

Docenti e studenti a confronto su:

LO STUDIO DELL' ARIA E DEI FENOMENI ATMOSFERICI

Osservare e sperimentare nella scienza.

Firenze, 19-20 aprile 2023

Menzioni d'onore

SEZIONE TESINE TRIENNIO

CADENDO CON LA PIOGGIA

Studenti

Bergamaschi Riccardo - Eneide Alfredo - Montaresi Luca - Rossi Pietro Giovanni

Classi 4D – 5C

Istituto di Istruzione Superiore
Liceo Scientifico Ulivi
Parma

Docente Coordinatore
Bisi Elisabetta

Gli studenti hanno studiato la forma delle gocce di pioggia. Ampia e corretta l'introduzione teorica. Originale e accurato è stato il dispositivo sperimentale per la misura della forma delle gocce d'acqua in caduta, ottenuta sottoponendo le gocce a una corrente d'aria ascendente e fotografandole con uno smartphone. Si è evidenziato il passaggio da una forma sferica a una ellissoidale con l'aumento della dimensione delle gocce. Gli studenti hanno poi studiato la relazione fra massa delle gocce e la loro dimensione.

SCIENZA FIRENZE 2022-

sezione Triennio

Relazione Docente

Vista l'esperienza positiva degli scorsi anni, gli studenti hanno chiesto di partecipare nuovamente all'iniziativa: infatti tre degli studenti del gruppo hanno già partecipato alle edizioni degli ultimi due anni.

L'idea del tema da trattare è scaturita dagli studenti stessi che hanno trovato spunto nei materiali forniti dal sito del concorso e da alcune curiosità nate dall'osservazione dei fenomeni atmosferici.

Gli studenti hanno lavorato in maniera autonoma in tutte le fasi della preparazione, il mio intervento è stato solo quello di dare una supervisione finale ma senza intervenire in merito ai contenuti e all'analisi dei dati.

La fase di progettazione dell'apparato per eseguire le misure è stata piuttosto laboriosa: è stato necessario eseguire varie prove per arrivare alla struttura finale, in modo che questa potesse portare ad ottenere l'effetto richiesto. Per eseguire le prove abbiamo utilizzato il laboratorio di Fisica del nostro Istituto, mentre per la costruzione dell'apparato sono stati utilizzati materiali di uso comune.

Come gli, sono stata molto colpita sia dall'entusiasmo, sia dalla serietà e autonomia che gli studenti hanno dimostrato nello svolgere il loro lavoro, dimostrando di aver compreso e assimilato lo spirito dell'iniziativa.

Come ho detto prima, la realizzazione dell'esperienza e la struttura definitiva dell'apparato per la misura hanno avuto bisogno di vari tentativi, e mi ha fatto molto piacere notare come, nonostante il fallimento delle prime prove, gli studenti non si sono persi d'animo: ad ogni fallimento hanno ripreso in mano il modello teorico, rifatto i calcoli tenendo conto dei vari intoppi e modificato l'apparato e la procedura di misura per poi arrivare finalmente al risultato finale.

CADENDO CON



LA PIOGGIA

ScienzaFirenze 2023

SOMMARIO

Introduzione.....	2
Quale momento scegliere.....	2
Due rapidi calcoli.....	2
Relatività galileiana.....	2
Flussi laminari e turbolenti.....	3
Tra disegni e prototipi.....	3
Progettazione.....	4
Apparato sperimentale.....	5
Gocce di pioggia.....	6
Alla ricerca di relazioni tra masse e lunghezze.....	7
Errori sperimentali.....	9
Conclusioni.....	9
Sitografia.....	10

0.0 Introduzione



Che forma hanno le gocce di pioggia? Sono forse delle piccole sfere? Oppure si presentano nella classica forma a lacrima? In un primo momento, la risposta a queste domande potrebbe apparirci immediata: chiunque deve aver visto piovere almeno una volta!...

Soffermiamoci però a riflettere per qualche istante: pensandoci bene, ciò che vediamo è sempre la pioggia nel suo insieme, non ci soffermiamo mai sulle singole gocce. D'altro canto non possiamo rimproverarci: i nostri occhi non sono in grado di trarre un'immagine definita di oggetti così piccoli e veloci, per farlo è necessario l'utilizzo di particolari apparecchiature.

In questo esperimento tenteremo quindi osservare la forma assunta dalle gocce di pioggia.

1.1 Quale momento scegliere?

Cominciamo definendo meglio cosa vogliamo osservare e a porci le prime domande: in quale istante della caduta vogliamo osservare la forma della goccia? Durante la fase di accelerazione dopo il distacco della nuvola? Nella fase a velocità costante prima di toccare il suolo? Oppure durante la rottura della goccia a contatto con il terreno?

Considerate le tre alternative possibili appare chiaro come quella in cui la goccia di pioggia trascorre la maggior parte del tempo sia la seconda. Per questo motivo, in questo esperimento concentreremo la nostra attenzione sulla fase della caduta in cui le gocce viaggiano a velocità costante o, per meglio dire, viaggiano alla velocità di regime.

