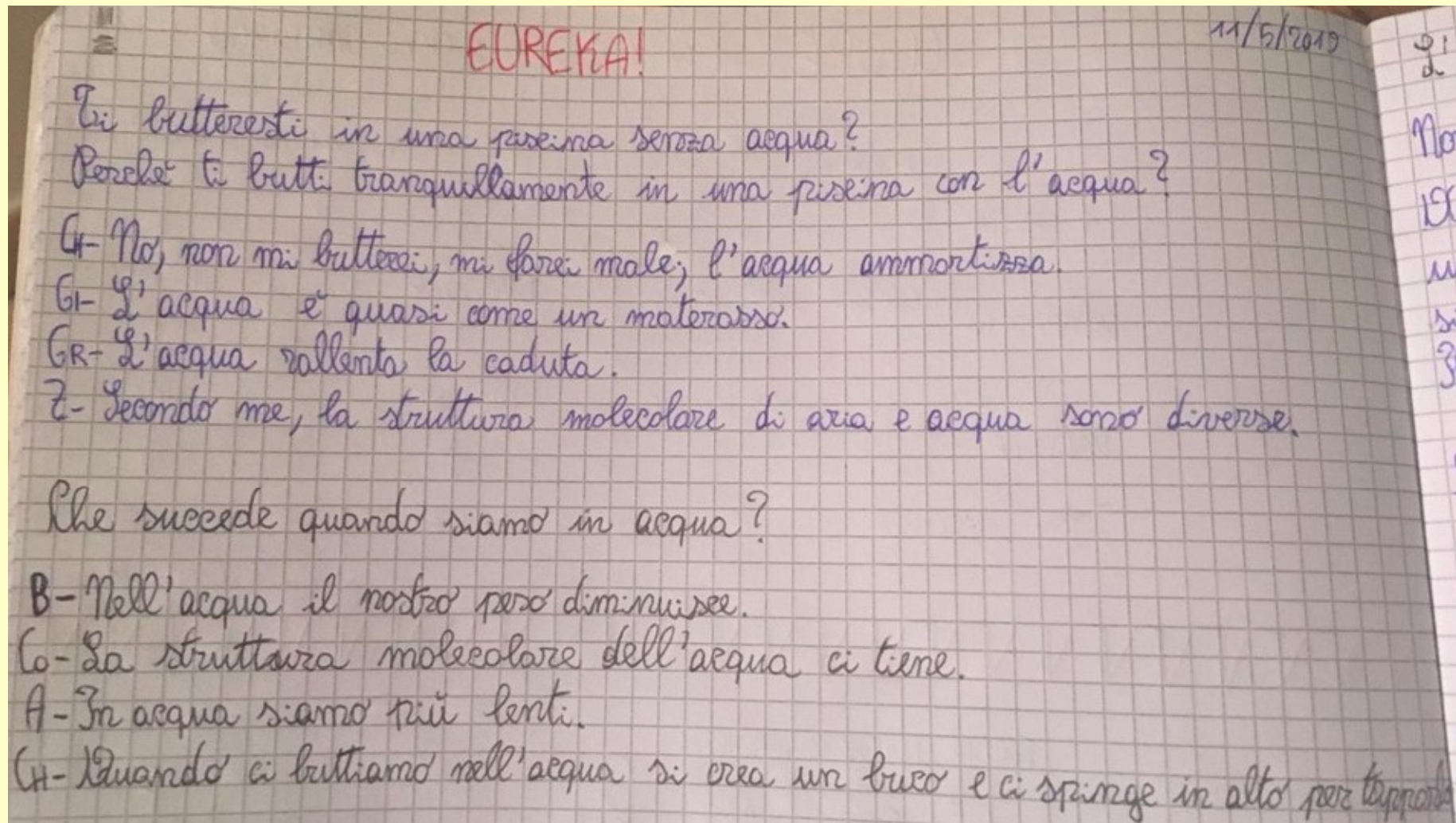
È stato l'unico a sbagliare il quesito h), insistendo sulla errata convinzione che imperversava all'inizio tra gli alunni: ovvero che la forza di gravità fosse meno intensa nell'acqua. Per tutti gli altri tale convinzione è stata fugata.

