

Docenti e studenti a confronto su:

**LO STUDIO DELL' ARIA  
E DEI FENOMENI ATMOSFERICI**  
**Osservare e sperimentare nella scienza.**

Firenze, 19-20 aprile 2023

MENZIONE D'ONORE

SEZIONE TESINE BIENNIO

**L'ATMOSFERA E LE MACCHINE VOLANTI**

*Studenti*

Mattarolo Luca - Mauceri Matteo Artem – Palin Vittoria - Petrone Riccardo – Veglio  
Roberto  
Classe 2B

*Istituto di Istruzione Superiore*

Liceo Scientifico Don Bosco

Padova

*Docente Coordinatore*

Cecchetto Elisabetta

Questo lavoro sperimentale si caratterizza per l'originalità del percorso e la mole di lavoro. Si verifica la legge del galleggiamento in liquidi diversi, si individuano le condizioni di volo di palloncini zavorrati riempiti di elio, si progettano e si costruiscono prototipi di mongolfiera di carta e si cercano le loro condizioni di volo. In questa fase gli studenti utilizzano relazioni fisico-matematiche poco adeguate alla classe da loro frequentata, anche per complessità concettuale.

## L'ATMOSFERA E LE MACCHINE VOLANTI

Il Gruppo è formato da 5 ragazzi di seconda liceo delle scienze applicate che hanno deciso di mettersi in gioco attraverso questo progetto e di riscattarsi. Due di loro hanno difficoltà di apprendimento, le materie scientifiche trattate con la didattica tradizionale sono difficoltose e i loro risultati sono deludenti. Attraverso questo lavoro si sono resi conto che la scienza può essere studiata anche attraverso metodologie a loro più affini.

L'argomento è stato scelto durante un dibattito in classe, nel quale uno dei ragazzi ha esclamato : "*E se provassimo a volare?*". Il gruppo ha lavorato con entusiasmo dal primo incontro, dimostrando interesse, curiosità e tantissime idee. Si sono sostenuti e hanno collaborato in modo costruttivo. Ogni decisione è stata presa insieme e ogni difficoltà affrontata in gruppo. Hanno deciso di impostare il progetto come una sequenza di esperimenti, i primi più semplici, per poter capire come si lavora in laboratorio. Questi ragazzi a causa delle restrizioni Covid, non hanno potuto svolgere attività di laboratorio negli scorsi anni. Le idee e di conseguenza gli esperimenti che hanno progettato sono diventati via via più complessi, a questo punto sono stati molto bravi nel riuscire a valorizzare le competenze di ognuno nel migliore dei modi. Una parte del gruppo si è occupato della progettazione e realizzazione dei prototipi, la seconda parte degli esperimenti preliminari necessari per migliorare i modelli. La parte finale così come la relazione è stata realizzata in modo collaborativo: è stato molto bello vedere come i più competenti dal punto di vista applicativo, spiegassero ai compagni come dovevano essere realizzate e assemblati i vari componenti della mongolfiera, così come i più teorici si sono sforzati di coinvolgere i compagni nella parte più teorica e numerica, spiegando le leggi della fisica e i principi di calcolo degli errori.

Hanno accuratamente preso nota di tutto ciò che hanno osservato, sperimentato e delle conclusioni a cui sono arrivati per cui la loro relazione non è solo la sintesi del loro lavoro, ma la descrizione di un percorso alla scoperta della realtà che li circonda e delle leggi fisiche che la descrivono. Una riscoperta del metodo scientifico e della fatica dello sperimentare, tra delusioni, risultati non ottenuti ma anche l'entusiasmo di provare nuove strategie.

I principi della fisica non sono stati studiati sui libri di testo ma scoperti attraverso osservazioni che hanno reso consapevoli tutti i ragazzi delle loro potenzialità e li hanno aiutati a costruire un metodo di studio valido anche per la didattica scolastica.

## RELAZIONE DEL PROGETTO: L'ATMOSFERA E LE MACCHINE VOLANTI

### ABSTRACT

Le radici del progresso affondano nel desiderio dell'uomo di superare i propri limiti: quella del volo è forse una delle più lontane aspirazioni dell'umanità. Ispirandoci agli studi e ai tentativi di Leonardo Da Vinci abbiamo pensato di progettare delle macchine volanti.

Lo scopo del nostro esperimento è valutare quali caratteristiche dell'atmosfera rendano possibile il volo delle macchine volanti.

Abbiamo deciso di studiare due tipologie di macchine volanti: la mongolfiera e il dirigibile.

Le domande che ci siamo posti sono le seguenti: come è possibile che degli oggetti pesanti come le mongolfiere possano volare? Cosa accade all'interno di una mongolfiera che le permette di vincere la forza di gravità? Quali sono le leggi fisiche che permettono ad un palloncino gonfiato ad elio e ad una mongolfiera di volare?

Il nostro lavoro consiste in una serie di esperimenti che ci hanno permesso di comprendere le leggi fisiche che rendono possibile il volo e di vari tentativi grazie i quali, osservando i risultati ottenuti e correggendo di volta in volta gli errori commessi, siamo riusciti a realizzare la nostra mongolfiera.

### INTRODUZIONE

L'aria, oltre a rendere possibile il volo, è l'ambiente nel quale si muove l'aerostato.

L'atmosfera è un miscuglio di gas la cui composizione percentuale resta costante con la quota: 78% azoto, 21% ossigeno e rimanente anidride carbonica e tracce di altri gas; nella realtà è sempre presente una quantità di acqua sotto forma di vapore (umidità atmosferica) e di pulviscolo di varia natura.

L'umidità dell'aria diminuisce man mano che aumenta la quota, così come la densità e la pressione.

Per quanto riguarda la temperatura dipende dai raggi solari solo in piccolissima parte: l'aria viene quindi riscaldata per via indiretta. Il terreno, scaldandosi, cede calore all'aria. Più l'aria contiene umidità e pulviscolo, maggiore è il quantitativo di calore che riesce ad assorbire.

L'aria è un fluido: la mongolfiera e il dirigibile volano grazie al principio di Archimede:

*"un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del fluido spostato"*

In altre parole, qualsiasi cosa immersa in un fluido riceve una spinta verticale diretta verso l'alto, la cui densità è pari al peso di un uguale volume dello stesso fluido. La spinta idrostatica agisce su tutti gli oggetti immersi in un fluido, sia nei liquidi che nei gas.

Per un corpo immerso nell'atmosfera si parla di spinta aerostatica.

Essa non dipende dal peso del corpo, né dalla sua forma, né dal materiale con cui è composto, bensì solo dal suo volume e dalla densità del fluido in cui è immerso. La forza di gravità terrestre è sempre presente sull'oggetto immerso nel fluido e lo tira verso il basso. Il galleggiamento o sospensione nel fluido avviene quando la spinta idrostatica supera la forza di gravità. Ovviamente la spinta idrostatica è fondamentale nello studio dei palloni e dirigibili aerostatici più leggeri dell'aria.

La spinta idrostatica si può calcolare con una semplice formula matematica che coinvolge il volume del corpo immerso nel fluido (indichiamo il volume con la lettera "V"), la densità del fluido nel quale il corpo è immerso (indichiamo la densità con la lettera "D") e l'accelerazione di gravità indicata con la lettera "g".

$$S.I. = V \times D \times g$$

La spinta idrostatica è direttamente proporzionale al volume occupato dall'oggetto e alla densità del fluido. Il volume (V) di un solido è la misura dello spazio che occupa, e per forme abbastanza semplici e regolari il volume può essere calcolato con delle semplici formule derivate dalla geometria. La densità (D) di una sostanza è il rapporto tra sua massa e il suo volume. L'accelerazione di gravità (g), è una costante che rappresenta la forza di gravità esercitata su tutti i corpi in vicinanza della Terra. Il valore della forza di gravità, ossia il peso, è dato semplicemente dal prodotto della massa del corpo per l'accelerazione di gravità. In vicinanza della Terra, cioè a bassa quota, tutti i corpi sono sottoposti ad 1 g, ossia 9,81 m/s<sup>2</sup>.

## PRIMA PARTE DELL'ESPERIMENTO

### VERIFICA DELLA LEGGE DI ARCHIMEDE

#### PRIMA PARTE

##### Scopo dell'esperimento:

Verificare che un corpo immerso in acqua distillata riceve una spinta verso l'alto pari al peso del volume di acqua spostato.

Il corpo quindi avrà un peso inferiore in acqua rispetto a quello che ha in aria e la differenza tra i due pesi dipende dal volume del corpo immerso.

##### Strumentazione usata

Per realizzare l'esperimento abbiamo usato:

- Un righello: sensibilità 1 mm, portata 15 cm;
- Dinamometro: sensibilità 0,01 e portata 1N;
- Un peso a forma di cilindro composto da alcuni pesetti di massa nota;
- Un recipiente;
- Acqua distillata;

##### Descrizione dell'esperimento:

Per prima cosa abbiamo misurato l'altezza, il diametro e quindi calcolato il volume del cilindro, con i relativi errori. Abbiamo calcolato il peso del cilindro che è composto da un pesetto di massa 50 g e da uno di massa 25 g (i valori delle masse sono forniti dai costruttori senza errore). Abbiamo riempito un recipiente di acqua distillata; aiutandoci con un'asta di base a tre piedi e una matita, abbiamo agganciato il cilindro al dinamometro e quindi lo abbiamo immerso completamente in acqua facendo attenzione a non toccare il fondo e le pareti del recipiente.