1.2 Due rapidi calcoli

Si definisce velocità di regime la velocità che un corpo in movimento in un fluido acquista quando la forza a cui è soggetto è uguale e opposta alla forza di attrito viscoso esercitata dal fluido. Nel nostro caso, la goccia si muoverà a velocità costante dal momento in cui la forza d'attrito dovuta all'aria uguaglia la forza peso:

$$(\text{forza peso}) - (\text{forza d'attrito viscoso}) = 0$$

Che in termini matematici si traduce come:

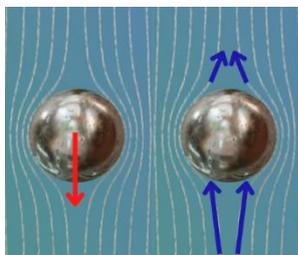
$$P - F = 0 \quad \text{e quindi} \quad mg - \frac{1}{2}c\rho Av^2 = 0$$

Dove m è la massa dell'oggetto, c è il coefficiente di resistenza aerodinamica (che tiene conto della resistenza di attrito e della resistenza di forma), ρ è la densità dell'aria, A è la sezione dell'oggetto e v è la sua velocità. Risolvendo infine per v si ottiene:

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{cA\rho}}$$

Sostituendo i dati forniti da internet, si ottiene che mentre le gocce più piccole (diametro di mezzo millimetro) cadono alla velocità di 7,2 km/h, quelle più grandi (fino a 6 millimetri) arrivano anche a 28,8 km/h.

1.3 Relatività galileiana



Nonostante le velocità in gioco non siano poi così elevate, la dimensione ridotta delle goccioline (dell'ordine di pochi millimetri) crea un problema per gli smartphone con cui compiremo l'osservazione, i quali non sarebbero in grado di restituire un'immagine abbastanza chiara. Per nostra fortuna però, a giungere in nostro soccorso è il principio di relatività galileiana, il quale afferma che nessun esperimento di meccanica può consentirci di distinguere due sistemi di riferimento in moto rettilineo uniforme fra loro (sistemi inerziali).

Quando la goccia cade alla velocità di regime non subisce delle accelerazioni, quindi il sistema di riferimento solidale ad essa è inerziale. In altre parole, mentre noi, che supponiamo essere a nostra volta in un sistema di riferimento inerziale) vediamo la goccia cadere attraverso l'aria a velocità v , la goccia vede l'aria nei suoi dintorni muoversi alla stessa velocità. Per il principio appena citato, queste due situazioni sono esattamente equivalenti, e

da ciò segue che non ci sia alcuna differenza tra il far cadere la goccia attraverso l'aria e il far "cadere" l'aria verso la goccia, ovvero a sospendere quest'ultima mediante un getto d'aria.



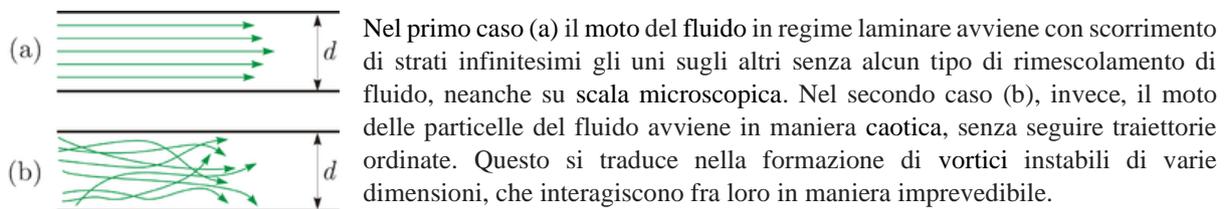
Un momento... 7,2 km/h non è una velocità molto alta: sono solo 2 m/s! Che bisogno c'è di ricorrere a questo metodo quando basterebbe semplicemente lasciar cadere le goccioline da un balcone abbastanza alto? Anche un normale smartphone dovrebbe essere in grado di restituire un'immagine sufficientemente chiara...



Effettivamente le gocce più piccole non hanno una velocità di regime elevata, quindi si potrebbe pensare di procedere in maniera più "diretta". Ci stiamo però dimenticando di un altro importante fattore: la tensione superficiale. Quest'ultima è definita come la tensione meccanica di coesione delle particelle sulla superficie esterna di un fluido. Essa si oppone all'aumento della superficie libera di quest'ultimo. Nelle goccioline più piccole la tensione superficiale gioca un ruolo molto importante, tanto da fare in modo che queste rimangano delle sfere quasi perfette anche durante la caduta. Gli effetti più interessanti si hanno nelle gocce più grandi (e quindi più veloci), dove il peso, l'attrito e la tensione superficiale se la giocano ad armi pari.

1.4 Flussi laminari e turbolenti.

Poiché l'esperimento coinvolgerà dell'aria in movimento, riteniamo necessario richiamare, prima di parlare dell'apparato sperimentale, il concetto di flusso laminare e di flusso turbolento:



Nel primo caso (a) il moto del fluido in regime laminare avviene con scorrimento di strati infinitesimi gli uni sugli altri senza alcun tipo di rimescolamento di fluido, neanche su scala microscopica. Nel secondo caso (b), invece, il moto delle particelle del fluido avviene in maniera caotica, senza seguire traiettorie ordinate. Questo si traduce nella formazione di vortici instabili di varie dimensioni, che interagiscono fra loro in maniera imprevedibile.

Per valutare se il flusso di scorrimento di un fluido è in un regime laminare o in un regime turbolento si utilizza il numero di Reynolds, un numero adimensionale definito come:

$$Re = \frac{uL}{\nu}$$

Dove u è la velocità del flusso locale, L è una lunghezza caratteristica del fenomeno considerato (ad esempio nel caso del moto di un fluido in una tubazione corrisponde al diametro del tubo) e ν è la diffusività cinematica, ovvero una misura della resistenza a scorrere di una corrente fluida sotto l'influenza della gravità.