In i) la risposta è scritta piuttosto male sia come forma che come formalismi, ma a senso l'ho giudicata corretta

Risultati del test individuale

0 – 5:	0%
6 – 7:	13%
7 – 9:	39%
9 – 10:	48%

Considerazioni fatte all'inizio del percorso

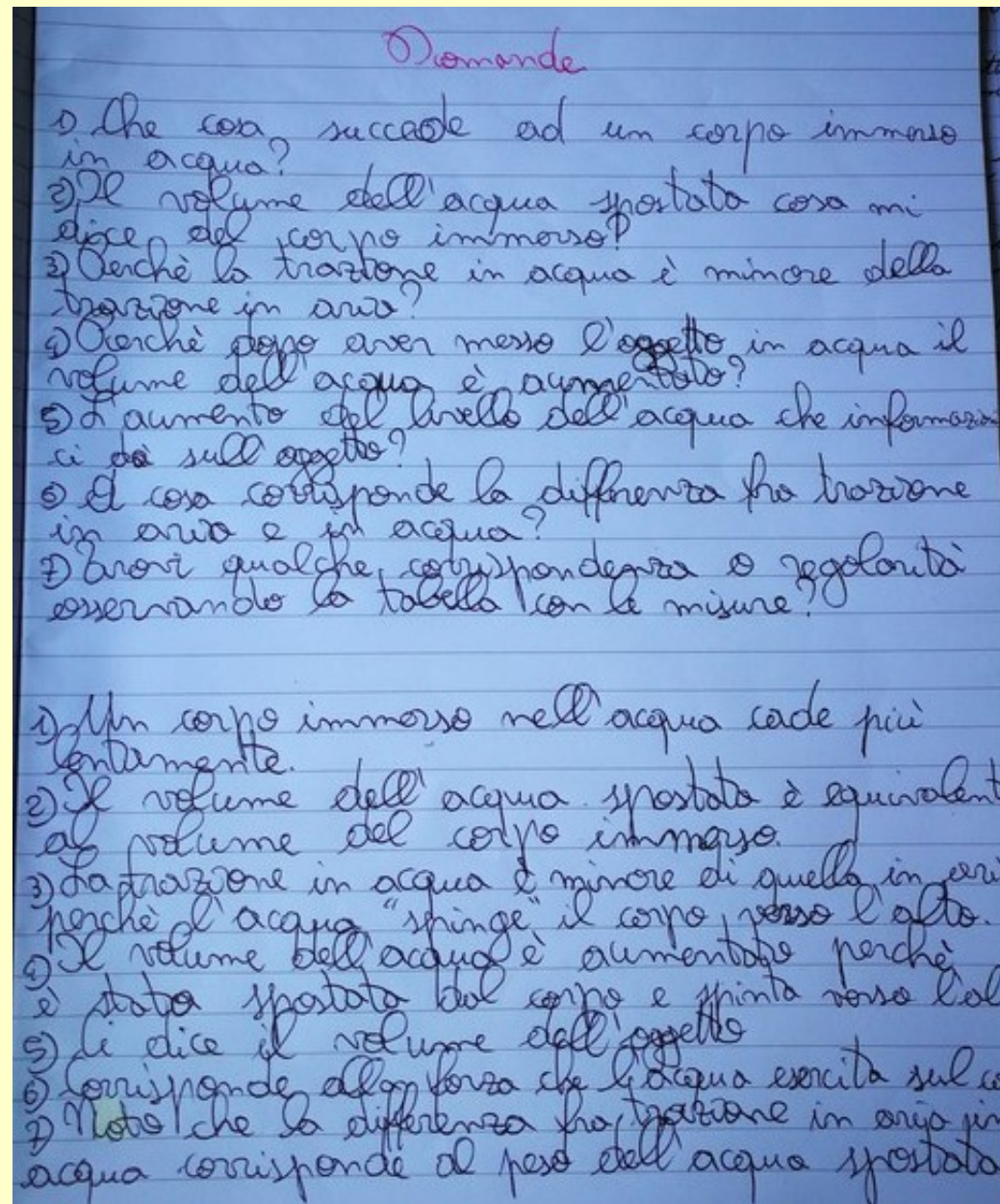


... che evidenziano sia concetti che **conoscenze pregresse**, sia **ragionamenti non sbagliati anche se imprecisi, soprattutto come forma**. Abbiamo ripreso queste considerazioni iniziali allo **scopo di vedere se** grazie alla sperimentazione **la nostra visione delle cose è adesso cambiata**.

Concettualizzazione: che principi possiamo tirare fuori dalla sperimentazione?