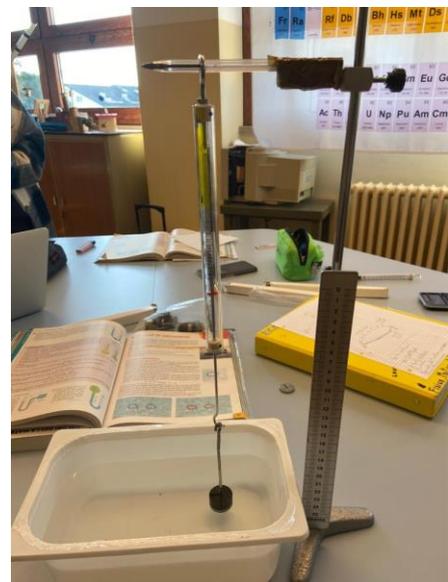
Abbiamo letto la forza indicata dal dinamometro.

Abbiamo determinato la spinta attraverso la legge di Archimede e calcolato il peso apparente ( $P_{app} = P - S$ ).

Abbiamo confrontato la nostra misurazione con i calcoli teorici.

##### Osservazioni finali:

Il peso tende a scendere, quindi significa che il peso è superiore alla spinta: infatti il valore P è 0,74N mentre il valore S è 0,08N.



Abbiamo verificato che sul cilindro agisce la spinta di Archimede in quanto il peso del cilindro misurato con il dinamometro, entro gli errori sperimentali è compatibile con i calcoli teorici. Dalla formula  $S=V \cdot d \cdot g$ , deduciamo che a parità del volume dell'oggetto, maggiore è la densità del liquido e maggiore è il valore della Spinta di Archimede.

Abbiamo deciso di verificare anche questa proprietà utilizzando alcool, acqua e olio

## SECONDA PARTE

### Scopo dell'esperimento

Dimostrare che a parità di volume la spinta di Archimede dipende dalla densità del fluido

### Strumentazione usata:

- righello: sensibilità 1 mm, portata 15 cm
- piccolo contenitore (ovetto kinder)
- ghiaia
- bilancia: sensibilità 0,1, portata 1kg
- alcool (1L)
- acqua distillata (1L)
- olio (1L)
- recipiente

### Descrizione dell'esperimento:

Per prima cosa abbiamo preso le misure dell'ovetto kinder per calcolare il volume.

Abbiamo riempito un recipiente con il liquido scelto; nel nostro caso abbiamo utilizzato prima alcol, dopo acqua e infine olio.

Successivamente abbiamo pesato il piccolo contenitore vuoto e lo abbiamo immerso nel liquido scelto e osservato se l'oggetto rimaneva in superficie ( $F_p < S$ ), rimaneva sospeso a metà recipiente ( $F_p = S$ ) o andava a fondo ( $F_p > S$ ). Abbiamo inserito un po' di ghiaia all'interno dell'ovetto e pesato per 10 volte e abbiamo osservato nuovamente, abbiamo ripetuto l'operazione finché l'oggetto non restava immerso nel fluido senza toccare il fondo e la superficie, quindi sospeso nel fluido, e ancora finché toccava il fondo del recipiente.

Abbiamo replicato questo procedimento con tutti e tre i fluidi.

## CONCLUSIONE

Siamo riusciti a dimostrare che la spinta idrostatica è tanto maggiore quanto maggiore è la densità del fluido in cui è immerso. Siamo anche riusciti a determinare sperimentalmente la densità dei nostri fluidi, sebbene gli errori commessi siano elevati.

## SECONDA PARTE DELL'ESPERIMENTO

### COME APPLICARE LA LEGGE DI ARCHIMEDE ALLE MACCHINE VOLANTI

#### ESPERIMENTI QUALITATIVI PRELIMINARI

Anche le macchine volanti non vengono solo alleggerite dalla presenza dell'aria ma galleggiano o si alzano verticalmente. Questo significa che la spinta di Archimede sarà uguale o addirittura superiore al peso.

Abbiamo pensato di sfruttare la spinta di Archimede in due diversi modi:

nel primo caso abbiamo sfruttato il fatto che esistono gas più leggeri dell'aria e quindi abbiamo usato dei palloncini come simulazione di un dirigibile, li abbiamo gonfiati con elio e li abbiamo muniti di zavorra; abbiamo studiato al variare del volume del palloncino e del peso della zavorra come varia il loro moto.

Nel secondo caso abbiamo pensato di usare aria calda che ha densità inferiore rispetto a quella dell'ambiente: abbiamo costruito delle mongolfiere con la carta velina (lanterne) e abbiamo studiato il loro moto al variare del tipo di combustibile, delle dimensioni del supporto per il combustibile e delle dimensioni della mongolfiera.

### ESPERIMENTI CON I PALLONCINI GONFIATI CON ELIO

I primi due esperimenti con i palloncini sono puramente qualitativi: lo scopo è osservare il loro comportamento e trovare il metodo migliore



per poter fare delle misurazioni coerenti. Abbiamo gonfiato due palloncini, uno di volume maggiore e uno di volume minore. Abbiamo aumentato la zavorra dei due palloncini -come avevamo fatto per l'ovetto dell'esperimento precedente- annotando se il palloncino volasse verso l'alto, scendesse verso il suolo o galleggiasse a mezz'aria. Diversamente dall'esperimento con i liquidi, l'aria della nostra stanza non ha una superficie. Riportiamo le nostre osservazioni qualitative.



PALLONCINO 1 (più piccolo):  $m=2,6g$

| MASSA AGGIUNTA AL PALLONCINO | OSSERVAZIONI |
|------------------------------|--------------|
| 0 g                          | VOLA         |
| 0,8 g                        | VOLA         |
| 0,9 g                        | VOLA         |
| 1,4 g                        | VOLA         |
| 2,8 g                        | VOLA         |
| 2,9 g                        | SCENDE       |
| 3,1 g                        | SCENDE       |
| 3,4 g                        | SCENDE       |

Galleggia con una massa poco inferiore a 2,9 g (abbiamo levato un pezzetto di zavorra che la bilancia non è riuscita a misurare)

**Osservazioni:** abbiamo avuto difficoltà a mantenere stabile la zavorra; inoltre ci siamo resi conto che la nostra presenza alterava le misurazioni, infatti respirando nei pressi del palloncino aumentiamo la temperatura dell'aria che lo circondava e anche l'umidità. Abbiamo deciso di ripetere l'esperimento facendo in modo che l'interazione fosse con uno solo di noi che indossasse la mascherina ffp2. Abbiamo inoltre gonfiato maggiormente il palloncino.

PALLONCINO 2 (più grande) m=2,6g:

| MASSA AGGIUNTA AL PALLONCINO | OSSERVAZIONE |
|------------------------------|--------------|
| 0 g                          | VOLA         |
| 2,8 g                        | VOLA         |
| 2,9 g                        | VOLA         |
| 3,0 g                        | VOLA         |
| 3,1 g                        | VOLA         |
| 3,2 g                        | VOLA         |
| 3,3 g                        | GALLEGGIA    |
| 3,4 g                        | SCENDE       |
| 3,5 g                        | SCENDE       |
| 3,6 g                        | SCENDE       |
| 3,7 g                        | SCENDE       |

**Osservazioni:** questa volta è stato più semplice trovare la zavorra che permetteva al nostro palloncino di galleggiare, probabilmente perché il volume era maggiore e perché abbiamo perturbato poco l'esperimento.

A questo punto siamo pronti per effettuare un esperimento quantitativo.

#### ESPERIMENTI CON MONGOLFIERE DI CARTA VELINA

Anche i primi esperimenti con le mongolfiere hanno carattere qualitativo: lo scopo è quello di prendere confidenza con queste macchine e comprenderne meglio il funzionamento. Dobbiamo valutare le dimensioni, il peso e il tipo di combustibile da utilizzare per poi procedere ad effettuare misure quantitative. Dobbiamo anche trovare una modalità per eseguire in sicurezza l'esperimento in laboratorio.

#### REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI

##### **Scopo dell'esperimento:**

Lo scopo dell'esperimento è realizzare delle mongolfiere in grado di volare

##### **Materiale utilizzato**

Per costruire le nostre mongolfiere abbiamo utilizzato:

cutter, forbici, matita, metro, riga e squadra, compasso, carta, colla, nastro adesivo, filo di acciaio e alluminio da cucina

La carta che abbiamo utilizzato è la carta velina di colore bianco che è un tipo di carta molto leggero, sottile e trasparente.

I fili di acciaio hanno un peso specifico di  $7,86\text{g/cm}^3$  e un punto di fusione di  $1300^\circ$

La colla che abbiamo utilizzato è un polivinilacetato in emulsione acquosa.

### Procedimento:

Dopo aver disegnato i nostri prototipi su carta formato A4 li abbiamo realizzati. Riportiamo le caratteristiche dei prototipi utilizzati in questa prima fase:

Fp mongolfiera1=  $(0,11 \pm 0,01)$  N

Diametro1 =  $(21,5 \pm 0,1)$  cm

Altezza1 =  $(48,5 \pm 0,1)$  cm

Fp mongolfiera2=  $(0,24 \pm 0,01)$  N (abbiamo aggiunto un peso di 13,8 g)

Diametro2 =  $(28,5 \pm 0,1)$  cm

Altezza2 =  $(94 \pm 0,1)$  cm

Fp mongolfiera3 =  $(0,23 \pm 0,01)$  N

DiametroL =  $(31,5 \pm 0,01)$  cm

AltezzaL =  $(74,5 \pm 0,01)$  cm



Poiché dobbiamo sfruttare l'aria calda -che ha densità inferiore rispetto a quella dell'aria fredda- abbiamo pensato a varie soluzioni che ci permettano di riscaldare l'aria all'interno della mongolfiera. Di ognuna abbiamo valutato il peso, perchè la spinta dovrà essere in grado di vincere sia il peso della mongolfiera che quello del carburante. Abbiamo preso una candolina e abbiamo tenuto solo la base di alluminio, non servendoci la cera e la miccia. Ci abbiamo messo dentro del

cotone, che abbiamo imbevuto di alcool infiammabile.