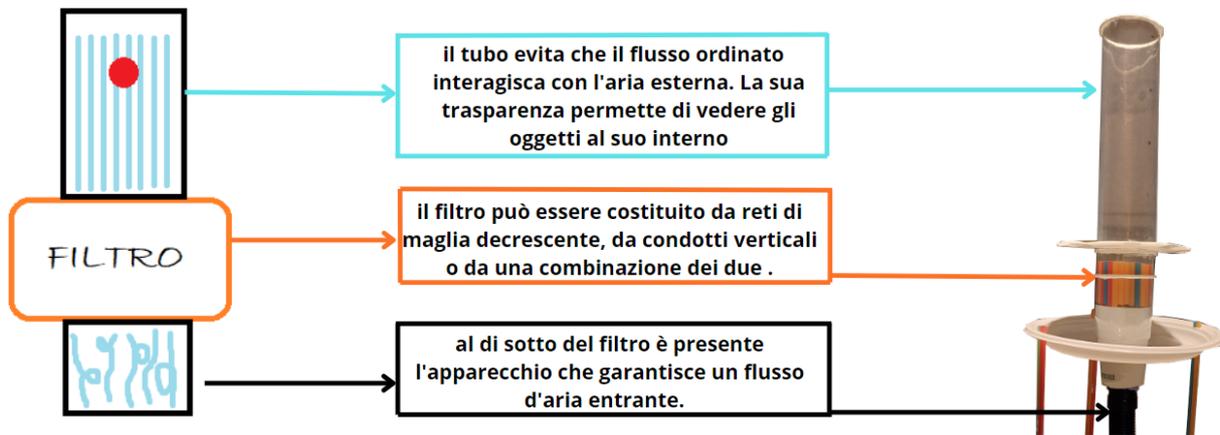
Maggiore è il numero di Reynolds (quindi nelle situazioni in cui u e L assumono valori elevati) maggiore è la turbolenza che si verifica all'interno del flusso.

2.1 Tra disegni e prototipi.

Ora che abbiamo introdotto le conoscenze teoriche, possiamo incominciare a discutere l'idea dietro l'apparato sperimentale e, seppur brevemente, il prototipo da noi costruito, andandoci poi a concentrare maggiormente sulla versione finale (che utilizzeremo per l'esperimento).

Per quanto riguarda il concetto base, se l'obiettivo è tenere sospesa una goccia d'acqua il più a lungo possibile, non è sufficiente indirizzare un flusso d'aria verso l'oggetto da sospendere (a meno che il flusso stesso non sia di portata considerevole) in quanto le turbolenze all'interno del flusso stesso tenderebbero a spingere la goccia in direzioni casuali. Allo scopo di limitare questi effetti è necessario inserire, tra l'apparecchio che fornisce il flusso e l'oggetto da sospendere, un filtro che "riordini" il più possibile il volume d'aria entrante.

Di seguito è quindi riportato un disegno schematico delle parti che compongono l'apparato (sulla sinistra) e un'immagine del prototipo da noi costruito (sulla destra).



Come si può notare dalla foto, il prototipo è stato costruito con l'idea di limitare il più possibile il valore del numero di Reynolds che, come già detto, è direttamente proporzionale al raggio del tubo e alla velocità dell'aria in esso. Per quanto riguarda le caratteristiche costruttive, il tubo non è altro che un foglio trasparente ripiegato su sé stesso, il filtro è una combinazione di condotti (realizzati con un sistema di cannuce tagliate e affiancate verticalmente) e di una rete (ricavata da un colino), il flusso d'aria entrante è prodotto da un'aspirapolvere. Data la sezione ridotta del tubo, è stato possibile applicare dei piccoli fori che permettessero di inserire lateralmente (e non solo dall'alto) le gocce d'acqua mediante l'ago di una siringa.

Il prototipo presentava vari problemi, il principale era la sezione del tubo: le goccioline venivano infatti velocemente spinte verso la parete, e poiché questa era molto vicina al punto in cui le gocce venivano inserite, non era possibile l'osservazione. Alla luce di questo, cosa possiamo imparare dal prototipo?



