

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

Firenze, 22 – 23 aprile 2026

SEZIONE TESINE BIENNIO

Primo classificato

UN GRAMMO DI TEMPO
L'orologio ad acqua di Galileo

Studenti

Caselli Riccardo - Solomon Diana Andrea
La Mura Francesco Gabriele - Santori Andrea

Classi 2AINF - 2BINF - 2 LOGR

Istituto di Istruzione Superiore

Istituto Tecnico per Geometri Fazzini – Mercantini
Grottammare (AP)

Docente Coordinatore

Gentili Federica

Gli studenti costruiscono un orologio ad acqua seguendo le leggi della dinamica dei fluidi, lo calibrano e ne testano il funzionamento; verificano la proporzionalità diretta tra tempo di deflusso e massa di acqua defluita, con strumenti tradizionali e moderni. Condividono con l'altro gruppo la misura del tempo di discesa lungo il piano inclinato con l'orologio ad acqua.

UN GRAMMO DI TEMPO

L'orologio ad acqua di Galileo

In questo lavoro si è realizzato un orologio ad acqua. Lo stesso è stato calibrato tramite strumento antico (clessidra) e moderni (cronometri digitali) ed è stato testato nella misura della caduta di un corpo lungo un piano inclinato (realizzato nel progetto parallelo a questo dal titolo "Massa volat, Tempus manet. Il carrellino di Galileo").

Dai dati emersi si evince che, a dispetto di un assetto rudimentale, l'orologio fornisce una stima di tempo soddisfacente.

1. INTRODUZIONE

In questo lavoro si vuole costruire e studiare un orologio ad acqua, uno strumento antico usato da Galileo Galilei per misurare il tempo prima dell'invenzione degli orologi meccanici e digitali. Questo tipo di strumento funziona grazie al deflusso costante dell'acqua attraverso un piccolo foro: più acqua esce, più tempo è passato; misurando la "quantità" d'acqua defluita si ottiene una stima temporale.

Al fine di ottenere un dispositivo che fornisca misure coerenti e ripetibili è necessaria inoltre una sua calibrazione, effettuata attraverso l'utilizzo di uno strumento tradizionale (clessidra a sabbia) e di uno moderno (cronometro digitale), pertanto si otterranno due stime del rapporto fra la massa dell'acqua e il tempo misurato in clessidre o in secondi.

Poiché l'obiettivo dell'esperimento è ottenere una misura costante nel tempo ci si attende che tale rapporto evidenzii una proporzionalità diretta tra le due grandezze considerate.

2. REALIZZAZIONE DELL'OROLOGIO

2.1. Materiali

- imbuto di caduta graduato (portata massima: 1 litro)
- tappo in silicone
- tubo di gomma (diametro=10,5 cm, lunghezza= 81,0 cm)
- vaschetta di raccolta
- asta rigida per sostenere il contenitore graduato
- collare vittoriano per gatto
- nastro isolante
- contenitore di raccolta cilindrico (diametro= 87,40 mm)
- filo di ferro

2.2. Strumenti

- bilancia 1 (portata 10000 g, sensibilità ± 1 g)
- bilancia 2 (portata 5000 g, sensibilità ± 1 g)
- bilancia 3 (portata 10000 g, sensibilità ± 1 g)
- cronometro dello smartphone (sensibilità 0,01s)
- clessidra per le misure dei tempi della calibrazione (portata 13,00 s $\div$ 14:00 s)

2.3. Apparato sperimentale

2.3.1. Prototipo 1



La prima idea progettuale prevedeva l'uso di un imbuto separatore (strumento in dotazione nel laboratorio di chimica costituito da un imbuto che termina con un cilindro sul quale è posto un rubinetto in vetro), un becher di raccolta e una asta di sostegno sulla quale era agganciato l'imbuto attraverso una pinza. L'imbuto riempito permette all'acqua di fuoriuscire con una portata che dipende dalla posizione della leva del rubinetto. L'idea esecutiva consisteva nel contare il numero di gocce raccolte nel becher misurando il tempo di uscita (unità di misura n°gocce/secondi). Dopo alcuni tentativi si è riscontrata la difficoltà di ottenere la stessa misura per ogni esperimento, in particolare il numero di gocce conteggiate nell'intervallo temporale variava ad ogni set di prove a causa della variazione della posizione del rubinetto. Pur cercando di mantenere la leva sempre con la stessa inclinazione si otteneva un risultato decisamente insoddisfacente riscontrato attraverso l'uso dei tempi calcolati dallo "slow motion" dei cellulari.

2.3.2. Prototipo 2



Dopo il primo tentativo fallimentare, la seconda idea progettuale consisteva nell'operare con lo stesso apparato ma lasciare defluire acqua con il rubinetto completamente aperto e misurare quindi il volume uscito. Si è ritenuto opportuno quindi semplicemente sostituire il becher di raccolta con un cilindro graduato (ml) per misurare il volume di acqua raccolta.

In questo caso, pur ipotizzando una discesa di acqua costante si riscontravano tempi di reazione di apertura del rubinetto eccessivamente lunghi rispetto al tempo totale di misura che influivano pesantemente sul risultato finale. Infine a causa dell'attrito fra i materiali costituenti il rubinetto (vetro satinato-vetro) e delle ripetute azioni di apertura e chiusura, la leva si è addirittura bloccata, perciò è stato necessario modificare l'apparato sperimentale.