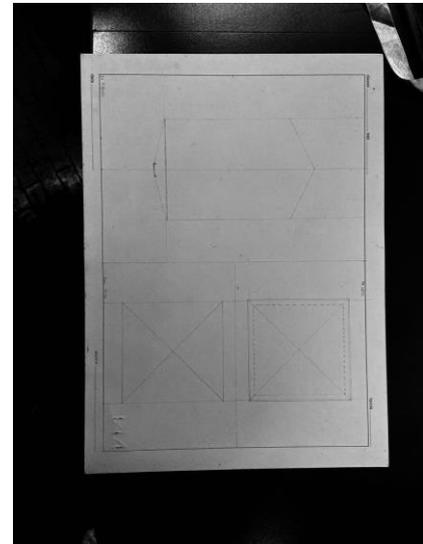
Il peso varia in base alla quantità di alcool e di cotone.

Porta lumino (candela) con cotone e alcool1= 12,7 g

Porta lumino (candela) con cotone e alcool 2= 14,5 g (senza cotone 5 g)

Porta lumino (candela) con cotone e alcool 3= 18,6 g

Abbiamo provato a far volare le tre mongolfiere, dando fuoco al cotone imbevuto di alcool e misurando con un termometro sonda la temperatura raggiunta all'interno.



### Osservazioni:

La prima mongolfiera è troppo piccola, il peso del combustibile è eccessivo per le sue dimensioni e la fiamma brucia la carta velina che la riveste.

La seconda mongolfiera ha raggiunto nel primo caso la temperatura di  $74^\circ\text{C}$  ma non è stata in grado di volare.

La seconda mongolfiera, nel secondo caso, ha raggiunto una temperatura di  $72,5^\circ\text{C}$  ma non è stata in grado di volare e purtroppo si è aperta.

La terza mongolfiera, nel terzo caso, ha raggiunto una temperatura stabile di  $102,3^\circ\text{C}$  ma non riesce a volare.



Abbiamo cercato di alleggerire il peso della mongolfiera modificando il peso del combustibile: dobbiamo trovare la giusta composizione che produce calore ma che sia leggero. Abbiamo cercato dei combustibili con maggior potere calorifico per vedere se potevamo ottimizzare la resa.

**POTERE CALORIFICO dei materiali:**

Il "potere calorifico" o calore di combustione esprime la quantità massima di calore che si può ricavare dalla combustione completa di 1kg di a sostanza combustibile (o 1m<sup>3</sup> di gas) a 0 °C e 1atm. Si misura in Joule per chilogrammo (J/kg).

Riportiamo di seguito la tabella

|                   | ALCOOL                  | IDROGENO                | GPL                     | BENZINA                 | OLIO di semi            | CARBONELLA |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| potere calorifico | 28 MJ/kg                | 130 MJ/kg               | 46,1 MJ/kg              | 43 MJ/kg                | 37 MJ/kg                | 34,2 MJ/kg |
| densità           | 0,79 kg/dm <sup>3</sup> | 0,90 kg/dm <sup>3</sup> | 0,52 kg/dm <sup>3</sup> | 0,68 kg/dm <sup>3</sup> | 0,92 kg/dm <sup>3</sup> | /          |

Abbiamo deciso di riprovare ad utilizzare l'alcool modificando la quantità di alcool rispetto al cotone.

**PROVA 1:** non vola

Peso mongolfiera= 0,22N

Peso= 7g (combustibile) → poco cotone e molto alcool

T max = 34,8°C → la temperatura aumenta lentamente

Osservazione: abbiamo sicuramente ridotto il peso ma anche il rendimento

**PROVA 2:** non vola → poco cotone e molto alcool

Peso mongolfiera= 0,22N

Peso= 7,5 g (combustibile)

T max= 77°C

Osservazione: abbiamo raggiunto una buona temperatura interna, ma la mongolfiera non vola

**PROVA 3:** non vola

Peso mongolfiera= 0,22N

Peso (combustibile)= 7,5+7,5= 15 g → due contenitori

T max: 95,5°C

**OSSERVAZIONE:** la temperatura è aumentata in maniera graduale ma ancora la mongolfiera non vola.

**CONCLUSIONI:**

Proviamo a cercare un combustibile con alto potere calorifico e bassa densità perché sia efficiente.

## TERZA PARTE DELL'ESPERIMENTO

### COME APPLICARE LA LEGGE DI ARCHIMEDE ALLE MACCHINE VOLANTI ESPERIMENTI QUANTITATIVI

La spinta aerostatica si calcola moltiplicando il volume dell'aerostato per la densità dell'aria per  $g$  ( $9,81\text{m/s}^2$ ). La densità dell'aria non è costante, ma varia in funzione di diversi parametri, quali la temperatura, l'umidità e la pressione: diminuisce all'aumentare della temperatura e dell'umidità e al diminuire della pressione.

All'aumentare della temperatura aumenta l'energia cinetica delle molecole e la loro distanza media. Una stessa quantità d'aria occupa un volume maggiore per cui la sua densità diminuisce.

La densità dell'aria diminuisce al diminuire della pressione atmosferica.

L'equazione che descrive la variazione di densità al variare della temperatura e della pressione è la seguente:

$$d = \frac{p * MM}{R * T}$$

dove  $R$  = costante universale dei gas =  $0,0821 (L * atm)/(mol * K)$

$T$  = temperatura assoluta (K)

$MM$  = massa molare dell'aria =  $28,96 \text{ g/mol}$

$p$  = pressione (atm)

$d$  = densità dell'aria  $\text{g/dm}^3$

La densità dell'aria diminuisce all'aumentare dell'umidità: il senso comune ci porterebbe a credere il contrario perché siamo abituati a pensare all'acqua nel suo stato liquido. In realtà il peso molecolare dell'azoto è 28, il peso molecolare dell'ossigeno è 32 mentre quello dell'acqua è solo 18, quindi se sostituiamo ossigeno e azoto con acqua il peso dell'aria diminuisce.

Abbiamo deciso di fare delle misurazioni giornaliere di queste grandezze per vedere come variano nel cortile della nostra scuola e capire come varia la densità dell'aria della stanza in cui noi faremo l'esperimento.

In allegato le tabelle con le nostre rilevazioni giornaliere:

Le misurazioni che abbiamo effettuato non ci sono state d'aiuto nel determinare una metodologia per prevedere la densità dell'aria. Abbiamo deciso quindi di misurare le condizioni meteorologiche ogni qualvolta faremo l'esperimento e determinare di conseguenza la densità. Cercheremo di effettuare l'esperimento con la mongolfiera in una giornata serena in modo da avere alta pressione e bassa umidità.



## ESPERIMENTI QUANTITATIVI CON PALLONCINO

Temperatura della stanza  $t=20,0^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C} = (20+ 273,15)=(293,15 \pm 0,1)\text{K}$

Pressione =  $(994 \pm 1)\text{hPa} = (0,9812 \pm 0,0010) \text{ atm}$

Umidità =  $(77 \pm 2)\%$

Altitudine = 0m

I valori standard per la quota di 0 m sono i seguenti:

| Q<br>(m) | T<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | P<br>(hPa) | D<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
|----------|-----------------------------|------------|---------------------------------|
| 0        | 15                          | 1013,2     | 1,2250                          |

Calcoliamo la densità dell'aria in laboratorio

$t = 15^{\circ}\text{C} = 288,15 \text{ K}$

$$d = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = 1,1807 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\epsilon_r P = 1/994 = 0,001$$

$$\epsilon_r T = 0,1/293,15 = 0,0003$$

$$\epsilon_r d = 0,001 + 0,0003 = 0,0013$$

$$\epsilon D = 0,0013 * 1,1807 = 0,0015 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Questa sarebbe la densità se l'aria fosse secca.

Il peso specifico dell'aria diminuisce all'aumentare dell'umidità, a  $15^{\circ}\text{C}$  e  $1013,2 \text{ hPa}$  l'aria secca pesa  $1,2250 \text{ kg}/\text{m}^3$  mentre l'aria completamente satura di umidità nelle stesse condizioni pesa  $8 \text{ g}$  su  $\text{m}^3$  in meno. Considerando che la differenza si fa più evidente con l'aumentare della temperatura (poiché tanto più l'aria è calda tanto maggiore è il suo punto di saturazione) stimiamo che la densità dell'aria del nostro laboratorio:

$$8 \text{ g}/\text{m}^3 : 100\% = x : 77\% \quad x = 6,16 \text{ g}/\text{dm}^3$$

$$d = (1,1807 - 0,00616) = 1,1745 \text{ kg}/\text{m}^3 = (1,1745 \pm 0,0015) \text{ g}/\text{dm}^3$$

### Scopo dell'esperimento:

Studiare il moto dei palloncini riempiti con elio al variare del volume e del peso dei palloncini.

### Materiale usato:

Bilancia digitale: portata  $99 \text{ g}$  sensibilità  $0,1 \text{ g}$

Filo di corda

Metro: portata  $1 \text{ m}$  sensibilità  $1 \text{ mm}$

Palloncini

Bombola d'elio

Filo di alluminio

### Procedimento:

Abbiamo gonfiato con elio un palloncino, abbiamo misurato utilizzando un filo di corda che poi abbiamo confrontato con un metro, la circonferenza massima e l'ellissoide massimo. Abbiamo preparato una zavorra da agganciare al palloncino. La zavorra è formata da un anello di alluminio al quale di volta in volta vengono aggiunti piccoli pezzi di alluminio. Abbiamo aumentato gradualmente la zavorra controllando ogni volta se il palloncino si alzava in volo, se scendeva verso il suolo o se galleggiava. Abbiamo continuato ad aggiustare il peso della zavorra fino ad ottenere un palloncino che galleggia a mezz'aria. Considerando l'esperimento precedente abbiamo cercato di interferire il meno possibile con l'esperimento.