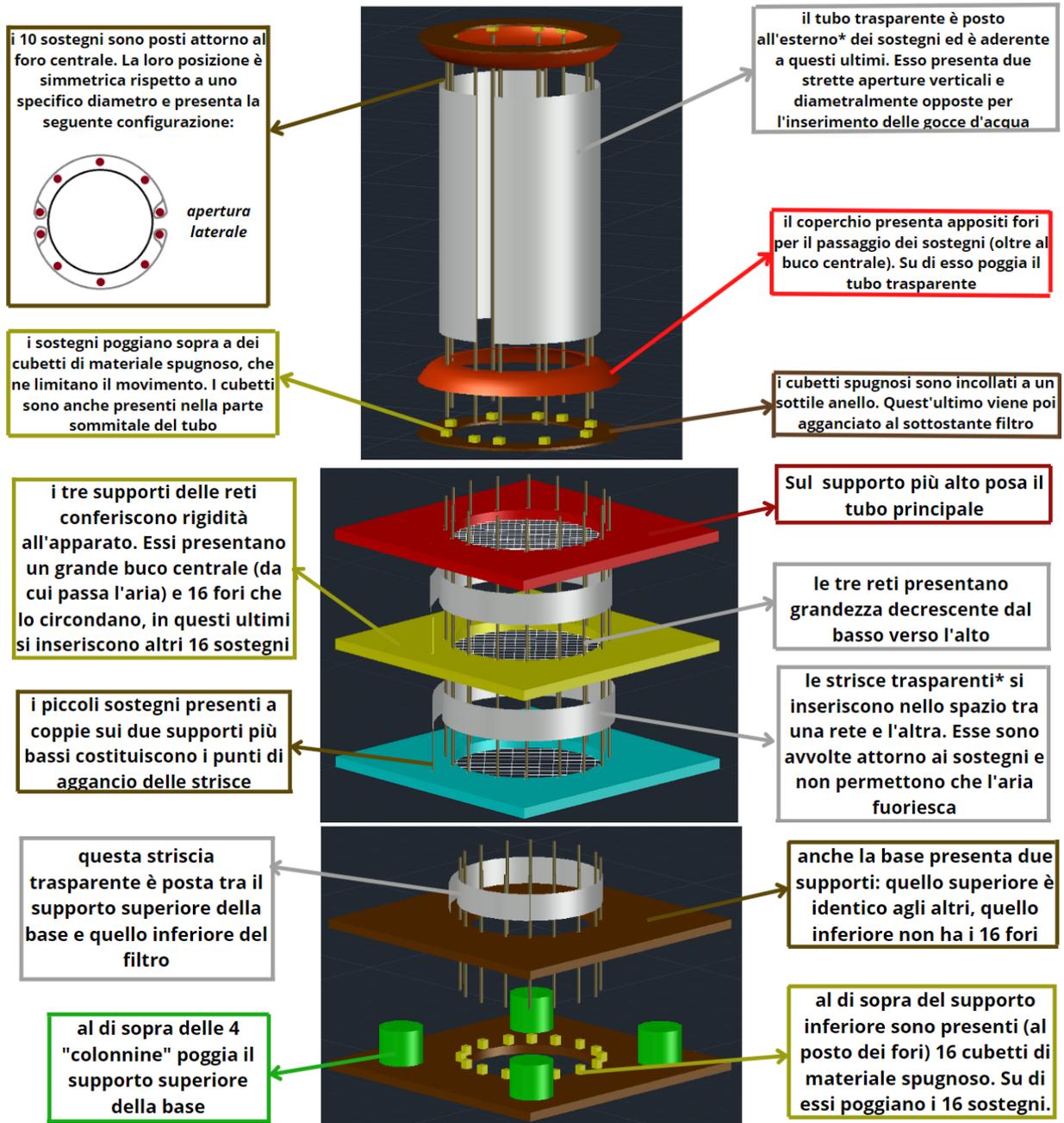
Aumentare la sezione del tubo e la velocità dell'aria risulta in un incremento nel valore del numero di Reynolds, che a sua volta comporta un aumento della turbolenza. Se l'osservazione può avvenire in modo soddisfacente nonostante l'aumento di Re , perché tentare di costruire l'apparato in modo da minimizzarlo? Perché non è stato direttamente costruito uno strumento caratterizzato dagli accorgimenti appena elencati? Se il numero di Reynolds non ha alcun peso nelle scelte fatte, perché anche solo menzionarlo?



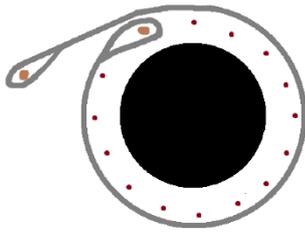
Il numero di Reynolds gioca invece un ruolo essenziale. Consideriamo due fatti: 1) la caratteristica fondamentale del flusso turbolento è la sua imprevedibilità; 2) la caratteristica fondamentale di un esperimento è che esso sia ripetibile. Basta poco per rendersi conto che le due cose entrano in conflitto: maggiore è la turbolenza, meno ripetibile diventa l'esperimento. In altri termini, all'aumentare di Re ogni prova diventa sensibilmente diversa da ogni altra, ogni osservazione diventa assolutamente singolare e irripetibile.

2.2 Progettazione

Grazie a ciò che abbiamo imparato dal prototipo possiamo ora progettare un nuovo apparato che abbia in sé le caratteristiche e gli accorgimenti sopra elencati. Di seguito è riportata una breve descrizione delle tre parti principali dell'apparato sperimentale: rispettivamente il tubo, il filtro e la base. I modelli tridimensionali sono stati realizzati attraverso il programma Autocad, mentre per i disegni è stato utilizzato Paint.



**(1) Poiché l'aria all'interno del tubo è più veloce di quella esterna, per il teorema di Bernoulli essa si trova anche a una pressione minore; l'aria esterna tende perciò a schiacciare il tubo. I 10 sostegni fungono quindi da "barriera" che impedisce al tubo di piegarsi verso l'interno.*



*(2) A sinistra è riportata una visione dall'alto delle strisce trasparenti inserite tra i supporti. Come si può notare dal disegno, le strisce presentano una maniglia di appiglio a ciascun estremo. Esse vengono agganciate ai piccoli sostegni. Si specifica che le strisce sono aderenti ai sostegni in quanto risultano in tensione. Le stesse maniglie sono presenti sul tubo principale e si agganciano ai sostegni a lato delle aperture laterali.

La seguente tabella riporta le grandezze che caratterizzano l'apparato sperimentale:

Elemento dell'apparato	Misura
Diametro buco centrale	$(20,0 \pm 0,1)$ cm
Diametro anello (interno)	$(23,0 \pm 0,1)$ cm
Diametro tubo principale	$(26,0 \pm 0,1)$ cm
Larghezza delle fessure laterali (media)	$(42,70 \pm 0,05)$ mm
Distanza tra le reti/larghezza delle strisce	$(3,0 \pm 0,1)$ cm
Maglia della rete inferiore (meno fitta)	$(11,30 \pm 0,05)$ mm
Maglia della rete centrale	$(5,20 \pm 0,05)$ mm
Maglia della rete superiore (più fitta)	$(2,00 \pm 0,05)$ mm



(1) 3 cm? 20 cm? Da dove arriva la scelta di queste dimensioni? Come facciamo a sapere che esse sono le più adatte? (2) Come sappiamo che 3 reti sono abbastanza per riordinare in maniera sufficiente il flusso d'aria entrante?