2.3.3. Prototipo 3



Per la realizzazione del successivo prototipo, l'imbuto separatore è stato sostituito con un imbuto di caduta graduato. Quest'ultimo presenta una strozzatura terminale sigillata da un tappo in gomma forato. In questa configurazione, il controllo del flusso non avviene tramite rubinetto, ma manualmente: l'operatore gestisce l'apertura e la chiusura del foro con l'indice, con l'obiettivo di ridurre i tempi di reazione.

Per verificare l'efficacia dello strumento, è stata effettuata una fase di test misurando il tempo di svuotamento di un volume d'acqua predeterminato. E' stato misurato, così, il tempo di caduta di tutta l'acqua contenuta.

Tuttavia, l'analisi dei dati ha evidenziato che il volume erogato non è direttamente proporzionale al tempo di uscita.

Come approfondito nel paragrafo **"Discussione dati e conclusioni"**, tale discrepanza è causata dalla variazione dell'altezza del liquido sopra il foro di uscita. Alla luce di queste osservazioni, si è resa necessaria una ulteriore modifica strutturale al prototipo.

2.3.4. Prototipo 4

Come strumento definitivo si è utilizzato il prototipo 3 con le seguenti modifiche: si è aggiunto un tubo in gomma, le cui estremità sono state rispettivamente una collegata al rubinetto e l'altra immersa nell'imbuto graduato. Tale modifica consente di mantenere costante il livello dell'acqua. Alla base dell'imbuto è stato collocato un "collare vittoriano per gatti",



opportunamente adattato, con la funzione di convogliare all'esterno del recipiente di raccolta l'acqua in eccesso che fuoriesce dalla parte superiore dell'imbuto.

L'intero apparato è collocato all'interno di una bacinella di raccolta esterna, al fine di evitare la dispersione di liquidi nell'ambiente di laboratorio, come mostrato in figura.

A causa dell'aumento del diametro del foro e della presenza di un flusso continuo, si è reso necessario utilizzare un recipiente di raccolta più grande, non graduato. In teoria sarebbe stato possibile misurare il volume travasando l'acqua in un contenitore graduato più piccolo, effettuando più volte tale operazione e sommando i vari volumi misurati. Tuttavia, questo procedimento avrebbe introdotto un'incertezza maggiore, sia perché ogni misura comporta una propria incertezza, sia

perché durante i travasi si sarebbe potuta perdere una piccola quantità d'acqua. Per questo motivo si è scelto di misurare la massa dell'acqua utilizzando una bilancia, pesando il recipiente pieno e sottraendo la massa del recipiente vuoto. Questo metodo ha permesso di ottenere una misura più accurata, maggiormente affidabile e più rapida.

3. CALIBRAZIONE DELLO STRUMENTO, MISURE E RACCOLTA ANALISI DATI E DISCUSSIONI

Nella costruzione dell'orologio ad acqua si sono susseguite diverse fasi che comprendono misure, analisi, riflessioni e cambiamenti dei vari prototipi come già descritto nel paragrafo precedente.

TEST 1 (prototipo 3): misura del rapporto tra volume predeterminato e tempo.

Nella **tabella 1** sono riportati i dati relativi alla prova di misura del volume in funzione del tempo. Il volume è fissato al valore che si voleva testare (150 ml o 300 ml). Ci si aspettano tempi diversi nei 2 casi ma direttamente proporzionali al volume di uscita.

L'ultima colonna, che rappresenta il valore calcolato del rapporto fra volume e tempo, mostra chiaramente come, a parità di volume, si ottengano rapporti simili con un'incertezza sperimentale determinata dai tempi di reazione degli operatori; tuttavia, si riscontrano rapporti molto diversi nei due volumi.

Questo risultato consente di dedurre che la "velocità" di fuoriuscita dell'acqua aumenta all'aumentare del volume contenuto nel recipiente o, più precisamente, al crescere della colonna d'acqua sovrastante il foro d'uscita.

Questo comportamento dedotto sperimentalmente trova il suo fondamento in alcuni importanti principi della fisica dei fluidi. La legge di Stevino ($P = \rho gh$) afferma che la pressione all'interno di un liquido aumenta con la profondità, ossia che più è alta la colonna d'acqua al di sopra del foro d'uscita maggiore sarà la pressione esercitata su di esso. Di conseguenza la velocità di fuoriuscita del liquido dipende da questa altezza, quindi maggiore è l'altezza maggiore sarà la velocità di uscita proprio come spiegato nel teorema di Torricelli $\bar{v}_{uscita} = \sqrt{2g(h1 - h0)}$.

Tale teorema è conseguenza del principio di Bernoulli che esprime la conservazione dell'energia nei fluidi in movimento $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = costante$: l'energia potenziale gravitazionale dell'acqua, legata quindi alla sua altezza, si trasforma in energia cinetica durante l'uscita dell'acqua dal foro determinando così la velocità del fluido.

(Va sottolineato che il teorema di Torricelli e il principio di Bernoulli sono formulati per condizioni ideali, nelle quali si trascurano gli effetti dell'attrito interno del fluido e le turbolenze. Negli esperimenti effettuati queste condizioni non sono perfettamente realizzate, ma i risultati ottenuti mostrano comunque una concordanza con le previsioni teoriche, confermando la validità del modello.)