Abbiamo ripetuto lo stesso procedimento con 4 un palloncini gonfiato in modo da occupare volumi differenti.

### **Osservazioni:**

Il palloncino volerà solo se il suo peso totale, che comprende il peso del palloncino, quello della zavorra e quello del gas contenuto al suo interno, è minore della spinta idrostatica, altrimenti cadrà. Che il corpo salga, resti in sospensione, oppure scenda, dipende dal bilancio della spinta idrostatica e del peso del corpo stesso. Quindi il valore di spinta idrostatica di per sé NON indica se il corpo galleggia o no nel fluido; bisogna calcolare la differenza della spinta idrostatica e del peso complessivo dell'aerostato.

Nei primi 3 palloncini la spinta idrostatica era sufficiente a far volare il palloncino senza zavorra, noi abbiamo poi cercato di equilibrare la spinta aggiungendo zavorra al nostro palloncino. Gli errori sono elevati per due motivi: il primo è dovuto alla sensibilità della nostra bilancia che non ci ha permesso di pesare correttamente il quantitativo di filo di alluminio che si aggiunge alla zavorra; il secondo è dovuto al fatto che anche se in minima parte noi muovendoci perturbiamo il sistema. Tuttavia abbiamo ottenuto dei risultati soddisfacenti perché considerando gli errori di misura, il valore della spinta idrostatica e della forza peso sono compatibili nella situazione di galleggiamento sia per il primo che per il terzo palloncino. Il quarto palloncino invece non può volare perché il suo peso sommato a quello del gas elio supera la spinta idrostatica.

## **ESPERIMENTI QUANTITATIVI CON LA MONGOLFIERA DI CARTA**

### **Scopo dell'esperimento:**

Studiare il moto delle mongolfiere alimentate con combustibili differenti e con fornelli di forma differente.

### **Materiale usato:**

Bilancia digitale: portata 99 g sensibilità 0,1g

Dinamometro portata 1N sensibilità 0,01N

Termometro a sensore: portata 102.5°, sensibilità 0,1°

Cutter, forbici, matita, metro, riga e squadra, compasso, carta e cartoncino, colla, nastro adesivo, filo di acciaio, alluminio da cucina, portalumino in alluminio, cotone

Come combustibile:

Alcool etilico al 90%, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, ha densità 0,809 kg/dm<sup>3</sup> a 150°C e potere calorifico di carica 7000 Cal/kg.

Benzina, è una miscela di idrocarburi, con densità compresa tra 0,780 e 0,800 kg/ dm<sup>3</sup> e con potere calorifico inferiore di carica 10300 Cal/kg.

### **Procedimento**

Abbiamo pesato la base del lumino e lo abbiamo riempito con cotone e alcool: questo sarà il nostro fornello, ovvero la zona in cui avviene la combustione. Abbiamo pesato una seconda volta. Abbiamo agganciato alla struttura della mongolfiera il fornello. Abbiamo misurato la temperatura, la pressione e l'umidità del laboratorio. Abbiamo assicurato la mongolfiera in modo che non potesse volare libera. Abbiamo acceso il cotone imbevuto di alcool. Attraverso il termometro a sensore abbiamo misurato la temperatura interna fino al raggiungimento del massimo. quando la temperatura comincia a scendere terminiamo la misurazione. Abbiamo ripetuto l'esperimento con una seconda mongolfiera, questa volta la base contiene cotone imbevuto con benzina. Abbiamo ripetuto una terza volta l'esperimento modificando forma e dimensione del fornello. Abbiamo costruito un quadrato 6x6 cm con del cartoncino, ci abbiamo appoggiato sopra del cotone imbevuto con alcool e abbiamo avvolto il tutto con della carta velina. Infine abbiamo ripetuto lo stesso esperimento utilizzando cotone imbevuto di

benzina. In entrambi i casi abbiamo misurato la temperatura interna fino al momento in cui la mongolfiera non cominciava a volare. Questa raggiungeva la temperatura di 81,3°C, riuscendo quindi a volare.

Nel terzo abbiamo imbevuto il cotone non di alcool, ma di benzina. Quindi abbiamo preso un cartoncino quadrato di 6 cm avvolto nel cotone imbevuto di benzina, poi abbiamo preso un altro cartoncino più grande dell'altro intorno a tutto.

Lo abbiamo attaccato alla lanterna con dei fili di alluminio.

accendendolo abbiamo notato che inizia quasi subito a volare, però generando una fiamma più grande in confronto agli altri esperimenti. La lanterna si è quindi annerita e si sono formati dei buchi che non si sono manifestati nei casi precedenti.

### **Dati raccolti**

Le dimensioni del prototipo di mongolfiera che abbiamo utilizzato sono le seguenti:

Fpeso mongolfiera =  $(0,23 \pm 0,01)$  N

Diametro minore =  $(31,5 \pm 0,01)$  cm

Diametro maggiore =  $(55,35 \pm 0,01)$  cm

Altezza =  $(74,5 \pm 0,01)$  cm

Peso fornello prima prova =  $(12,4 \pm 0,1)$  g

Peso fornello seconda prova =  $(22,5 \pm 0,1)$  g

Peso fornello terza prova =  $(23,3 \pm 0,1)$  g

Peso fornello quarta prova =  $(28,5 \pm 0,1)$  g

Temperatura laboratorio di chimica =  $(15,0 \pm 0,1)$ °C =  $(288,2 \pm 0,1)$  K

Pressione =  $(997 \pm 1)$  hPa

umidità =  $(44 \pm 2)$ %

Temperatura massima primo esperimento =  $(70,0 \pm 0,1)$ °C =  $(343,2 \pm 0,1)$  K

La mongolfiera non vola

Temperatura massima secondo esperimento =  $(100,5 \pm 0,1)$ °C =  $(373,7 \pm 0,1)$  K

La mongolfiera non vola

Temperatura di volo terzo esperimento =  $(81,3 \pm 0,1)$ °C =  $(343,2 \pm 0,1)$  K

Temperatura di volo quarto esperimento =  $(92,3 \pm 0,1)$ °C =  $(343,2 \pm 0,1)$  K

### **Osservazioni:**

L'aerostato, per salire nel cielo vincendo il proprio peso, ha bisogno di energia. Nella mongolfiera tale energia proviene dalla combustione, attivata a livello del bruciatore.

Proprio le calorie che si liberano in questo processo che, elevando la temperatura all'interno dell'involucro, diminuiscono la densità dei gas presenti e creano la spinta verso l'alto, secondo il principio di Archimede.

Il "sistema mongolfiera" è quindi un vero e proprio motore, capace di convertire l'energia chimica, presente nel combustibile, in energia meccanica (energia cinetica + energia potenziale).



Nei primi due casi la spinta dovrebbe essere sufficiente a far volare la mongolfiera, invece nonostante si percepisca una diminuzione del peso la mongolfiera non vola.

Poiché nel primo caso è stato utilizzato alcool e nel secondo benzina concludiamo che il problema non è il carburante utilizzato.

Nel terzo e nel quarto caso l'aria interna alla mongolfiera raggiunge rapidamente alte temperature e rapidamente le mongolfiere cominciano a sollevarsi.

Anche in questo caso abbiamo utilizzato prima l'alcool e poi la benzina, quindi non è il carburante a fare la differenza.

L'unica variazione tra i primi due esperimenti e gli ultimi è la forma e le dimensioni del fornello. Ne deduciamo che nei primi esperimenti, così come in quelli qualitativi, il problema è nella forma e nelle dimensioni del fornello che è troppo piccolo e quindi non consente di scaldare in modo uniforme l'aria interna. Per questo noi rilevavamo la temperatura dell'aria, ma probabilmente solo quella vicino al bruciatore raggiungeva veramente quella temperatura. I calcoli effettuati non sono quindi corretti, non è vero che la spinta è superiore alla forza peso perché il valore da noi stimato è corretto se tutta l'aria è alla medesima temperatura.

Osservando e riflettendo su ciò che accadeva nelle nostre mongolfiere, ci siamo resi conto



che quanto è comunemente riportato in molti libri è inesatto.

La mongolfiera deriva la propria forza ascensionale dalla differenza di peso specifico fra l'aria calda contenuta nell'involucro, e l'aria atmosferica a temperatura ambiente.

In una mongolfiera i prodotti della combustione vengono immersi continuamente nell'involucro che è aperto inferiormente. Poiché il volume di questo è costante, tali gas fuoriescono a livello della



bocca, e creano una circolazione aperta.

Non si può parlare di aria poiché questa, se pur presente all'inizio; durante il riscaldamento viene subito sostituita dai prodotti della combustione.

I gas della combustione dell'alcool hanno un peso specifico pari al 96,78% di quello dell'aria nelle stesse condizioni di pressione e temperatura, e della benzina al 98,16%.

La differenza non è molta e, quindi possiamo considerare "aria calda" nel calcolo della forza ascensionale non comporta errori sensibili e porta a dei valori leggermente in difetto.

All'interno dell'involucro si viene quindi a stabilire una vera e propria circolazione: l'alcool che brucia crea una colonna di gas caldi che salgono all'interno e risucchiano dal basso aria fredda che alimenta la combustione.

I gas caldi non permangono quindi all'interno ma circolano, diminuendo di temperatura in prossimità delle pareti di velina, e fuoriescono infine creando un equilibrio dinamico. La temperatura interna non raggiunge mai valori troppo elevati.