La risposta a entrambe le domande è molto semplice: non lo sappiamo! Il trucco sta nell'aver progettato l'apparato in maniera tale da essere facilmente modificabile: il fatto che i sostegni siano solamente infilati negli appositi fori dei supporti permette di cambiare facilmente alcune caratteristiche come il numero di reti e la loro distanza. Procederemo per tentativi, dopotutto è pur sempre un esperimento!

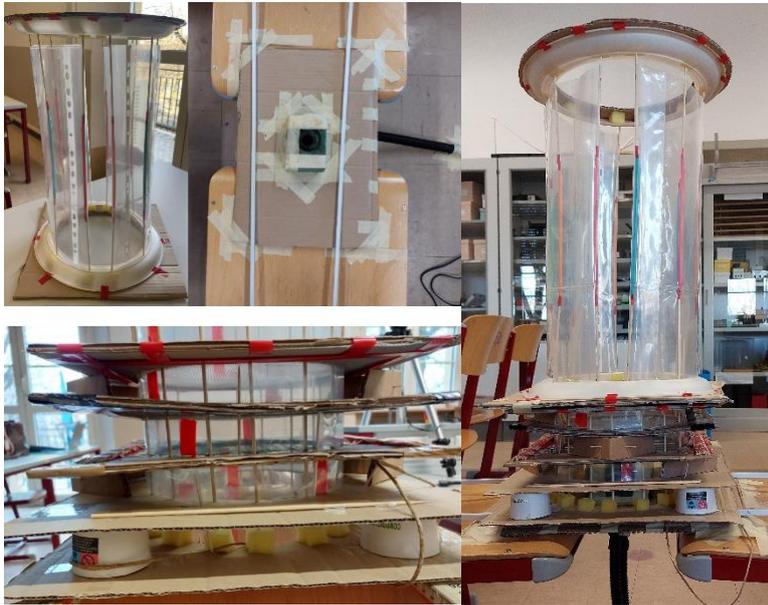
2.3 L'apparato sperimentale

Arrivati a questo punto riteniamo sia il momento di costruire il vero e proprio apparato sperimentale. Riferendoci alle varie parti della struttura descritta in precedenza, ecco riportati i materiali utilizzati per realizzare ciascuna di esse.

Nel progetto	Materiali usati per la realizzazione
Supporti della struttura	Cartone da scatola
Anello	
Tubo principale	Buste di plastica trasparenti per quaderni ad anelli, dimensione A4
Strisce trasparenti	
Sostegni del tubo	2 stecchi in legno per spiedini allineati grazie a una cannuccia.
Sostegni del filtro e della base	Stecchi in legno per spiedini
Sostegni delle strisce trasparenti	Stuzzicadenti
Coperchi nel tubo	Piatti di carta ritagliati (di grandi dimensioni)
Cubetti	Spugna per piatti
Colonnine	Fondo di bicchieri di carta
Reti inferiori	Reti da recinto
Rete superiore (più fitta)	Zanzariera

Altri materiali utili: scotch (utilizzato per costruire il tubo e le strisce), colla vinavil e puntine da disegno (usati per incollare le reti ai supporti).

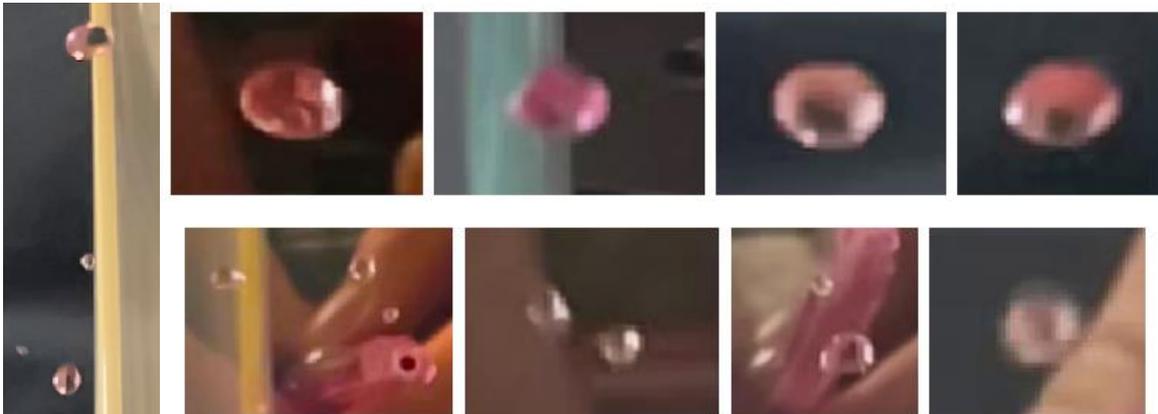
Ecco quindi il nostro apparato sperimentale pronto per essere utilizzato:



Come si può notare, alla base dell'apparato è presente l'aspirapolvere direzionato verticalmente e infilato in un blocchetto di schiuma fenolica per composizioni floreali (che lo mantiene in posizione), a sua volta fissato a un supporto di cartone. L'apparato sperimentale nel suo insieme è adagiato sopra a due sedie.