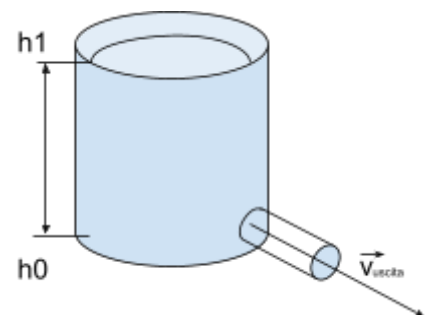


TABELLA 1 Test 1 Calibrazione orologio ad acqua

(V= volumi misurati; $t_1-t_2-t_3-t_4$ =tempi misurati; t_{medio} = valore medio; Δt = semidispersione massima, k = rapporto fra volume e tempo medio)

V (ml)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_{medio} (s)	Δt (s)	k (ml/s)
150	5,97	5,77	5,72	5,40	5,7	0,3	26,3
150	5,53	5,76	5,49	5,70	5,6	0,2	26,7
300	8,05	8,50	8,09	8,04	8,2	0,3	36,5
300	8,40	8,63	8,63	8,86	8,6	0,3	34,8

TEST 2 (prototipo 4)

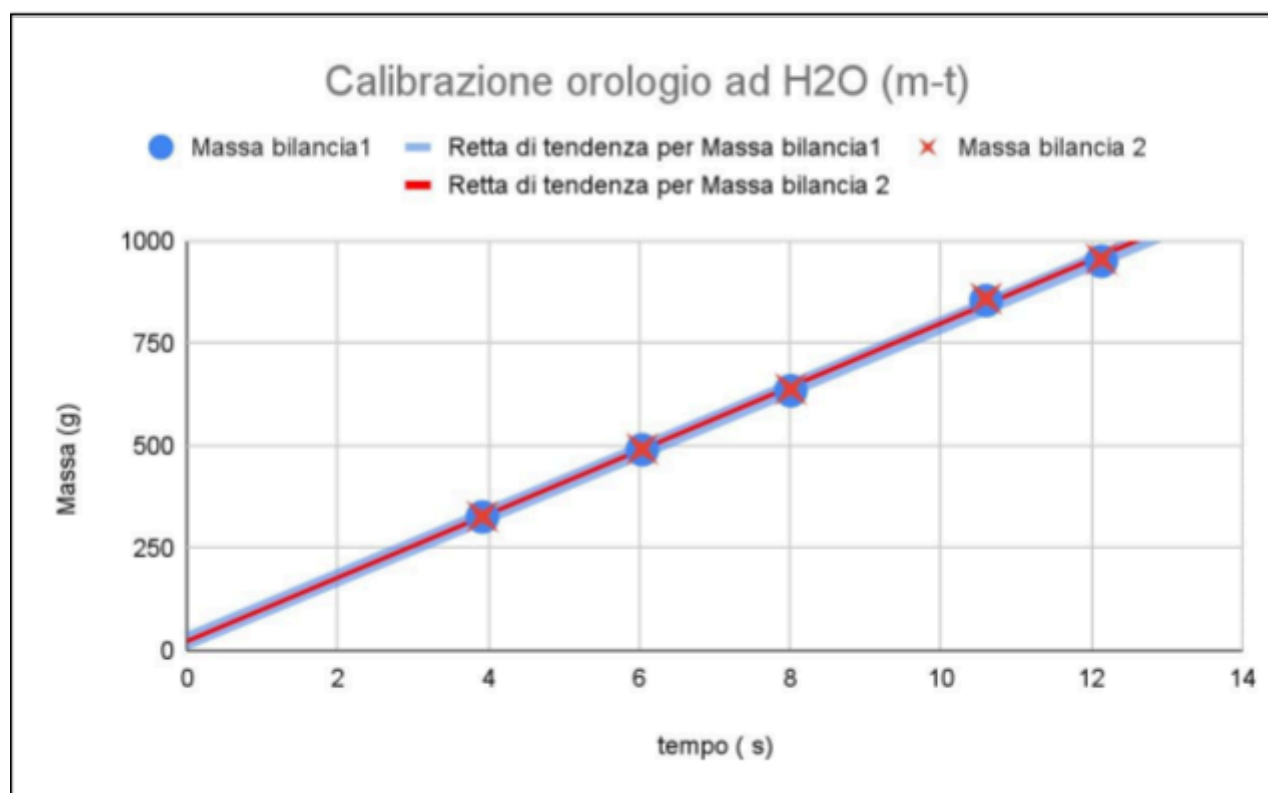
Per risolvere il problema della variazione di altezza si è pensato di far lavorare l'orologio mantenendo costante l'altezza del liquido come descritto nel paragrafo del prototipo numero 4. Nella **tabella 2** sono riportate le misure della massa dell'acqua raccolta, effettuate utilizzando due bilance diverse. Da ogni misura è stata sottratta la tara del contenitore, determinata in precedenza. I tempi di uscita dell'acqua sono stati invece misurati con quattro cronometri digitali di smartphone. Nelle ultime due colonne è riportato il rapporto tra la massa e il tempo medio, calcolato per ciascuna bilancia. Gli stessi risultati sono rappresentati anche nel grafico 1. Dal grafico si osserva che le due bilance forniscono dati tra loro compatibili. Inoltre, la massa dell'acqua aumenta in modo direttamente proporzionale al tempo. I coefficienti della retta k_1 e k_2 cioè i rapporti tra massa di H_2O e tempo espressi in g/s, risultano costanti entro l'errore sperimentale.