Le **risposte** sono sicuramente **più precise e corrette dopo il percorso.**

Le risposte chiave, delle quali sono soddisfatto (per molti ma non per tutti) sono la 6 e la 7: **oculate, e corrette, hanno portato gli alunni sulla giusta strada** per formulare il principio di Archimede, ma in pochi ci sono riusciti...



Si può quantificare la spinta di Archimede?

Dialogando con gli alunni, purtroppo mi sono reso conto che pochi di loro sono riusciti (pur riguardando le tabelle) ad arrivare da soli al concetto che la forza della spinta di Archimede equivale alla forza peso del volume di liquido spostato dall'oggetto (il famoso volume di acqua pesato nella bustina). Quando dunque mi sono 'arreso' dicendoglielo io, i loro volti però si sono 'illuminati' di colpo, ed anche se non hanno gridato "EUREKA" ho capito che perlomeno adesso era per loro chiaro ed evidente, e per essere ancora più sicuri abbiamo riguardato ancora una volta i dati:

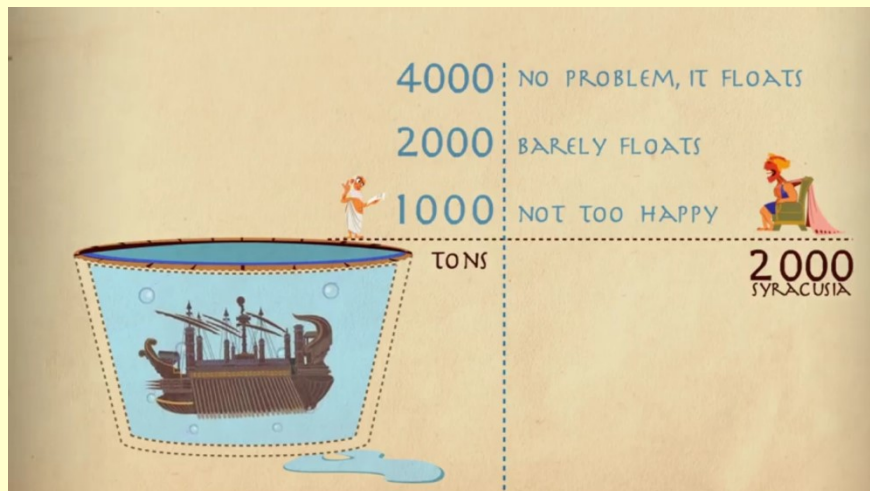
OGGETTO		DIFFERENZA IN GRAMMI - PESO	VOLUME ACQUA SPASTATA	TRAZIONE DELL'ACQUA SPASTATA IN GRAMMI - PESO
PESTELLO	1	51	50 ml	51
GRANDE	2	51	50 ml	49
MISURA	3	46	50 ml	50
	4	48	50 ml	51
MEDIA		49	50 ml	50

Visto che oramai siamo ai concetti...

Abbiamo visto un bellissimo video che spiega il principio di Archimede, le sue implicazioni e le applicazioni. Non era il caso di parlarne né di nominarlo prima, durante la fase sperimentale / induttiva



