

**NUOVI E VECCHI STRUMENTI
PER INDAGARE I FENOMENI IN NATURA**
Il laboratorio tra tradizione e innovazione

Firenze, 22 – 23 aprile 2026

SEZIONE TESINE TRIENNIO

Menzione d'onore

**L'acqua in funzione del tempo.
Misurare nel passato**

Studenti

Cini Valentina - Germinaro Linda - Labile Ginevra

Lenzi Livia - Macucci Giulia

Classe 3 ILS

Istituto di Istruzione Superiore

Liceo scientifico Gobetti-Volta

Bagno a Ripoli (FI)

Docente Coordinatore

Cambini Nicoletta

Gli studenti analizzano il funzionamento di uno strumento antico di misurazione del tempo, la clessidra ad acqua, verificando la proporzionalità diretta tra l'altezza del liquido nel contenitore graduato e il tempo di svuotamento. Poi progettano e realizzano con una stampante 3D, un contenitore solido di superficie accuratamente studiata e ben descritta, costruendo un orologio ad acqua con le stesse caratteristiche di quello antico. La presentazione chiara è corredata dell'analisi degli errori; le conclusioni qualitative sono adeguatamente critiche.

Relazione del docente

Il gruppo di lavoro è composto da cinque studentesse di una terza liceo scientifico ordinario italo inglese

Il tema proposto per quest'anno ci ha offerto l'occasione di soffermarci sul significato e sull'importanza del tempo. Ripercorrendo le tappe storiche della sua misurazione, abbiamo provato a studiare il funzionamento di un antico strumento come la clessidra ad acqua. Abbiamo cercato di fare due esperienze

La prima si è incentrata nella costruzione e nello studio del funzionamento di una semplice clessidra ad acqua, che ci ha condotti a una relazione di proporzionalità quadratica tra il livello dell'acqua nel recipiente e il tempo di svuotamento di quest'ultimo.

La seconda esperienza è stato un tentativo di costruire e mettere in funzione un nuovo modello di clessidra ad acqua in cui la variazione del livello del liquido avvenga in maniera direttamente proporzionale al tempo trascorso.

L'esperienza, è stata accolta con entusiasmo dai ragazzi che hanno lavorato con partecipazione e collaborazione. La stesura della tesina è stata la parte più impegnativa dell'intero percorso.

L'ACQUA IN FUNZIONE DEL TEMPO

misurare nel passato

Introduzione

L'umanità ha sempre sentito la necessità di misurare il tempo: per questa ragione, ben prima dell'invenzione degli orologi meccanici, sono stati progettati e utilizzati strumenti come clessidre a sabbia, ad acqua o candele graduate.

Il nostro esperimento propone proprio la misura del tempo mediante progressivo svuotamento di un recipiente graduato.

Tuttavia, nelle clessidre ad acqua, il flusso non è costante; la velocità con cui l'acqua esce dipende infatti dall'altezza del liquido: poiché il foro di uscita si trova in fondo al recipiente, la velocità di efflusso dell'acqua dipende dalla pressione della colonna d'acqua sovrastante.

Più precisamente, la velocità v del getto dell'acqua che fuoriesce è descritta quantitativamente dalla legge di Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh}.$$



Obiettivi del progetto

Il nostro lavoro aveva un duplice obiettivo.

1. Con la prima esperienza ci siamo proposti di determinare il tipo di relazione che sussiste tra l'altezza h del liquido e il tempo t necessario per il completo svuotamento del recipiente graduato.
2. Con la seconda esperienza volevamo costruire, se esisteva, un modello di clessidra per la quale valesse una relazione di proporzionalità diretta tra altezza dell'acqua h e corrispondente tempo di svuotamento t .

A tal fine abbiamo utilizzato: per il primo esperimento una bottiglia cilindrica con sezione costante; per il secondo una superficie ottenuta per rotazione di una funzione quartica e stampata in materiale plastico con una stampante 3D.

Materiali e strumenti utilizzati

- bottiglia di plastica forata (portata: 1 L)
- metro graduato (sensibilità: 0,1 cm)
- cronometro digitale (sensibilità: 0,01 s)
- vaschetta progettata con supporto ingegneristico
- stampante 3D
- calibro ventesimale (sensibilità: 0,05 mm)

L'attività sperimentale si è articolata in due fasi distinte, volte ad analizzare il tempo di svuotamento di un contenitore al variare della geometria del contenitore e dell'altezza della colonna d'acqua.