TABELLA 2 Test 2 Calibrazione orologio ad acqua

($t_1-t_2-t_3-t_4$ =tempi misurati; t_{medio} = valore medio; Δt = semidispersione massima, m_1-m_2 = masse d'acqua misurate, $k_1 - k_2$ = rapporti fra masse e tempo medio)

Misure	$t_1(s)$	$t_2(s)$	$t_3(s)$	$t_4(s)$	$t_{\text{medio}}(s)$	$\Delta t(s)$	$m_1(g)$	$m_2(g)$	$k_1(g/s)$	$k_2(g/s)$
1	10,58	10,58	10,23	11,01	10,6	0,4	854	859	81	81
2	5,96	6,06	6,05	6,10	6,04	0,07	490	492	81	82
3	8,13	8,05	7,94	7,95	8,01	0,1	634	638	79	80
4	12,06	12,10	12,12	12,26	12,13	0,1	950	955	78	79
5	4,14	3,99	3,68	3,87	3,92	0,2	326	327	83	83

GRAFICO 1 Test 2 Calibrazione orologio ad acqua



TEST 3 (prototipo 4)

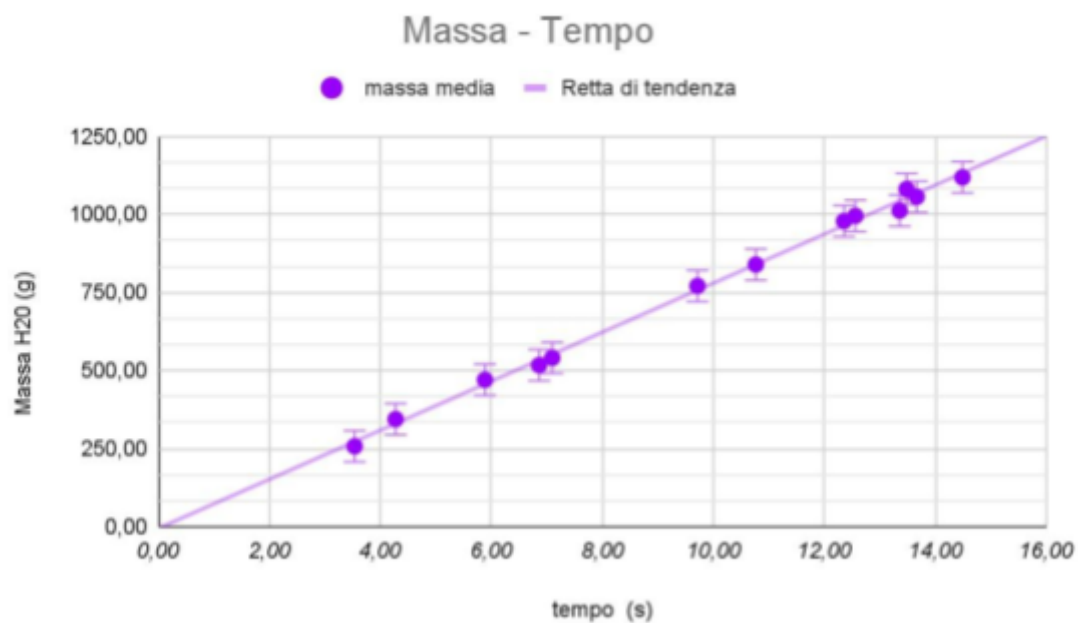
Per confermare i primi risultati ottenuti nella prova precedente è stato predisposto un altro set di misure. In questo caso sono stati utilizzati i valori medi delle masse misurate con tre bilance differenti. Questo consente di minimizzare l'errore sistematico, qualora fosse presente, in uno degli strumenti. La tara del contenitore dell'acqua raccolta, misurata dalle tre bilance, è riportata in **tabella 3**. Il **grafico 2** mostra che la massa è direttamente proporzionale al tempo misurato, tale proporzionalità è messa in evidenza dalla retta interpolatrice che mostra chiaramente l'andamento dei dati sperimentali. Il coefficiente angolare medio della retta risulta pari a (78 ± 4) g/s. Il valore 78 g/s rappresenta la media dei coefficienti angolari calcolati, mentre 4 g/s rappresenta la semidispersione massima, cioè l'incertezza associata alla misura ripetuta.

TABELLA 3 Test 3 Calibrazione orologio ad acqua

($t_1-t_2-t_3-t_4$ =tempi misurati; t_{medio} = valore medio dei tempi; Δt = semidispersione massima, $m_1-m_2-m_3$ = masse d'acqua misurate, m_{medio} = valore medio delle masse, k = rapporto fra massa medio e tempo medio)