Nel primo e terzo esperimento abbiamo utilizzato l'alcool e abbiamo notato che venivano prodotti fumi puliti e pressoché invisibili. Al contrario quando nel secondo e quarto esperimento abbiamo utilizzato la benzina, derivata del petrolio, i suoi fumi sono molto sporchi e scuri che hanno annerito internamente e rendono meno brillanti all'esterno i colori dell'involucro. Il suo potere calorifico, quasi doppio rispetto all'alcool, sviluppa a parità di peso forze ascensionali decisamente maggiori è risultato in effetti più difficile tenere la mongolfiera che tendeva a strappare verso l'alto.

### **CONCLUSIONI:**

La caratteristica dell'atmosfera che rende possibile il volo della mongolfiera è la densità dell'aria e in particolare il fatto che la densità dell'aria non sia costante, ma dipenda dalla temperatura e dall'umidità.

Il metodo che abbiamo adottato per svolgere il nostro progetto è stato: osservazione della realtà, discussione per cercare un'intuizione, verifica attraverso esperimenti della veridicità della nostra idea. Abbiamo pensato di realizzare una serie di esperimenti sempre più complessi, a partire dalla semplice verifica della legge di Archimede nei liquidi, all'utilizzo di palloncini riempiti con un gas meno denso dell'aria, fino a cercare di far volare la mongolfiera utilizzando due carburanti differenti. Non sempre le soluzioni trovate sono state vincenti, prima di capire perché la nostra mongolfiera non riusciva a volare nonostante "sentissimo" la spinta verso l'alto, abbiamo modificato varie volte la forma, il peso, il tipo di carburante e la forma del fornello.

Abbiamo ragionato su ogni risultato ottenuto, abbiamo discusso e cercato soluzioni anche affidandoci ai siti di divulgazione scientifica o a testi specializzati.

Alla fine quando finalmente la nostra mongolfiera è riuscita ad alzarsi in volo abbiamo ricostruito tutto il percorso che ci ha permesso di raggiungere il nostro risultato.



## ALLEGATO 1 ANALISI DEI DATI DELL'ESPERIMENTO SUL PESO APPARENTE

### Raccolta dati e analisi:

- Altezza: 1,9 cm
- diametro: 2,4 cm
- errore: 1 mm
- V cilindro:  $\frac{\pi \cdot d}{4} \cdot h = 8,5954 \text{ cm}^3 = 8,6 \pm 0,8 \text{ cm}^3$
- errore relativo altezza =  $0,1/1,9 = 0,05$
- errore relativo diametro =  $0,1/2,4 = 0,04$
- errore relativo volume =  $0,04 + 0,05 = 0,09$
- errore assoluto volume = 0,8 cm<sup>3</sup>
- m = 75 g = 0,075 Kg
- P = m · g = 0,075 · 9,81 = 0,74 N
- d = 1000 kg/m<sup>3</sup> = 10<sup>-3</sup> kg/cm<sup>3</sup>
- S = V · d · g = 9 · 10<sup>-3</sup> · 9,81 = 0,08 ± 0,01 N
- P<sub>app</sub> = P - S = 0,74 - 0,08 = 0,66 N
- P<sub>app</sub> = 0,66 ± 0,01 N
- P (misurato con il dinamometro) = 0,67 ± 0,01 N

## ALLEGATO 2 ANALISI DEI DATI DELL'ESPERIMENTO SULLA DIPENDENZA DELLA SPINTA DI ARCHIMEDE DALLA DENSITA' DEL FLUIDO

### Raccolta dati:

h = 4,5 cm

r = 1,7 cm

errore 1 mm

Volume ovetto =  $\frac{4}{3} (3,14 \cdot 1,7^3 \cdot 4,5) = 54,4 \text{ cm}^3$

ε relativo (h) = 0,02

ε relativo (r) = 0,06

ε relativo (V) = 2 · 0,06 + 0,02 = 0,14

ε volume = 7,6 cm<sup>3</sup>

V = (54 ± 8) cm<sup>3</sup>

### PRIMA PARTE : MISURE IN ALCOOL

#### Prima misurazione: Ovetto vuoto

peso dell'ovetto vuoto (10 pesate)

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 4,0   |
| 2        | 4,0   |
| 3        | 3,7   |
| 4        | 4,0   |
| 5        | 4,0   |



|    |     |
|----|-----|
| 6  | 4,1 |
| 7  | 4,0 |
| 8  | 4,1 |
| 9  | 4,0 |
| 10 | 4,0 |

$$m = \frac{4,0+4,0+3,7+4,0+4,0+4,0+4,1+4,0+4,1+4,0+4,0}{10} = 4 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{4,1 - 3,7}{2} = 0,2 \text{ g}$$

$$m = (4,0 \pm 0,2) \text{ g}$$

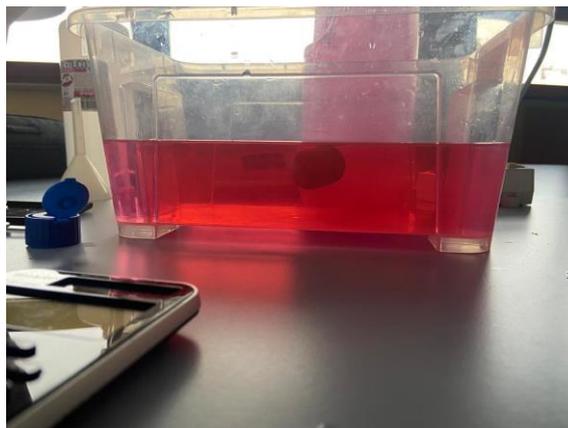
$$P = mg = (0,039 \pm 0,002) \text{ N}$$

Oveto vuoto= galleggia in superficie



### Seconda misurazione: l'oggetto è in sospensione, galleggia immerso

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 47,5  |
| 2        | 47,4  |
| 3        | 47,4  |
| 4        | 47,5  |
| 5        | 47,3  |
| 6        | 47,4  |
| 7        | 47,3  |
| 8        | 47,3  |
| 9        | 47,3  |
| 10       | 47,3  |



$$m = \frac{47,5 + 47,4 + 47,4 + 47,5 + 47,3 + 47,4 + 47,3 + 47,3 + 47,3 + 47,3}{10} = 47,3 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{47,5 - 47,3}{2} = 0,1 \text{ g}$$

$$m = (47,3 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,464 \pm 0,001) \text{ N}$$

Poiché in questa situazione la Forza peso è equilibrata dalla spinta di Archimede, è possibile calcolare la densità dell'alcool

$$P = S$$

$$mg = dVg$$

$$d = m/V = 0,8759$$

$$\varepsilon_r (\text{ massa}) = 0,1/47,3 = 0,002$$

$$\varepsilon_r (\text{ volume}) = 0,14$$

$$\varepsilon_{rtot} = 0,142$$

$$\varepsilon_{ASS} = 0,142 \cdot 0,8759 = 0,12 \text{ g/cm}^3 \rightarrow d = (0,8 \pm 0,1) \text{ cm}^3$$

La densità teorica dell'alcool etilico è di  $0,789 \text{ g/cm}^3$  che è compatibile con il nostro risultato, anche se dobbiamo segnalare un errore molto alto.

### Terza misurazione= l'oggetto affonda

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 52,2  |
| 2        | 52,2  |
| 3        | 52,2  |
| 4        | 52,4  |
| 5        | 52,0  |
| 6        | 52,3  |
| 7        | 52,3  |
| 8        | 52,2  |
| 9        | 52,1  |
| 10       | 52,1  |

$$m = 52,3 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{52,4 - 52,0}{2} = 0,2 \text{ g}$$

$$m = (52,3 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,513 \pm 0,002) \text{ N}$$

## SECONDA PARTE MISURE IN ACQUA

### Prima misurazione: Ovetto vuoto

peso dell'ovetto vuoto (10 pesate)

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 4,0   |
| 2        | 4,0   |
| 3        | 3,7   |
| 4        | 4,0   |
| 5        | 4,0   |
| 6        | 4,1   |
| 7        | 4,0   |
| 8        | 4,1   |
| 9        | 4,0   |
| 10       | 4,0   |

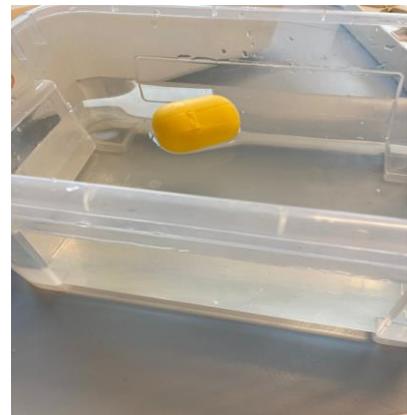
$$m = \frac{4,0+4,0+3,7+4,0+4,0+4,0+4,0+4,1+4,0+4,1+4,0+4,0}{10} = 4 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{4,1-3,7}{2} = 0,2 \text{ g}$$

$$m = (4,0 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,039 \pm 0,002) \text{ N}$$

L'oggetto galleggia in superficie



### Seconda misurazione: oggetto in sospensione, galleggia immerso

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 51,4  |
| 2        | 51,4  |
| 3        | 51,3  |
| 4        | 51,4  |
| 5        | 51,3  |
| 6        | 51,3  |
| 7        | 51,2  |
| 8        | 51,3  |

|    |      |
|----|------|
| 9  | 51,3 |
| 10 | 51,4 |

$$m = \frac{51,4+51,4+51,3+51,4+51,3+51,3+51,2+51,3+51,3+51,4}{10} = 51,33 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{51,4 - 51,2}{2} = 0,1 \text{ g}$$

$$m = (51,3 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,503 \pm 0,001) \text{ N}$$

Poiché in questa situazione la Forza peso è equilibrata dalla spinta di Archimede, è possibile calcolare la densità dell'acqua

$$P = S$$

$$mg = dVg$$

$$d = m/V = 0,95$$

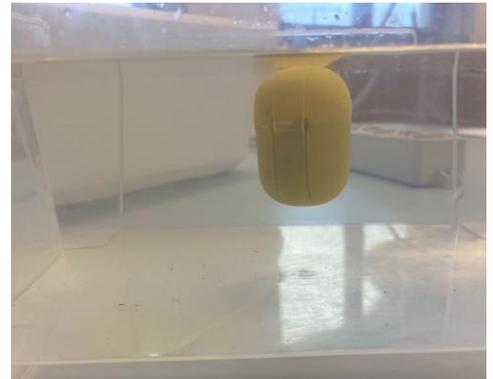
$$\varepsilon_r(\text{massa}) = 0,1/51,3 = 0,002$$

$$\varepsilon_r(\text{volume}) = 0,14$$

$$\varepsilon_{\text{tot}} = 0,142$$

$$\varepsilon_{\text{ASS}} = 0,142 \cdot 0,95 = 0,13 \text{ g/cm}^3 \rightarrow d = (1,0 \pm 0,1) \text{ cm}^3$$

La densità teorica dell'acqua è di  $0,997 \text{ g/cm}^3$  che è compatibile con il nostro risultato anche se dobbiamo segnalare un errore molto alto.