Prima esperienza

Nella prima fase abbiamo utilizzato una comune bottiglia di plastica di forma cilindrica. Per permettere la fuoriuscita del liquido, abbiamo fatto un foro poco al di sotto della metà del contenitore, utilizzando un chiodo riscaldato.



Abbiamo applicato un metro a nastro cartaceo lungo la superficie della bottiglia, allineando lo zero del metro in corrispondenza del foro di uscita.

La struttura è stata stabilizzata fissando la bottiglia a un sostegno metallico, mantenendola in posizione verticale e sollevata rispetto al piano d'appoggio. Il protocollo di raccolta dati ha previsto i seguenti passaggi:

- Riempimento della bottiglia tramite imbuto fino al raggiungimento di altezze prestabilite ($h = 1,0 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0$ cm rispetto al foro).
- Misurazione del tempo di svuotamento per ogni quota tramite cronometro digitale.
- Ripetizione di ogni singola misura per ben quattro cicli, al fine di eseguire un'analisi dell'errore.

Una volta ottenuti i dati grezzi, abbiamo calcolato la media aritmetica e la relativa incertezza per ogni serie di misure.

La media è stata calcolata con la formula

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$$

L'incertezza è stata stimata tramite la semidispersione:

$$\Delta t_{disp} = \frac{t_{max} - t_{min}}{2}$$

Tabella 1 - bottiglietta a sezione costante

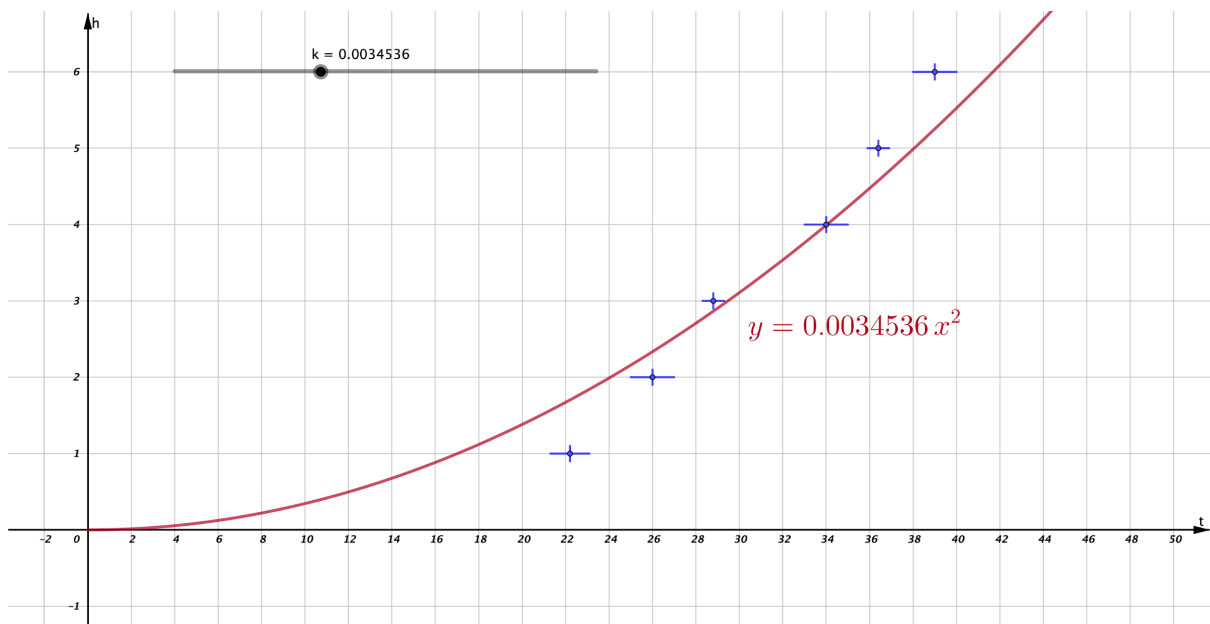
Misure delle altezze (cm)	Misure dei tempi di svuotamento (s)							
	(1)	(2)	(3)	(4)	Somma	Media	Semidispersione	Tempo di svuotamento
1,0 ± 0,1	21,14	22,35	22,30	22,90	88,69	22,1725	0,88	22,2 ± 0,9
2,0 ± 0,1	24,56	25,90	25,00	26,80	102,26	25,565	1,12	26 ± 1
3,0 ± 0,1	28,60	29,10	29,34	28,34	115,38	28,845	0,5	28,8 ± 0,5
4,0 ± 0,1	34,99	32,56	33,39	33,49	134,43	33,6075	1,215	34 ± 1
5,0 ± 0,1	36,82	35,84	36,26	36,70	145,62	36,405	0,49	36,4 ± 0,5
6,0 ± 0,1	41,09	39,34	39,32	38,49	158,24	39,56	1,3	40 ± 1