Misure	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_{medio} (s)	Δt (s)	m_1 (g)	m_2 (g)	m_3 (g)	m_{media} (g)	Δm (g)	k (g/s)
1	3,55	3,58	2,98	4,04	3,54	0,5	265	256	251	257	7	72,74
2	4,29	4,30	4,25	4,26	4,28	0,02	352	342	339	344	7	80,55
3	5,95	5,78	5,87	5,94	5,89	0,09	480	468	463	470	9	79,92
4	6,85	6,76	6,86	6,97	6,86	0,1	526	514	511	517	8	75,36
5	7,04	7,05	7,10	7,20	7,10	0,08	550	537	535	541	8	76,18
6	/	9,71	9,58	9,85	9,71	0,1	782	767	764	771	9	79,38
7	10,87	10,81	10,41	10,97	10,77	0,3	851	835	832	839	10	77,97
8	12,16	12,21	12,48	12,56	12,35	0,2	992	972	972	979	10	79,23
9	12,52	12,76	12,50	12,45	12,56	0,2	1008	990	988	995	10	79,26
10	13,61	13,23	13,19	13,39	13,36	0,2	1025	1007	1004	1012	11	75,78
11	13,64	13,51	13,65	13,85	13,66	0,2	1069	1050	1050	1056	10	77,32
12	14,60	14,45	14,48	14,42	14,49	0,09	1131	1113	1112	1119	10	77,22
13	13,58	/	13,37	/	13,48	0,1	1088	1078	1078	1081	5	80,25

GRAFICO 2 Test 3 Calibrazione orologio ad acqua



TEST 4 (prototipo 4): calibrazione orologio ad acqua tramite cronometri digitali e clessidra

Per completare la calibrazione dell'orologio ad acqua sono state effettuate ulteriori misure utilizzando sia cronometri digitali sia una clessidra a sabbia, in modo da confrontare uno strumento moderno con uno strumento decisamente più storico, così come descritto nell'introduzione.

Ai risultati del test 3 sono state aggiunte delle prove effettuate contemporaneamente con la clessidra a sabbia e cronometri digitali. I dati ottenuti sono stati rappresentati nel **grafico 3** che mostra una regressione lineare fra la massa e il tempo. Nel confrontare i risultati ottenuti tramite 2 diversi strumenti matematici di calcolo (retta di regressione e retta di tendenza), si ottengono coefficienti angolari praticamente identici pari a 78 g/s.

Contestualmente, le stesse misure sono state effettuate utilizzando come unità di tempo la clessidra.

Nel **grafico 3** questo si vede chiaramente in corrispondenza degli intervalli tra i 13s e i 14s.

Il valore medio della massa d'acqua corrispondente ad una clessidra è risultato pari a (1055 ± 27) g/clessidra.

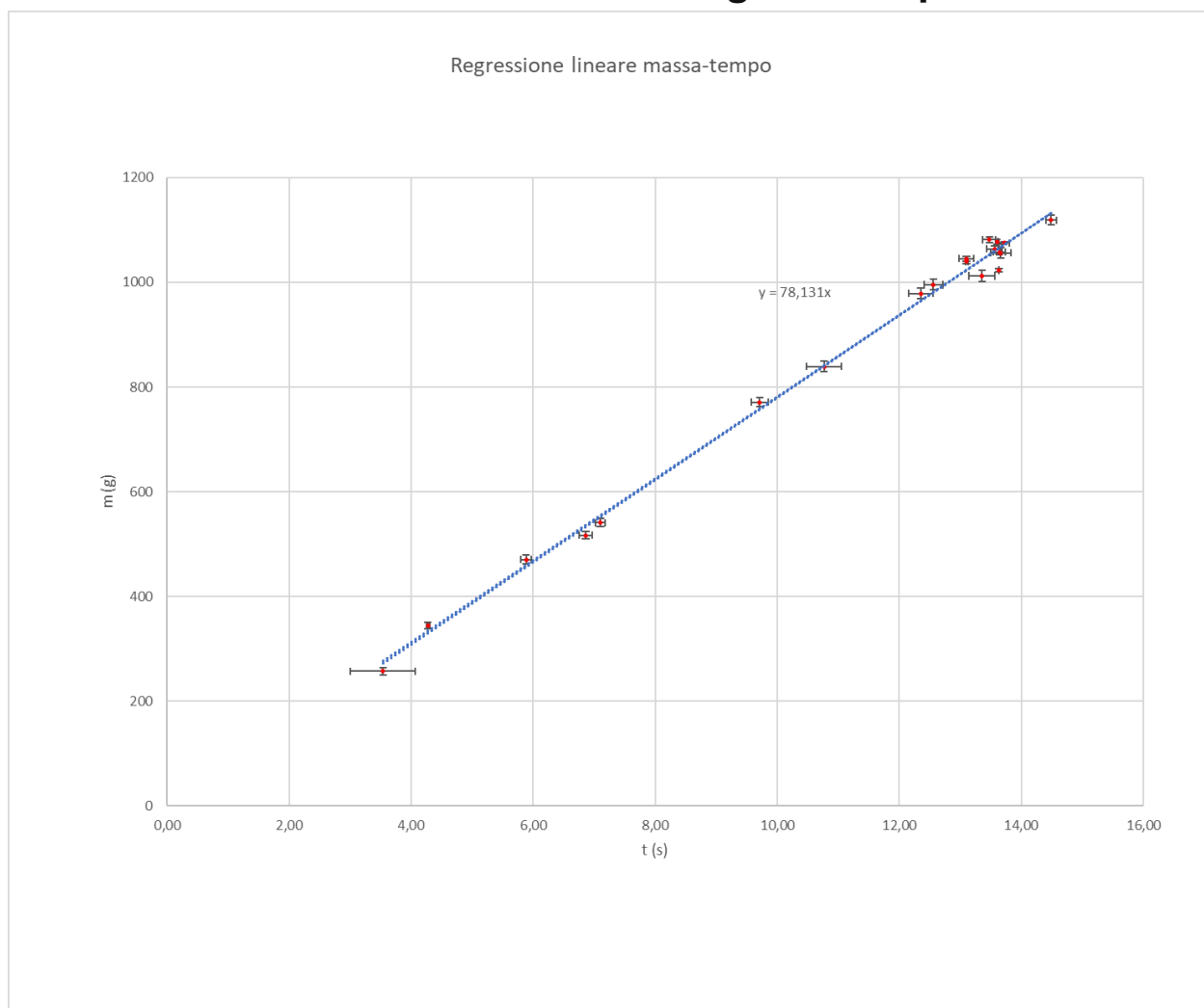
I risultati riportati in **tabella 4** dimostrano che l'orologio ad acqua, una volta calibrato, consente di misurare intervalli di tempo in modo affidabile e ripetibile. Inoltre, la corrispondenza tra la misura in secondi e quella in clessidre permette di stabilire un collegamento diretto tra le unità di tempo moderne e quelle utilizzate storicamente.