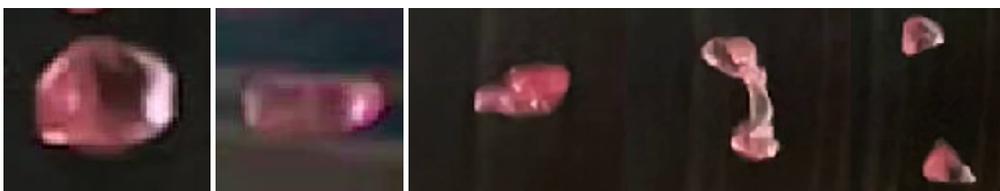
3.1 Gocce di pioggia.

Prima di tentare di raccogliere dei dati, riteniamo opportuno verificare anzitutto che l'apparato funzioni. Per farlo seguiremo la prima parte della procedura per la raccolta dati descritta nel paragrafo successivo. In questa sezione ci limiteremo invece a osservare la forma "delle gocce di pioggia" ottenute nelle varie prove. Si specifica che il colore rosso delle gocce è stato ottenuto mediante un colorante alimentare e serve per aumentarne la visibilità.

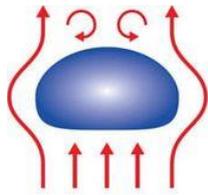


↑ Nella fila in alto sono presenti le gocce più grandi, mentre in quella in basso ci sono le gocce più piccole. Nell'immagine a sinistra è fotografata una situazione in cui sono presenti entrambi i tipi.

↓ Qui in basso è riportata la rottura di una goccia troppo grande per sostenere la pressione aerodinamica. Non sono state osservate gocce dal diametro superiore a 6,5 mm.

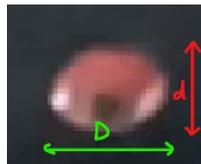


Come ci aspettavamo, a causa dell'azione della tensione superficiale le gocce più piccole tendono a mantenere una forma sferica. Per le gocce più grandi si può invece osservare che:



più la dimensione di una goccia di pioggia aumenta, più la sua forma differisce da quella di una sfera. Come si nota dalle immagini, le gocce più grandi hanno una forma diversa sia dalla sfera che dalla classica "lacrima". Esse si presentano piuttosto con una forma ellissoidale, quasi fossero piccole ciambelle o pagnotte, e con la parte rivolta verso il terreno pressoché piatta. Quest'ultima caratteristica è in particolare causata dalla pressione esercitata dall'aria incidente durante la caduta, la quale "avvolge tutto il volume della goccia.

3.2 Alla ricerca di relazioni tra masse e lunghezze.



Dopo averne osservato la forma, in questa ultima sezione cercheremo di capire se esiste una relazione tra la massa, il diametro maggiore e il diametro minore delle gocce. La prima cosa da fare è quindi misurare queste quantità. Per la raccolta dei dati è stata seguita la procedura riportata qui sotto:

1. Riempire la pipetta con la maggior quantità di acqua possibile, tentando di evitare la formazione di bolle d'aria in prossimità della punta. Successivamente misurarne la massa.
2. Inserire orizzontalmente la pipetta in una delle due aperture.
3. Disporre il primo smartphone in prossimità dell'apertura opposta a quella della pipetta e all'altezza di quest'ultima. Disporre il secondo smartphone in maniera tale da fare un video dall'alto.
4. Accendere l'aspirapolvere (è consigliabile che all'inizio sia impostato sulla potenza minima) e avviare i due video.
5. Rilasciare in maniera controllata le goccioline (il numero dipende dalla sensibilità della bilancia in uso). Poiché il rilascio deve avvenire all'altezza in cui la velocità dell'aria è simile alla velocità di regime, potrebbe essere necessario qualche tentativo preliminare. Nel caso in cui le goccioline tendano a rimanere attaccate alla pipetta a causa della tensione superficiale, è consigliabile imprimere manualmente una piccola vibrazione alla pipetta stessa.
6. Dopo aver rilasciato un numero sufficiente di gocce, spegnere l'aspirapolvere e ripesare la pipetta.
7. Ripetere le operazioni precedenti.

Come è possibile intuire, la massa delle singole goccioline sarà data dal rapporto tra la differenza di massa della pipetta e il numero di gocce rilasciate durante l'esperimento (ricavabile dai video).

La misura dei diametri è leggermente più laboriosa: dovendo misurare una lunghezza a partire da un video, è necessario un oggetto di riferimento (di lunghezza nota) che sia vicino al corpo da misurare. L'unico oggetto vicino alle goccioline è la pipetta, e in particolare la punta di quest'ultima. Attraverso il software Tracker confronteremo le dimensioni delle goccioline in prossimità della punta della pipetta con in diametro esterno di quest'ultima [$d = (3,00 \pm 0,05)$ mm]. Il video dall'alto serve appunto a controllare quali gocce soddisfano questo requisito.