I risultati sono stati infine esportati su GeoGebra, dove abbiamo elaborato un grafico per visualizzare la relazione tra altezza e tempo di deflusso.

I valori medi delle grandezze e i rispettivi errori sono stati riportati su un grafico cartesiano:

asse x – tempo t

asse y – altezza h



I dati sono disposti in maniera compatibile con un andamento di tipo parabolico.

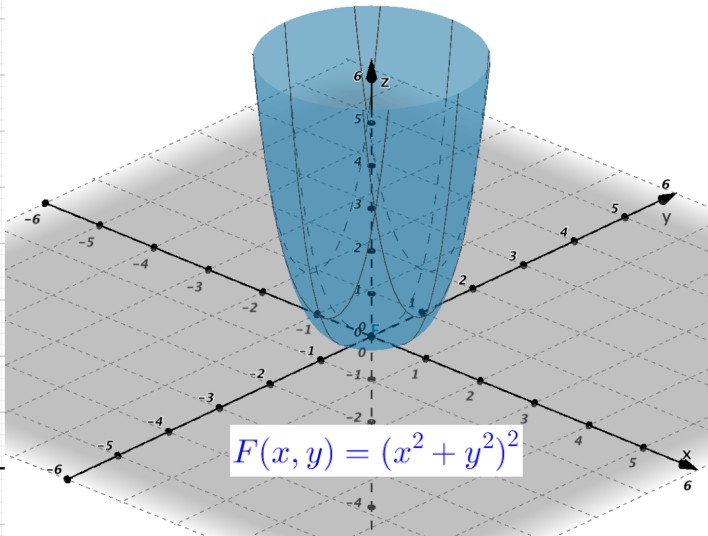
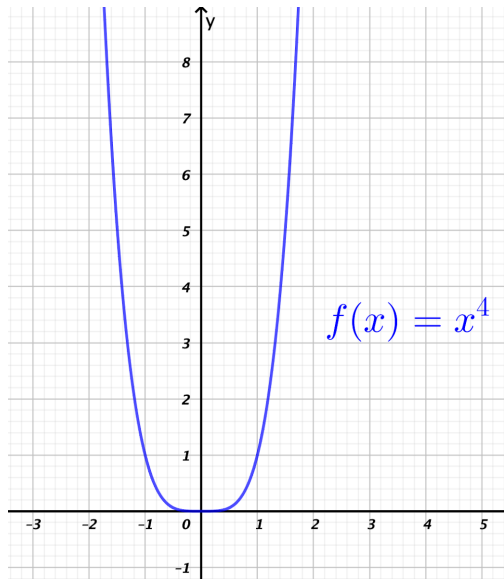
Nel recipiente a sezione costante, la velocità di uscita diminuisce con l'altezza.

La relazione tra tempo e altezza non è di proporzionalità diretta; si potrebbe tuttavia dimostrare in modo rigoroso che si tratta di una proporzionalità quadratica.

Seconda esperienza

La seconda esperienza prevedeva l'utilizzo di un solido generato dalla rotazione di 360° di una funzione di quarto grado (quartica) attorno al suo asse di simmetria:

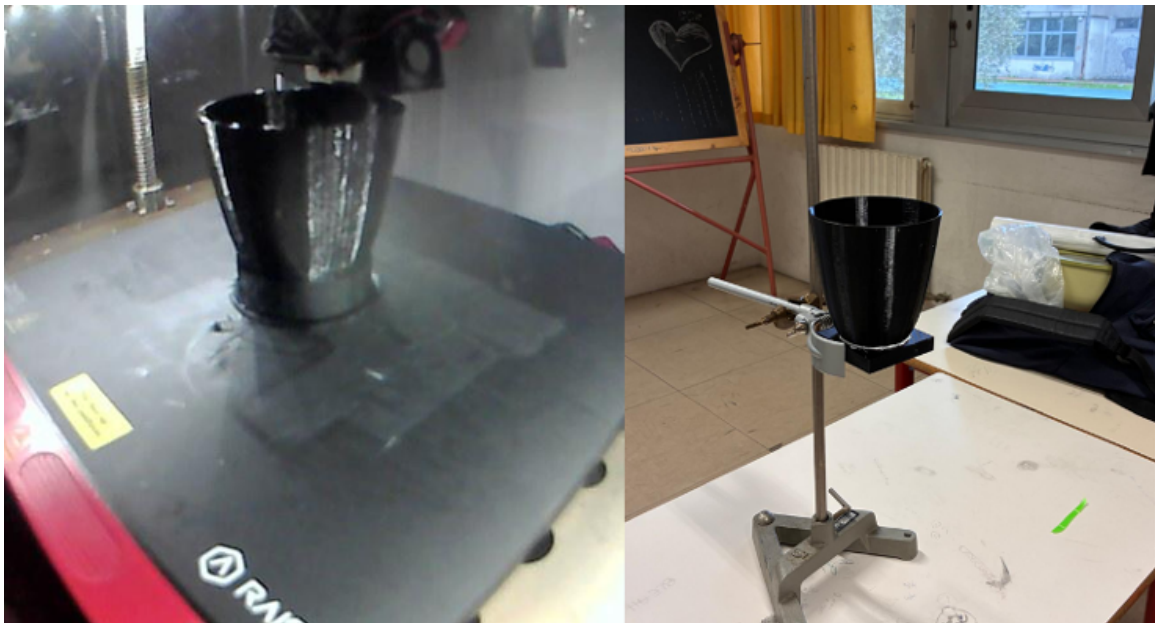
$$y = f(x) = x^4 \Rightarrow z = F(x, y) = (x^2 + y^2)^2$$



Inizialmente abbiamo tentato un approccio artigianale: abbiamo realizzato un'intelaiatura di cartone basata sul profilo della funzione, unendo vari ritagli e rivestendo la struttura con del DAS.

Tuttavia, questo metodo si è rivelato inefficace: al momento del collaudo il contenitore risultava di forma irregolare e non perfettamente essiccato, rendendo impossibile versare dell'acqua all'interno.

Per ovviare al problema, abbiamo optato per la stampa 3D.