TABELLA 4 Test 4 Calibrazione orologio ad acqua

($t_1-t_2-t_3-t_4$ =tempi misurati; t_{medio} = valore medio dei tempi; Δt = semidispersione massima, $m_1-m_2-m_3$ = masse d'acqua misurate, m_{medio} = valore medio delle masse, k = rapporto fra massa media e tempo medio, k_{cl} = rapporto fra massa media e tempo medio)

Misure	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_{medio} (s)	Δt (s)	m_1 (g)	m_2 (g)	m_3 (g)	m_{media} (g)	Δm (g)	k (g/s)	k_{cl} (g/clessidra)
1	3,55	3,58	2,98	4,04	3,54	0,5	265	256	251	257	7	72,74	/
2	4,29	4,30	4,25	4,26	4,28	0,02	352	342	339	344	7	80,55	/
3	5,95	5,78	5,87	5,94	5,89	0,09	480	468	463	470	9	79,92	/
4	6,85	6,76	6,86	6,97	6,86	0,1	526	514	511	517	8	75,36	/
5	7,04	7,05	7,10	7,20	7,10	0,08	550	537	535	541	8	76,18	/
6	/	9,71	9,58	9,85	9,71	0,1	782	767	764	771	9	79,38	/
7	10,87	10,81	10,41	10,97	10,77	0,3	851	835	832	839	10	77,97	/
8	12,16	12,21	12,48	12,56	12,35	0,2	992	972	972	979	10	79,23	/
9	12,52	12,76	12,50	12,45	12,56	0,2	1008	990	988	995	10	79,26	/
10	13,61	13,23	13,19	13,39	13,36	0,2	1025	1007	1004	1012	11	75,78	/
11	13,64	13,51	13,65	13,85	13,66	0,2	1069	1050	1050	1056	10	77,32	/
12	14,60	14,45	14,48	14,42	14,49	0,09	1131	1113	1112	1119	10	77,22	/
13	13,58	/	13,37	/	13,48	0,1	1088	1078	1078	1081	5	80,25	/
14 (1 Clessidra)	13,63	/	/	13,63	13,63	0,0	1026	1020	1024	1023	3	75,08	1023
15 (1 Clessidra)	13,54	/	/	13,74	13,64	0,1	1063	1053	1057	1058	5	77,54	1058
16 (1 Clessidra)	13,43	/	/	13,69	13,56	0,1	1070	1057	1064	1064	7	78,44	1064
17 (1 Clessidra)	13,63	/	/	13,81	13,72	0,09	1075	1073	1078	1075	3	78,38	1075
18 (1 Clessidra)	12,98	/	/	13,22	13,10	0,1	1049	1040	1047	1045	5	79,80	1047
19 (1 Clessidra)	13,62	/	/	13,58	13,60	0,02	1081	1072	1079	1077	5	79,22	1077
20 (1 Clessidra)	13,12	/	/	13,08	13,10	0,02	1044	1035	1040	1040	5	79,36	1040

GRAFICO 3 Test 4 Calibrazione orologio ad acqua



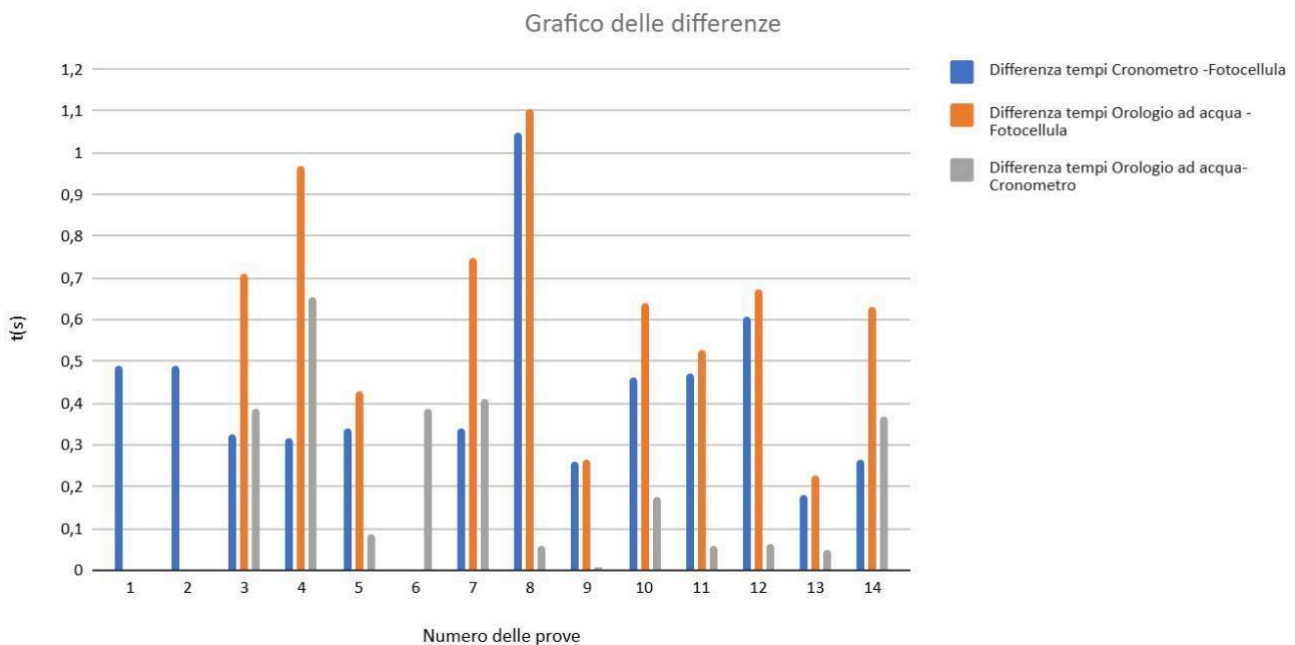
TEST 5 (prototipo 4): Test del carrellino