### Terza misurazione: l'oggetto tocca il fondo

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 52,3  |
| 2        | 52,3  |
| 3        | 52,3  |
| 4        | 52,4  |
| 5        | 52,3  |
| 6        | 52,4  |
| 7        | 52,2  |
| 8        | 52,3  |
| 9        | 52,3  |
| 10       | 52,4  |

$$m = 52,34 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{21,4 - 52,3}{2} = 0,05 \text{ g}$$

$$m = (51,34 \pm 0,05) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,5036 \pm 0,0005) \text{ N}$$



### TERZA PARTE MISURE IN OLIO DI SEMI

**Prima misurazione: Ovetto vuoto**  
 peso dell'ovetto vuoto (10 pesate)

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 4,0   |
| 2        | 4,0   |
| 3        | 3,7   |
| 4        | 4,0   |
| 5        | 4,0   |
| 6        | 4,1   |
| 7        | 4,0   |
| 8        | 4,1   |
| 9        | 4,0   |
| 10       | 4,0   |

$$m = \frac{4,0 + 4,0 + 3,7 + 4,0 + 4,0 + 4,0 + 4,1 + 4,0 + 4,1 + 4,0 + 4,0}{10} = 4 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{4,1 - 3,7}{2} = 0,2 \text{ g}$$

$$m = (4,0 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,039 \pm 0,002) \text{ N}$$

L'oggetto galleggia in superficie

## Seconda misurazione: oggetto in sospensione, galleggia immerso

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 49,4  |
| 2        | 49,4  |
| 3        | 49,3  |
| 4        | 49,4  |
| 5        | 49,3  |
| 6        | 49,3  |
| 7        | 49,2  |
| 8        | 49,3  |
| 9        | 49,3  |
| 10       | 49,4  |



$$m = \frac{49,4 + 49,4 + 49,3 + 49,4 + 49,3 + 49,3 + 49,2 + 49,3 + 49,3 + 49,4}{10} = 49,33 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{49,4 - 49,2}{2} = 0,1 \text{ g}$$

$$m = (49,3 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,484 \pm 0,001) \text{ N}$$

Poiché in questa situazione la Forza peso è equilibrata dalla spinta di Archimede, è possibile calcolare la densità dell'alcool

$$P = S$$

$$mg = dVg$$

$$d = m/V = 0,913$$

$$\varepsilon_r (\text{ massa}) = 0,1/49,3 = 0,002$$

$$\varepsilon_r (\text{ volume}) = 0,14$$

$$\varepsilon_{rtot} = 0,142$$

$$\varepsilon_{ASS} = 0,142 \cdot 0,913 = 0,13 \text{ g/cm}^3 \rightarrow d = (0,91 \pm 0,1) \text{ cm}^3$$

La densità teorica dell'olio di semi è compresa tra  $0,9180 \text{ g/cm}^3$  e  $0,9230 \text{ g/cm}^3$  che è compatibile con il nostro risultato, anche se dobbiamo segnalare un errore molto alto.

## Terza misurazione= l'oggetto tocca il fondo

| n pesata | m (g) |
|----------|-------|
| 1        | 51,8  |
| 2        | 51,9  |

|    |      |
|----|------|
| 3  | 51,9 |
| 4  | 52,0 |
| 5  | 51,9 |
| 6  | 51,9 |
| 7  | 51,9 |
| 8  | 51,9 |
| 9  | 51,8 |
| 10 | 52   |



$$m = 51,9 \text{ g}$$

$$\varepsilon = \frac{52 - 51,8}{2} = 0,1 \text{ g}$$

$$m = (51,9 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$P = mg = (0,509 \pm 0,001)\text{N}$$

### **ALLEGATO 3 RILEVAZIONE METEOROLOGICHE IN VISTA DEGLI ESPERIMENTI IN ARIA**

| MATTINO  | Pressione (hPa) | Temperatura (C) | Umidità (%) | Tempo meteorologico |
|----------|-----------------|-----------------|-------------|---------------------|
| giorno 1 | 966             | 9               | 95          | Pioggia             |
| giorno 2 | 965             | 8               | 95          | Pioggia             |
| giorno 3 | 997             | 14              | 41          | Sereno              |
| giorno 4 | 998             | 10              | 69          | Nuvoloso            |
| giorno 5 | 990             | 16              | 35          | Sereno con vento    |
| giorno 6 | 985             | 12              | 32          | Sereno con vento    |
| giorno 7 | 985             | 5               | 69          | Nuvoloso            |
| giorno 8 | 984             | 6               | 74          | Molto nuvoloso      |
| giorno 9 | 1010            | 6               | 56          | Nubi sparse         |

**ALLEGATO 4 RACCOLTA DAI E ANALISI DEI DATI ESPERIMENTI QUANTITATIVI CON PALLONCINI GONFIATI AD ELIO**

**Dati raccolti:**

Tutti e 4 i palloncini vuoti pesano 2,6g

**PALLONCINO 1**

Circonferenza massima palloncino (usando un filo):  $(70 \pm 0,1)$  cm

Ellissoide (usando il filo):  $(87 \pm 0,1)$  cm

| PESO AGGIUNTO AL PALLONCINO (g) | OSSERVAZIONE |
|---------------------------------|--------------|
| 5,6                             | vola         |
| 5,8                             | vola         |
| 6,1                             | vola         |
| 6,4                             | vola         |
| 6,8                             | cade         |
| 6,7                             | cade         |
| 6,6                             | cade         |
| 6,5                             | galleggia    |

**PALLONCINO 2**

circonferenza massima palloncino 2=  $(78 \pm 0,3)$  cm

ellissoide 2=  $(98 \pm 0,4)$  cm

| PESO AGGIUNTO AL PALLONCINO (g) | OSSERVAZIONE |
|---------------------------------|--------------|
| 5                               | vola         |
| 10                              | cade         |
| 9,5                             | cade         |
| 8,9                             | cade         |
| 8,5                             | cade         |
| 8,0                             | cade         |

|     |           |
|-----|-----------|
| 7,9 | galleggia |
| 7,8 | vola      |
| 7,6 | vola      |
| 7,0 | vola      |
| 6,3 | vola      |
| 6,2 | vola      |
| 6,1 | vola      |
| 5,9 | vola      |
| 6,0 | vola      |

### PALLONCINO 3

circonferenza=  $(61 \pm 0,3)$  cm

ellissoide=  $(68,5 \pm 0,3)$

| PESO AGGIUNTO AL PALLONCINO (g) | OSSERVAZIONE |
|---------------------------------|--------------|
| 2,1                             | vola         |
| 2,2                             | vola         |
| 2,8                             | cade         |
| 2,7                             | cade         |
| 2,6                             | cade         |
| 2,5                             | cade         |
| 2,4                             | cade         |
| 2,3                             | galleggia    |

### PALLONCINO 4

circonferenza=  $(47,5 \pm 0,2)$ cm

ellissoide=  $(50,5 \pm 0,2)$ cm

il palloncino non vola anche senza zavorra.