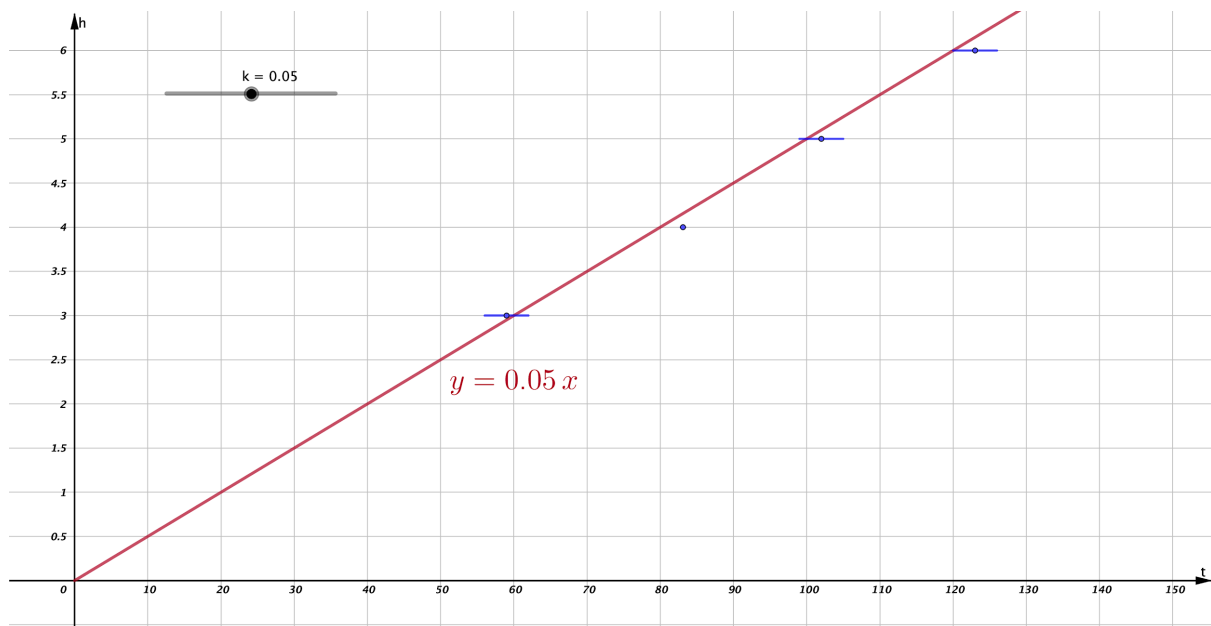


Questo ci ha permesso di ottenere un solido geometricamente molto ben fatto e funzionale. Abbiamo quindi replicato la procedura di misurazione utilizzata per il cilindro, rilevando i tempi di uscita corrispondenti a diverse altezze scelte.

Tabella 2 - vaschetta 3D

Misure delle altezze (cm)	Misure dei tempi di svuotamento (s)							
	(1)	(2)	(3)	(4)	Somma	Media	Semidispersione	Tempo di svuotamento
$3,000 \pm 0,005$	59,01	56,06	61,32	58,91	253,30	58,825	2,63	59 ± 3
$4,000 \pm 0,005$	83,33	82,79	83,24	83,09	332,45	83,1125	0,27	$83,1 \pm 0,3$
$5,000 \pm 0,005$	101,27	104,76	102,67	99,48	408,18	102,045	2,64	102 ± 3
$6,000 \pm 0,005$	122,79	120,40	123,37	125,63	492,19	123,0475	2,615	123 ± 3

Gli stessi dati riportati su GeoGebra.



La distribuzione dei dati è compatibile con un andamento di tipo lineare

La forma progettata ha modificato la relazione matematica tra tempo di svuotamento e altezza del liquido; si può dimostrare matematicamente che il profilo a forma di quartica garantisce che tale relazione è, entro gli errori sperimentali, di tipo lineare.

Interpretazione dei risultati

Il confronto tra i dati raccolti ha permesso di evidenziare differenze sostanziali nell'andamento dei due grafici.

Sebbene in entrambi i contenitori si verifichi un calo della velocità di deflusso legato alla pressione che l'acqua esercita in prossimità del foro, il contenitore in plastica mostra un restringimento progressivo del raggio della sezione (procedendo verso la base) che fa sì che, nonostante il rallentamento del flusso, la velocità di abbassamento del livello del liquido ($\Delta h/\Delta t$) rimanga costante, producendo un andamento di tipo lineare.

Discussione degli errori

Possibili fonti di errore:

- errore umano nell'utilizzo del cronometro (tempo di reazione);
- imprecisioni nella forma della bottiglietta.

Conclusioni

L'analisi comparativa dei dati ha confermato che la geometria del contenitore determina la legge di variazione del livello del liquido nel tempo.

- Nel caso del cilindro abbiamo riscontrato una relazione non lineare: la velocità di abbassamento del livello ($\Delta h/\Delta t$) diminuisce progressivamente al calare della pressione dell'acqua sul foro. Il grafico risultante su GeoGebra descrive una curva dove il tempo non è direttamente proporzionale alla variazione di altezza.
- Nel caso del solido con profilo di quartica, la sezione variabile del contenitore compensa esattamente il rallentamento del flusso previsto dalla legge di Torricelli. Questo permette di ottenere una relazione di proporzionalità diretta tra l'altezza del liquido e il tempo di svuotamento.

Questo esperimento ha permesso di integrare diverse discipline in un unico processo d'indagine:

- Fisica: applicazione della legge di Torricelli ($v = \sqrt{2gh}$) e studio della dinamica dei fluidi.
- Matematica: studio delle funzioni di rotazione e analisi dei dati su GeoGebra.
- Tecnologia: modellazione in DAS e successivamente progettazione per la stampa 3D per garantire la precisione geometrica necessaria.
- Storia della scienza: evoluzione degli strumenti di misura, dimostrando come un antico principio possa essere perfezionato attraverso la modellazione matematica moderna.

In conclusione, l'utilizzo della stampa 3D non è stato un semplice esercizio tecnico, ma lo strumento indispensabile per trasformare una relazione fisica complessa in un misuratore di tempo lineare, reinterprestando l'antica tecnologia della clessidra con i mezzi della prototipazione moderna.