L'ultima prova di laboratorio è stata dedicata all'utilizzo dell'orologio ad acqua per misurare il tempo di discesa di un carrellino in legno lungo un piano inclinato realizzato nel progetto parallelo come già detto. L'obiettivo era verificare se l'orologio ad acqua potesse essere utilizzato come strumento affidabile per la misura del tempo.

Per effettuare le misure sono stati utilizzati l'orologio ad acqua, i cronometri digitali degli smartphone e sensori fotoelettrici della guidovia presente in laboratorio opportunamente posizionate lungo il piano inclinato. L'uso contemporaneo dei tre strumenti ha permesso di utilizzare i cronometri degli smartphone e i sensori fotoelettrici come strumenti di confronto, mentre l'orologio ad acqua ha permesso di determinare il tempo attraverso la misura della massa dell'acqua raccolta, come raccontato negli esperimenti precedenti.

Nel grafico 4 sono rappresentate le differenze tra i tempi misurati con i diversi strumenti. Si osserva che gli scarti risultano complessivamente contenuti, pur mostrando una certa dispersione dovuta agli errori sperimentali. In particolare, le differenze tra l'orologio ad acqua e gli strumenti digitali (cronometri e sensori fotoelettrici) rimangono generalmente limitate. Questo risultato conferma che l'orologio ad acqua, una volta calibrato, è in grado di fornire misure del tempo compatibili con quelle ottenute mediante strumenti elettronici, entro l'incertezza sperimentale e la leggera sovrastima sistematica rispetto il sensore della fotocellula quantifica l'errore di reazione umana.

GRAFICO 4 Test del carrellino



4. DISCUSSIONE DATI E CONCLUSIONI

L'obiettivo di progettare, costruire e calibrare un orologio ad acqua è frutto di un percorso sperimentale articolato caratterizzato dalla realizzazione di diversi prototipi e dalla raccolta sistematica di dati che ci hanno portato alla progressiva ottimizzazione e calibrazione dello strumento.

La calibrazione effettuata utilizzando cronometri digitali ha permesso di determinare una portata media pari a 78 g/s mentre quella effettuata utilizzando la clessidra a sabbia ha fornito un valore pari a 1055 g/clessidra. Questi risultati ottenuti, oltre a sottolineare la proporzionalità diretta tra la massa di acqua defluita e il tempo trascorso, sono fondamentali per poter utilizzare l'orologio come vero strumento di misura, (come descritto nel test 5).

Le difficoltà incontrate, nel corso delle prove, hanno permesso di comprendere meglio i fenomeni fisici che regolano il funzionamento dell'orologio ad acqua. In particolare il test 1 ha messo in evidenza come la velocità di uscita dell'acqua dal foro dipenda dall'altezza della colonna d'acqua sovrastante, in accordo con le Leggi di Stevino, Bernuolli e Torricelli. Inoltre, la difficoltà di riuscire a misurare il volume con gli strumenti di laboratorio ha portato a ripensare l'esperimento decidendo di utilizzare la massa in luogo del volume, riducendo così gli errori dovuti alla necessità di sommare diverse quantità di acqua raccolta.

L'analisi sul confronto delle misure dell'orologio ad acqua, dei cronometri digitali e del sensore fotoelettrico per misurare il tempo di discesa del carrellino lungo il piano inclinato del progetto parallelo, ha sottolineato che l'orologio costruito fornisce stime coerenti ma affette da una leggera sovrastima sistematica rispetto agli strumenti moderni.

Questo fatto si giustifica considerando la fotocellula come lo strumento che quantifica il tempo "vero" poiché elimina l'errore umano dei tempi di reazione dal quale sono invece affette le altre misure.

In aggiunta si può osservare che l'orologio ad acqua sovrastima ulteriormente, seppur leggermente, la misura dei cronometri. Questa caratteristica può essere conseguenza del fatto che durante la calibrazione i tempi di start e stop dell'orologio ad acqua e dei cronometri erano forniti dall'operatore che azionava l'orologio ad acqua mentre nell'esperimento di caduta del grave su piano inclinato gli stessi erano forniti dall'operatore sulla guidovia provocando un ulteriore ritardo.