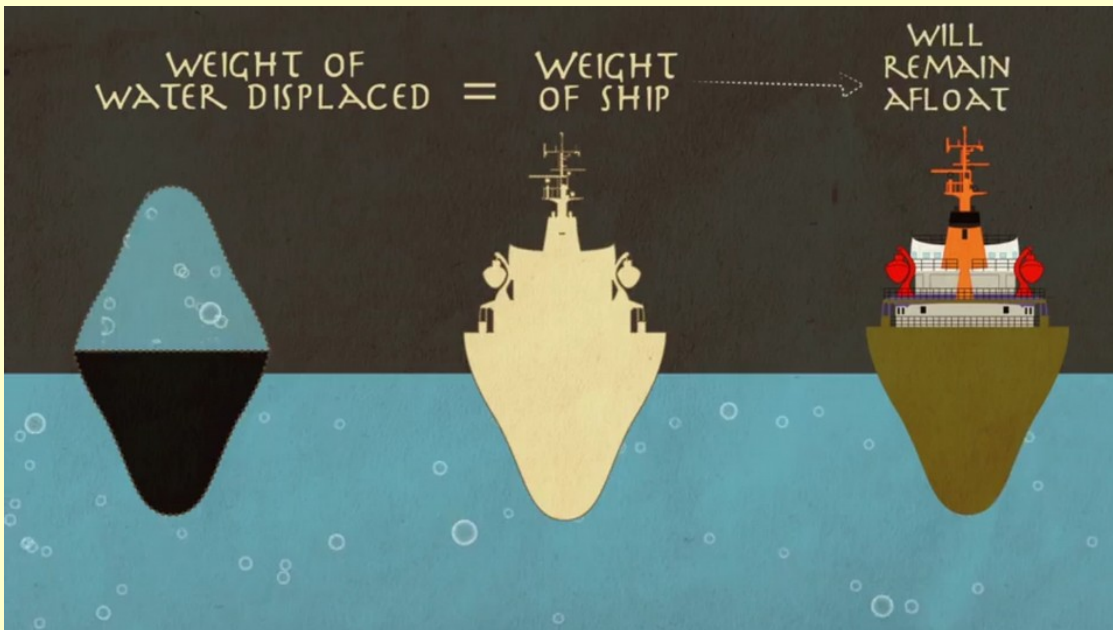
Ad Archimede venne commissionata la costruzione della **nave più grande mai vista nell'epoca**. Si sarebbe dovuta chiamare la 'Syracusia' in onore della sua città. In basso a destra (è molto piccola) nella prima immagine: le dimensioni di una nave da guerra dell'epoca di dimensioni standard.



La domanda che assillava Archimede era: **galleggerà o affonderà, una volta costruita?** Facendo i dovuti calcoli, venne fuori la quantità minima (in tonnellate) di **acqua spostata necessaria al suo galleggiamento: 2000 tonnellate**.



Tornando ai giorni nostri: come è possibile che una **grossa e pesante nave di acciaio** riesca a galleggiare, proprio come una leggerissima barca di legno?



Ciò che conta è il **peso dell'acqua spostata**: se è maggiore al **peso dell'imbarcazione**, allora essa galleggerà...

...ecco il **principio di Archimede!**

Conclusioni sul percorso

Il percorso è stato accolto dalla classe con curiosità, impegno e serietà.

L'organizzazione delle attività in gruppi che lavorano sulla risoluzione di quesiti e che confrontano le loro misurazioni, gruppi in cui i singoli si confrontano e discutono, è di per se una ottima palestra di cooperative learning, tra l'altro piacevole ed interessante perché si toccano con mano diversi strumenti, ed inoltre è utile a colmare, in parte almeno, il divario fra chi assimila subito il significato di ciò che viene detto o mostrato e chi, invece, no.

Chi ha difficoltà cognitive o comportamentali o di concentrazione dunque trae in genere vantaggio dall'apprendimento cooperativo, e, cosa anch'essa di rilievo, **favorisce notevolmente le relazioni interpersonali** favorendo la conoscenza reciproca.

Tutti gli alunni hanno provato, sperimentando, **quanto sia importante la misura nell'attività sperimentale**. A partire dal video, dove Archimede misura e confronta con precisione i volumi della corona e del lingotto, fino alla loro stessa sperimentazione ai banconi del laboratorio della scuola, dove si sono resi conto di come possono essere fuorvianti errori sulla sensibilità (**attribuire un valore anziché un altro alla 'tacca'**) del cilindro graduato o del dinamometro: hanno visto con i loro occhi che lo stesso oggetto, misurato con lo stesso strumento ad un altro gruppo può dare valori molto diversi se si commette questo tipo di errore.

Conclusioni sul percorso

Durante tutto il percorso i ragazzi si sono mostrati **competenti e precisi nel gestire le varie unità di misura** e nel convertirle (es. grammi-peso – Newton). Abbiamo ribadito di nuovo verso la fine **l'importanza delle misure e del saper misurare**, ed i ragazzi si sono dimostrati d'accordo anche osservando gli **errori dei dati 'scartati'**.

Il concetto di **galleggiamento** è stato affrontato in maniera abbastanza fugace nel secondo video (quello delle lattine), ed approfondita in laboratorio con l'uso delle due sfere (una di polistirolo ed una di plastilina). Avendo (sia le lattine, sia le sfere) più o meno lo **stesso volume e la stessa forma**, i ragazzi intuiscono che ciò che gioca un ruolo cruciale è il peso... qualcuno ha anche parlato di densità, ma io non ho affrontato questo concetto durante il percorso. Meriterebbe un percorso a parte... al quale magari potrebbe essere agganciato in futuro. Se avessi avuto più tempo probabilmente lo avrei affrontato, ma ho concluso l'attuale percorso EUREKA alla fine di maggio. Ad ogni modo **il galleggiamento serve a far capire ai ragazzi che nell'acqua c'è una forza che sostiene i corpi**, e che la sua direzione è dal basso verso l'alto.