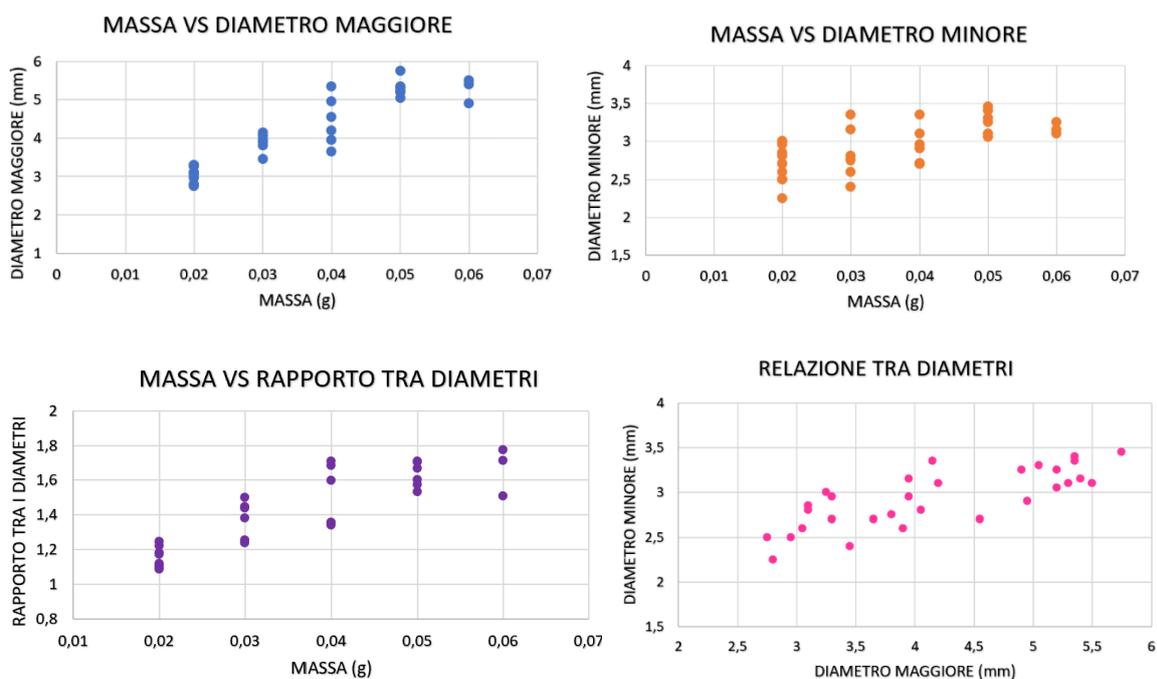
Dividere la variazione di massa della pipetta per il numero di gocce significa assumere che queste siano tutte identiche tra loro. Questa assunzione è tuttavia errata e dall'immagine precedente questo risulta evidente. L'approssimazione per cui le gocce avrebbero la stessa massa non incide eccessivamente sulla validità dei risultati?

Effettivamente un'approssimazione di questo tipo comprometterebbe grandemente le misure effettuate. Per tentare di diminuirne il "peso" non conteremo "quante gocce" fuoriescono dalla pipetta, bensì quante gocce di "una certa specie" vengono rilasciate. Distinguiamo tre tipi di gocce basandoci sul loro diametro maggiore: le gocce piccole ($d = 3\text{mm}$), le medie ($d = 4\text{mm}$) e le grandi ($d = 5\text{mm}$). Approssimandole a delle sfere possiamo assumere che, in termini di massa, una goccia grande valga circa come 2 medie e come 5 piccole. A seconda del tipo di gocce che si presenta maggiormente in un video, decideremo la specie in base a cui avverrà il conteggio.

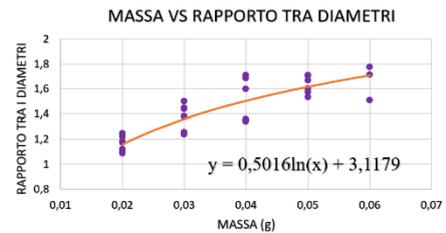
Nella seguente tabella sono quindi riportati: il valore iniziale e finale della massa della pipetta, il numero delle gocce rilasciate e la loro massa media, la misura dei due diametri. I colori evidenziano la specie di gocce considerata: verde, giallo e rosso rappresentano rispettivamente piccolo, medio e grande.

#	Massa iniziale ($\pm 0,1$ g)	Massa finale ($\pm 0,1$ g)	N	Massa media ($\pm 0,01$ g)	Diametro maggiore ($\pm 0,05$ mm)	Diametro minore ($\pm 0,05$ mm)
7	8,4	8,0	7	0,06	5,50 5,40 4,90	3,10 3,15 3,25
9	7,6	7,1	10	0,05	5,30 5,05 5,20	3,10 3,30 3,25
10	8,1	7,5	35	0,02	3,10 2,75 3,30	2,85 2,50 2,95
11	8,8	8,1	16	0,04	3,95 3,65 4,20	2,95 2,70 3,10
12	8,8	7,8	48	0,02	3,05 3,30 3,25	2,60 2,70 3,00
13	8,7	8,2	24	0,02	3,10 2,80 2,95	2,80 2,25 2,50
14	8,2	7,7	18	0,03	3,45 3,80 3,90	2,40 2,75 2,60
15	8,2	7,5	16	0,04	5,35 4,95 4,55	3,35 2,90 2,70
16	8,6	7,7	33	0,03	4,15 3,95 4,05	3,35 3,15 2,80
17	7,5	6,6	20	0,05	5,75 5,20 5,35	3,45 3,05 3,40