### ANALISI DEI DATI

#### PALLONCINO 1

Circonferenza massima palloncino (usando un filo):  $(70 \pm 0,3)$  cm

Ellissoide (usando il filo):  $(87 \pm 0,4)$  cm

$a = C/2\pi = 11,15$  cm

$\epsilon_a = 0,3$  cm

$a = (11,2 \pm 0,3)$  cm

$$b = \sqrt{C^2/2\pi^2 - a^2} = 16,07 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_b = 0,7 \text{ cm}$$

$$b = (16,1 \pm 0,7) \text{ cm}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi a^2 b = 8455,3 \text{ cm}^3$$

$$\varepsilon_{ra} = 0,27$$

$$\varepsilon_{rb} = 0,043$$

$$\varepsilon_{rV} = 0,043 + 0,027 = 0,07$$

$$\varepsilon_V = 591,9 \text{ cm}^3$$

$$V = (8500 \pm 600) \text{ cm}^3 = (8,5 \pm 0,6) \text{ dm}^3$$

### Calcolo della massa complessiva del palloncino

$$d(\text{Elio}) = 0,167 \text{ g/dm}^3$$

$$\varepsilon V = 0,6 \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon m_{\text{palloncino}} = 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)}$$

$$\varepsilon m_{\text{zavorra}} = 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)}$$

$$\varepsilon m_{\text{elio}} = \varepsilon V * d = 0,1 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{tot}} = 0,3 \text{ g (somma errori)}$$

$$m_{\text{tot}} = m(\text{palloncino}) + m(\text{zavorra}) + dV(\text{elio}) = (2,6 + 1,4 + 6,5) = (10,5 \pm 0,3) \text{ g}$$

### Calcola della massa dell'aria spostata

$$d(\text{aria}) = (1,1745 \pm 0,0015) \text{ g/dm}^3$$

$$\varepsilon d = 0,0015/1,1745 = 0,0013$$

$$\varepsilon m(\text{aria}) = (\varepsilon d + \varepsilon rV) = (0,0013 + 0,07) = 0,0713$$

$$m_{\text{aria}} = dV(\text{aria}) = 10,0 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{aria}} = 0,7 \text{ g}$$

$$m_{\text{aria}} = (10,0 \pm 0,7) \text{ g}$$

### Confronto della spinta idrostatica dovuta alla massa d'aria spostata con il peso complessivo del palloncino

$$S = m_{\text{aria}} * 9,81 = 98 \text{ N}$$

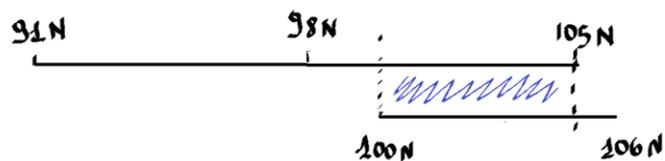
$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{aria}} * 9,81 = 7 \text{ N}$$

$$S = m_{\text{aria}} * 9,81 = (98 \pm 7) \text{ N}$$

$$Fp = m * 9,81 = 103 \text{ N}$$

$$\varepsilon = \varepsilon m * 9,81 = 3 \text{ N}$$

$$Fp = m * 9,81 = (103 \pm 3) \text{ N}$$



### PALLONCINO 2

$$\text{circonferenza massima palloncino} = (78 \pm 0,3) \text{ cm}$$

$$\text{ellissoide} = (98 \pm 0,4) \text{ cm}$$

$$a = C/2\pi = 12,42 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_a = 0,3 \text{ cm}$$

$$a = (12,4 \pm 0,3) \text{ cm}$$

$$b = \sqrt{C^2/2\pi^2 - a^2} = 18,25 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_b = 0,7 \text{ cm}$$

$$b = (18,3 \pm 0,7) \text{ cm}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi a^2 b = 11780,5 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \epsilon r a &= 0,024 \\ \epsilon r b &= 0,038 \\ \epsilon r V &= 0,038 + 0,024 = 0,062 \\ \epsilon V &= 730,4 \text{ cm}^3 \\ V &= (11800 \pm 700) \text{ cm}^3 = (11,8 \pm 0,7) \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

### Calcolo della massa complessiva del palloncino

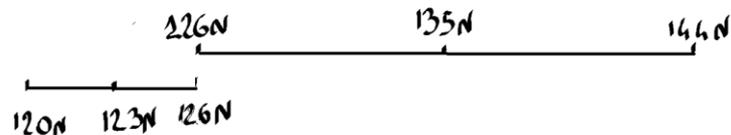
$$\begin{aligned} d_{\text{Elio}} &= 0,167 \text{ g/dm}^3 \\ m_{\text{elio}} &= dV(\text{elio}) = 11,8 * 0,167 = 2,0 \text{ g} \\ \epsilon m_{\text{elio}} &= \epsilon V * d = 0,1 \text{ g} \\ \epsilon m_{\text{palloncino}} &= 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)} \\ \epsilon m_{\text{zavorra}} &= 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)} \\ m_{\text{tot}} &= m(\text{palloncino}) + m(\text{zavorra}) + dV(\text{elio}) = (2,6 + 2,0 + 7,9) = 12,5 \text{ g} \\ \epsilon m_{\text{tot}} &= 0,3 \text{ g} \end{aligned}$$

### Calcola della massa dell'aria spostata

$$\begin{aligned} d(\text{aria}) &= (1,1745 \pm 0,0015) \text{ g/dm}^3 \\ \epsilon r d &= 0,0015 / 1,1745 = 0,0013 \\ \epsilon r m(\text{aria}) &= (\epsilon r d + \epsilon r V) = (0,0013 + 0,06) = 0,0613 \\ m_{\text{aria}} &= dV(\text{aria}) = 13,9 \text{ g} \\ \epsilon m_{\text{aria}} &= 0,8 \text{ g} \\ m_{\text{aria}} &= (13,8 \pm 0,9) \text{ g} \end{aligned}$$

### Confronto della spinta idrostatica dovuta alla massa d'aria spostata con il peso complessivo del palloncino

$$\begin{aligned} S &= m_{\text{aria}} * 9,81 = 135 \text{ N} \\ \epsilon &= \epsilon m_{\text{aria}} * 9,81 = 9 \text{ N} \\ S &= m_{\text{aria}} * 9,81 = (135 \pm 9) \text{ N} \\ F_p &= m * 9,81 = 123 \text{ N} \\ \epsilon &= \epsilon m * 9,81 = 3 \text{ N} \\ F_p &= m * 9,81 = (123 \pm 3) \text{ N} \end{aligned}$$




---

### PALLONCINO 3

$$\begin{aligned} \text{circonferenza} &= (61 \pm 0,3) \text{ cm} \\ \text{ellissoide} &= (68,5 \pm 0,3) \\ a &= C / 2\pi = 9,7 \text{ cm} \\ \epsilon a &= 0,3 \text{ cm} \\ a &= (9,7 \pm 0,3) \text{ cm} \\ b &= \sqrt{C^2 / 2\pi^2 - a^2} = 12,0 \text{ cm} \\ \epsilon b &= 0,6 \text{ cm} \\ b &= (12,0 \pm 0,6) \text{ cm} \\ V &= \frac{4}{3} \pi a^2 b = 4727,1 \text{ cm}^3 \\ \epsilon r a &= 0,031 \\ \epsilon r b &= 0,05 \\ \epsilon r V &= 0,081 \end{aligned}$$

$$\varepsilon V = 383 \text{ cm}^3$$

$$V = (4700 \pm 400) \text{ cm}^3 = (4,7 \pm 0,4) \text{ dm}^3$$

### Calcolo della massa complessiva del palloncino

$$d_{\text{elio}} = 0,167 \text{ g/dm}^3$$

$$m_{\text{elio}} = dV(\text{elio}) = 4,7 * 0,167 = 0,8 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{elio}} = \varepsilon V * d = 0,07 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{palloncino}} = 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)}$$

$$\varepsilon m_{\text{zavorra}} = 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)}$$

$$m_{\text{tot}} = m(\text{palloncino}) + m(\text{zavorra}) + dV(\text{elio}) = (2,6 + 0,8 + 2,3) = 5,7 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{tot}} = 0,3 \text{ g}$$

### Calcola della massa dell'aria spostata

$$d(\text{aria}) = (1,1745 \pm 0,0015) \text{ g/dm}^3$$

$$\varepsilon r d = 0,0015 / 1,1745 = 0,0013$$

$$\varepsilon r m(\text{aria}) = (\varepsilon r d + \varepsilon r V) = (0,0013 + 0,08) = 0,0813$$

$$m_{\text{aria}} = dV(\text{aria}) = 5,5 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{aria}} = 0,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{aria}} = (5,5 \pm 0,4) \text{ g}$$

### Confronto della spinta idrostatica dovuta alla massa d'aria spostata con il peso complessivo del palloncino

$$S = m_{\text{aria}} * 9,81 = 54 \text{ N}$$

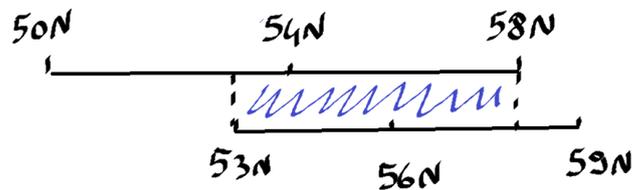
$$\varepsilon = \varepsilon m_{\text{aria}} * 9,81 = 4 \text{ N}$$

$$S = m_{\text{aria}} * 9,81 = (54 \pm 4) \text{ N}$$

$$F_p = m * 9,81 = 56 \text{ N}$$

$$F_p = m * 9,81 = (56 \pm 3) \text{ N}$$

$$\varepsilon = \varepsilon m * 9,81 = 3 \text{ N}$$



### PALLONCINO 4

$$\text{circonferenza} = (47,5 \pm 0,2) \text{ cm}$$

$$\text{ellissoide} = (50,5 \pm 0,2) \text{ cm}$$

il palloncino non vola

$$a = C / 2\pi = 7,56 \text{ cm}$$

$$\varepsilon a = 0,2 \text{ cm}$$

$$a = (7,56 \pm 0,2) \text{ cm}$$

$$b = \sqrt{C^2 / 2\pi^2 - a^2} = 8,5 \text{ cm}$$

$$\varepsilon b = 0,4 \text{ cm}$$

$$b = (8,5 \pm 0,4) \text{ cm}$$

$$V = V = \frac{4}{3} \pi a^2 b = 2035 \text{ cm}^3$$

$$\varepsilon a = 0,026$$

$$\varepsilon b = 0,047$$

$$\varepsilon r V = 0,026 + 0,047 = 0,073$$

$$\varepsilon V = 149 \text{ cm}^3$$

$$V = (2000 \pm 100) \text{ cm}^3 = (2,0 \pm 0,1) \text{ dm}^3$$

### Calcolo della massa complessiva del palloncino

$$d_{\text{Elio}} = 0,167 \text{ g/dm}^3$$

$$m_{\text{elio}} = dV(\text{elio}) = 2,0 * 0,167 = 0,3 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{elio}} = \varepsilon V * d = 0,01 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{palloncino}} = 0,1 \text{ g (sensibilità bilancia)}$$

$$m_{\text{tot}} = m(\text{palloncino}) + dV(\text{elio}) = (2,6+0,3) = 2,9 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{tot}} = 0,1 \text{ g}$$