Conclusioni sul percorso

Il percorso è servito anche a utilizzare la **matematica di realtà**, che in laboratorio e con attività sperimentali è ancora più valida ed attraente. I ragazzi hanno messo a frutto le loro conoscenze, che li hanno resi competenti nel calcolare le **medie aritmetiche** dei valori, e nei test nel **calcolare la percentuale**, precedentemente trattata nel curriculum di matematica di questo anno scolastico, della differenza tra la trazione in acqua rispetto alla trazione in aria, o viceversa nel calcolare i suddetti valori, data la percentuale. Inoltre a livello intuitivo, e comunque guidati dall'insegnante, sono stati in grado di individuare dei **dati sospetti** e di eliminarli. Per quanto riguarda gli errori, intesi come discostamento dalla media, per scorrevolezza e mancanza di tempo non sono stati qui affrontati: essi verranno affrontati in maniera più estesa in terza con questa classe, e nel prossimo percorso EUREKA con una futura classe seconda.

Il **concetto della spinta di Archimede** viene solo concettualizzato verso la fine, e non con poca fatica da parte degli alunni, pur brillanti, che però non riuscivano a mettere in correlazione la quantità di spinta con la quantità di volume spostato. In pratica per loro è stato facile capire che la differenza tra la trazione in acqua ed in aria corrisponde ad una spinta verso l'alto, ma hanno fatto fatica ad accorgersi che essa è **proporzionale al peso di acqua spostata**. Ho dovuto guidarli, tabelle alla mano, mostrando che la spinta era tanto maggiore quanto maggiore era il peso del volume spostato .

Conclusioni sul percorso

Mi ha fatto molto piacere che più alunni abbiano puntualizzato che la spinta di Archimede avviene allora **anche nell'aria**, anticipandomi sull'argomento. In questa fase finale del percorso abbiamo intavolato una **discussione** **sugli effetti dell'acqua per rendere più chiari i concetti**. Abbiamo rivisto il **video del tuffo**, che rende molto bene il concetto che un corpo che entra in un fluido **sposta** inevitabilmente una parte di quel fluido. E come la corona di Ierone, **come tutti i corpi ha un volume, entrando nell'acqua fa salire il livello dell'acqua esattamente dello stesso identico volume che occupa**. Si è poi sviluppata una interessante discussione paragonando **varie imbarcazioni** alcune piccole e fatte di materiali leggeri, ed altre invece enormi e fatte di metallo come si vede nel quarto ed ultimo video in cui il principio di Archimede viene teorizzato e se ne mostrano le applicazioni. A questo punto gli alunni sembrano tutti convinti che **il volume di fluido spostato è la chiave di volta** per comprendere questa forza, ma soprattutto sono finalmente riusciti a capire che **questa forza è proporzionale** alla quantità di questo volume. Per essere più precisi, **al peso di quel volume**.

Suggerimenti per il futuro

Vasi comunicanti: connesso ad EUREKA si potrebbe proporre anche un altro percorso per spiegare il principio dei vasi comunicanti. Entrambi i principi (principio di Archimede – principio dei vasi comunicanti) sottostanno alla forza di gravità. Senza di essa nessuno dei due principi è possibile, e ciò fa riflettere. Come l'acqua cerca di colmare i vasi comunicanti più in basso (in pratica di 'livellarsi' colmando tutti i vuoti possibili) così anche l'acqua spinge per colmare quello spazio dove non c'è più acqua, ma al suo posto... la carena di una nave.

Prova di galleggiamento navi: sarebbe divertente ed istruttivo anziché utilizzare viti e bulloni, utilizzare dei modellini di imbarcazione costruiti appositamente per galleggiare o meno, anche con l'aggiunta progressiva di pesi, da provare, sempre con l'uso del dinamometro in una vasca in plexiglas piena d'acqua. All'inizio conviene utilizzare forme semplici. Farebbe sicuramente comodo un genitore che sa lavorare il legno o magari modellista o appassionato di modellismo.