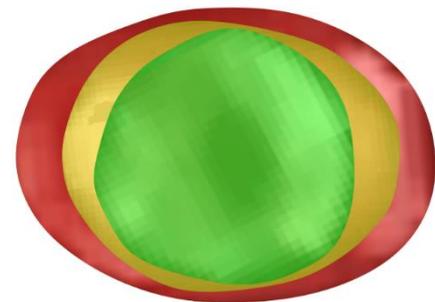
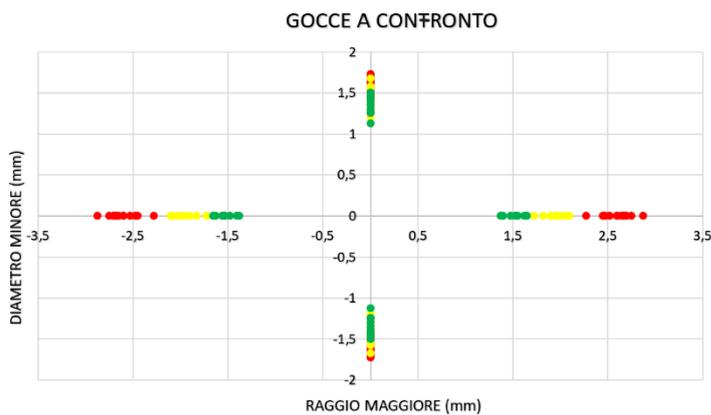
Con questi dati possiamo costruire quattro grafici: i primi tre mettono rispettivamente in relazione la massa con il diametro maggiore, il diametro minore e infine il rapporto tra questi; l'ultimo grafico mette in relazione il diametro maggiore con il diametro minore. Si specifica che, per ragioni di spazio, il valore iniziale degli assi non coincide sempre con lo 0.



Come è possibile notare, sfortunatamente non sembrerebbe esistere alcuna relazione semplice tra queste quantità. Nonostante questo, tramite l'opzione "linea di tendenza" di Excel è possibile ricavare delle equazioni che descrivono in maniera approssimata l'andamento di queste funzioni negli intervalli considerati. Un esempio è riportato qui a destra, dove la relazione tra la massa e il rapporto tra i diametri ha un andamento simile a una curva logaritmica, la cui equazione è riportata sul grafico.



L'ultimo grafico che abbiamo realizzato confronta le tre "specie" di gocce. Sull'asse x è riportato il raggio maggiore, mentre sull'asse y è riportato il raggio minore (in maniera simmetrica rispetto all'origine). L'immagine a destra è invece una sovrapposizione (in scala) delle tre gocce.



Dall'ultima immagine risulta evidente il ruolo fondamentale giocato dalla tensione superficiale, la quale influenza grandemente la forma di gocce che differiscono tra loro di pochi millimetri.

4.1 Errori sperimentali.

Per quanto riguarda l'apparato da noi costruito, i materiali e strumenti utilizzati non permettono la produzione di un flusso d'aria perfettamente ordinato: nonostante la presenza delle reti e del tubo, il getto d'aria rimane comunque abbastanza turbolento e difficilmente mantiene la goccia in equilibrio per più di un secondo. Nonostante questo, il breve tempo di sospensione permette comunque di raccogliere i frame sufficienti per condurre una misura.

Gli errori sperimentali commessi durante l'esperimento sono naturalmente legati alle (necessarie) approssimazioni fatte per poter condurre le misure. Gli errori più importanti sono elencati qui sotto:

- Durante la misura dei diametri difficilmente le gocce si trovano alla stessa distanza dalla videocamera della pipetta, segue che nel video esse potrebbero apparire leggermente più grandi o più piccole di ciò che sono in realtà.
- I diametri sono stati misurati considerando dei singoli frame e non sono perciò delle medie nel tempo. Non è stato possibile fare una media nel tempo in quanto quest'ultima presenta diverse difficoltà tecniche soprattutto legate al fatto che le gocce sospese mantengono una sorta di vibrazione, la quale è dovuta al carattere elastico della tensione superficiale.
- Il metodo per ricavare la massa delle gocce costituisce ovviamente l'approssimazione più grande di tutto l'esperimento, da questa considerazione segue che i grafici più attendibili tra quelli riportati sopra sono quelli in cui non figura la massa.
- Ogni strumento utilizzato è in generale affetto da un certo grado di incertezza che dipende dalla sensibilità di quest'ultimo.

4.2 Conclusioni.

Dopo aver stabilito il modo in cui condurre l'osservazione delle gocce di pioggia, abbiamo delineato le parti fondamentali di un apparato sperimentale necessario a tale scopo. La realizzazione di un prototipo ci ha permesso di identificare le caratteristiche costruttive che, dati i materiali utilizzati, sarebbe stato necessario implementare

nella versione finale dell'apparato. Completata la costruzione di quest'ultimo, un'osservazione preliminare ha messo in luce che, mentre le gocce più piccole tendono a mantenere una forma sferica, quelle più grandi presentano una forma "schiacciata" e appiattita nella parte inferiore. Successivamente abbiamo ricercato delle relazioni tra le grandezze fisiche in gioco che potevamo misurare, ovvero la massa e i diametri delle goccioline. Grazie ad alcune assunzioni è stato possibile ricavare i dati relativi a trenta gocce, i quali sono stati poi inseriti in cinque grafici. Sfortunatamente, dai grafici non sembrerebbe emergere alcuna relazione semplice tra queste grandezze.

Sitografia

<https://it.wikipedia.org/wiki/File:Tokyo.png>

<https://www.meteo.expert/news/curiosita/goccia-di-pioggia-forma-grandezza-e-velocita/#:~:text=Si%20presentano%2C%20piuttosto%20con%20una,gonfiano%20e%20tendono%20ad%20appiattirsi.>

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.vectorstock.com%2Froyalty-free-vector%2Farise-black-frog-art-logo-design-inspiration-vector-31207142&psig=AOvVaw2hi1UoEE6W8y8KhXNSM7Za&ust=1676826365414000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCKj0t5HHn_0CFQAAAAAdAAAAABAJ

Il dialogo tra i due personaggi è stato ripreso da "Spacetime Physics" di Taylor e Wheeler.