Nonostante questi limiti, lo strumento realizzato risulta affidabile in quanto riproduce una risposta lineare tra massa d'acqua fuoriuscita e tempo trascorso.

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano tutti coloro che hanno partecipato in modo diretto e indiretto al progetto contribuendo attraverso un prezioso supporto teorico, pratico, tecnico e morale. Va un grazie particolare alle professoresse *omissis*, *omissis*, *omissis* e al professore *omissis*. Grazie anche alla dirigente scolastica professoressa *omissis* per l'opportunità di partecipare a questo progetto.

6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- https://it.wikipedia.org/wiki/Esperimento_di_Galileo_sulla_caduta_dei_gravi_dalla_torre_di_Pisa
- <https://www.studenti.it/pressione-nei-fluidi-propriet%C3%A0-principio-pascal-pressione-galleggiamento.html>
- <https://online.scuola.zanichelli.it/chimicafacile/files/2011/02/esp01.pdf> (Errori di misura)
- Libro "L'Amaldi.verde 1" di Ugo Amaldi Zanichelli
- Libro "Fisica 1" Douglas C. Giancoli, Ambrosiana Milano
- <https://www.youmath.it/lezioni/fisica/idrostatica-fluidodinamica/3237-pressione.html>

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. REALIZZAZIONE DELL'OROLOGIO	1
2.1. Materiali	1
2.2. Strumenti	1
2.3. Apparato sperimentale	2
2.3.1. Prototipo 1	2
2.3.2. Prototipo 2	2
2.3.3. Prototipo 3	3
2.3.4. Prototipo 4	4
3. CALIBRAZIONE DELLO STRUMENTO, MISURE E RACCOLTA ANALISI DATI E DISCUSSIONI	5
TEST 1 (prototipo 3): misura del rapporto tra volume predeterminato e tempo.	5
TEST 2 (prototipo 4)	6
TEST 3 (prototipo 4)	8
TEST 4 (prototipo 4): calibrazione orologio ad acqua tramite cronometri digitali e clessidra	10
TEST 5 (prototipo 4): Test del carrellino	13
4. DISCUSSIONE DATI E CONCLUSIONI	14
5. RINGRAZIAMENTI	15
6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	15
SOMMARIO	16

RELAZIONE DEL DOCENTE

Titolo del progetto: “Un grammo di tempo - L’orologio ad acqua di Galileo”

“Se mi dessi un grammo del tuo tempo ci costruirei un orologio ad acqua”.

Questa è la sintesi del progetto nel quale di “grammi di tempo” ne sono stati impiegati davvero tanti per realizzare l’impresa di ricreare e calibrare un orologio ad acqua.

La frase nell’aggettivo “tuo” racchiude anche la necessità e la volontà di collaborare e lavorare in gruppo, una competenza importante che i ragazzi hanno sperimentato nelle difficoltà di coordinamento delle attività di laboratorio e di scrittura ma anche nella condivisione di gioia nei momenti di riuscita dell’impresa.

Il progetto dell’orologio ad acqua è nato con l’intento di offrire agli studenti la possibilità di confrontarsi con il problema della misura del tempo, non attraverso l’utilizzo di strumenti preconfezionati ma mediante la progettazione, costruzione e calibrazione di uno strumento realizzato proprio da loro.

Sin dalle prime fasi sono sorti i primi problemi. Capire come riuscire a mantenere un flusso d’acqua regolare, da cosa veniva influenzata la velocità di uscita dell’acqua dal foro, poter minimizzare gli errori di misura il più possibile nonché la ricerca di materiali di umili origini. Questo ha portato i ragazzi ad interrogarsi non solo sul funzionamento della fisica dei fluidi ma anche sul significato stesso di misura, intesa non solo come risultato immediato ma come processo che richiede attenzione, verifica e controllo delle variabili che entrano in gioco.

Sicuramente uno dei momenti di maggior consapevolezza è stato quello della calibrazione dell’orologio ad acqua in quanto, la messa a confronto dei risultati ottenuti con i vari strumenti di misura del tempo, hanno permesso ai ragazzi di osservare che i valori ottenuti presentavano inevitabilmente una certa dispersione ponendo l’attenzione sul fatto che l’affidabilità di uno strumento risiede non nella coincidenza dei risultati ma nella loro complessiva coerenza.

Un altro passaggio importante è stato quando gli studenti hanno potuto constatare che l’orologio da loro realizzato poteva essere effettivamente utilizzato come strumento di misura, nel caso specifico per il tempo di discesa di un carrellino lungo un piano inclinato, lavoro presentato nella tesina “Massa volat, Tempus manet. Il carrellino di Galileo” da un altro gruppo di studenti che hanno collaborato attivamente interagendo nei due progetti. Hanno, così, capito che uno strumento acquisisce significato solo dopo un vero processo di verifica sperimentale.

Accompagnare gli studenti in questo percorso di sperimentazione scientifica, lasciar loro lo spazio di raccogliere ed interpretare i dati, sbagliare e riprovare, scoprire leggi fisiche da loro non conosciute, è stato particolarmente formativo. Attraverso l’esperienza diretta hanno potuto avvicinarsi al metodo sperimentale riconoscendo l’importanza dell’osservazione, della verifica e del confronto critico tra i risultati.