### Calcola della massa dell'aria spostata

$$d(\text{aria}) = (1,1745 \pm 0,0015) \text{ g/dm}^3$$

$$\varepsilon d = 0,0015/1,1745 = 0,0013$$

$$\varepsilon m(\text{aria}) = (\varepsilon d + \varepsilon rV) = (0,0013 + 0,07) = 0,0713$$

$$m_{\text{aria}} = dV(\text{aria}) = 2,4 \text{ g}$$

$$\varepsilon m_{\text{aria}} = 0,2 \text{ g}$$

$$m_{\text{aria}} = (2,4 \pm 0,2) \text{ g}$$

### Confronto della spinta idrostatica dovuta alla massa d'aria spostata con il peso complessivo del palloncino

$$S = m_{\text{aria}} * 9,81 = 24 \text{ N}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{aria}} * 9,81 = 2 \text{ N}$$

$$S = m_{\text{aria}} * 9,81 = (24 \pm 2) \text{ N}$$

$$F_p = m * 9,81 = 28 \text{ N}$$

$$\varepsilon = \varepsilon m * 9,81 = 1 \text{ N}$$

$$F_p = m * 9,81 = (28 \pm 1) \text{ N}$$

### ALLEGATO 5 ANALISI DEI DATI ESPERIMENTI QUANTITATIVI CON MONGOLFIERA DI CARTA

#### Analisi dei dati:

Calcoliamo la densità dell'aria esterna e interna alla mongolfiera nei due casi in cui è riuscita a volare.

#### Aria esterna

$$t = (15,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (288,2 \pm 0,1) \text{ K}$$

$$P = (997 \pm 1) \text{ hPa} = (0,9842 \pm 0,0010) \text{ atm}$$

$$u = (44 \pm 2)\%$$

$$d = \frac{P}{T} \frac{MM}{R} = 1,2046 \text{ kg/m}^3 = \text{g/dm}^3$$

$$\varepsilon rP = 1/997 = 0,001$$

$$\varepsilon rT = 0,1/288,15 = 0,0003$$

$$\varepsilon d = 0,001 + 0,0003 = 0,0013$$

$$\varepsilon d = 0,0013 * 1,2046 = 0,0016 \text{ kg/m}^3$$

questa sarebbe la densità se l'aria fosse secca

Stimiamo la densità con un umidità di 44%

$$8 \text{ g/dm}^3 : 100\% = x : 77\% \quad x = 3,52 \text{ g/dm}^3$$

$$d = (1,2046 - 0,00352) = 1,2011 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{\text{aria fredda}} = (1,2011 \pm 0,0016) \text{ g/dm}^3$$

## Aria interna

### PRIMA PROVA

$$t = (70,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (343,2 \pm 0,1)\text{K}$$

$$d = \frac{P_{MM}}{T_R} = 1,0116 \text{ kg/m}^3 = \text{g/dm}^3 \text{ se l'aria fosse secca}$$

$$\varepsilon_P = 1/997 = 0,001$$

$$\varepsilon_T = 0,1/343,2 = 0,0003$$

$$\varepsilon_d = 0,001 + 0,0003 = 0,0013$$

$$\varepsilon d = 0,0013 * 1,0116 = 0,0013 \text{ kg/m}^3$$

Il peso specifico dell'aria diminuisce all'aumentare dell'umidità, e la differenza si fa più evidente con l'aumentare della temperatura poiché, tanto più l'aria è calda tanto maggiore è il suo punto di saturazione; infatti a  $100^\circ$   $1\text{dm}^3$  di aria secca pesa 0,357 g meno dell'aria satura. Stimiamo la densità dell'aria interna a  $70^\circ\text{C}$

$$357 \text{ g} : 100^\circ = x : 70^\circ$$

$$x = 0,250 \text{ g/dm}^3$$

$$0,250 \text{ g} : 100\% = x : 44\%$$

$$x = 0,110 \text{ g/dm}^3$$

$$d = (1,0116 - 0,110) = 0,9016 \text{ g/dm}^3$$

$$d_{\text{aria calda}} = (0,9016 \pm 0,0013) \text{ g/dm}^3$$

Determinazione del peso della mongolfiera: struttura e aria calda

$$P_{\text{peso mongolfiera}} = (0,23 \pm 0,01) \text{ N}$$

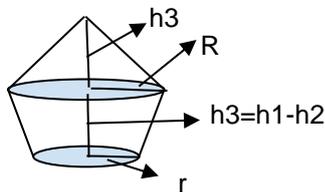
Volume mongolfiera:

la nostra mongolfiera può essere approssimata a un tronco di cono sormontato da un cono e uniti sulla base maggiore. L'area di base maggiore del tronco di cono è equivalente all'area di base del cono e le altezze sono le stesse.

$$\text{Diametro minore} = (31,5 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$\text{Diametro maggiore} = (55,4 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$\text{Altezza} = 2h_3 = (74,5 \pm 0,1) \text{ cm}$$



$$V = \frac{\pi R^2 h_1}{3} - \frac{\pi r^2 h_2}{3} + \frac{\pi R^2 h_3}{3}$$

$$r = r_{\text{minore}} = (15,8 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$R = r_{\text{maggiore}} = (27,7 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$\varepsilon_r = \frac{0,1}{15,8} = 0,006$$

$$h_3 = (37,3 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$h_1 : R = (h_1 - h_3) : r$$

$$h_1 r = (h_1 - h_3) R$$

$$h_1 (R - r) = h_3 R$$

$$h_1 = \frac{h_3 R}{R-r} = 86,8 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_{(R-r)} = 0,2 \text{ cm}$$

$$\varepsilon r_{(R-r)} = \frac{0,2}{11,9} = 0,017$$

$$\varepsilon r_R = \frac{0,1}{27,7} = 0,004$$

$$\varepsilon r_{h_3} = \frac{0,1}{37,3} = 0,003$$

$$\varepsilon r_{h_1} = 0,003 + 0,004 + 0,017 = 0,024$$

$$\varepsilon_{h_1} = 0,024 * 86,8 = 2 \text{ cm}$$

$$h_1 = (87 \pm 2) \text{ cm}$$

$$h_2 = (h_1 - h_3) = 49,3 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_{h_2} = 2 + 0,1 = 2,1 \text{ cm}$$

$$h_2 = (49,3 \pm 2) \text{ cm}$$

$$\varepsilon r_{h_2} = \frac{2}{49,3} = 0,04$$

$$V = \frac{\pi 27,7^2 86,8}{3} - \frac{\pi 15,8^2 49,3}{3} + \frac{\pi 27,7^2 37,3}{3} = 112546 \text{ cm}^3 = 112,5 \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon_V = (2\varepsilon r_R + \varepsilon r_{h_1}) * \left(\frac{\pi R^2 h_1}{3}\right) + (2\varepsilon r_r + \varepsilon r_{h_2}) * \left(\frac{\pi r^2 h_2}{3}\right) + (2\varepsilon r_R + \varepsilon r_{h_3}) * \left(\frac{\pi R^2 h_3}{3}\right)$$
$$= (0,032 * 69,7) + (0,052 * 12,9) + (0,011 * 30,3) = 3,2 \text{ dm}^3$$

$$V = (113 \pm 3) \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon_V = 0,03$$

$$m_{\text{aria calda}} = d_{\text{aria calda}} V = 102 \text{ g} = 0,102 \text{ Kg}$$

$$\varepsilon r_{d_{\text{aria calda}}} = \frac{0,0012}{0,9022} = 0,001$$

$$\varepsilon r_{m_{\text{aria calda}}} = 0,001 + 0,03 = 0,031$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,003 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{aria calda}} = (0,102 \pm 0,003) \text{ kg}$$

$$F_{\text{peso}} = (m_{\text{aria calda}} + m_{\text{fornello}}) * 9,81 + F_{\text{p mongolfiera}} = (0,98 + 0,10 + 0,23) \text{ N} = 1,31 \text{ N}$$

$$\varepsilon_{F_p} = ((0,003 + 0,0001) * 9,81 + 0,01) \text{ N} = 0,04 \text{ N}$$

$$F_{\text{peso}} = (1,31 \pm 0,04) \text{ N}$$

$$m_{\text{aria fredda}} = d_{\text{aria fredda}} V = 136 \text{ g} = 0,136 \text{ Kg}$$

$$\varepsilon r_{d_{\text{aria fredda}}} = \frac{0,0016}{1,2019} = 0,001$$

$$\varepsilon r_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,001 + 0,03 = 0,031$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,004 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{aria fredda}} = (0,136 \pm 0,004) \text{ kg}$$

$$S = m_{\text{aria fredda}} * 9,81 = 1,33 \text{ N}$$

$$\varepsilon_S = 0,04 \text{ N}$$

$$S = (1,33 \pm 0,04) \text{ N}$$

## Aria interna

### SECONDA PROVA

$$t = (100,5 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (373,7 \pm 0,1)\text{K}$$

$$d = \frac{P_{MM}}{T_R} = 0,9290 \text{ kg/m}^3 = \text{g/dm}^3 \text{ se l'aria fosse secca}$$

$$\varepsilon_P = 1/997 = 0,001$$

$$\varepsilon_T = 0,1/373,7 = 0,0003$$

$$\varepsilon_d = 0,001 + 0,0003 = 0,0013$$

$$\varepsilon d = 0,0013 * 0,9290 = 0,0012 \text{ kg/m}^3$$

Il peso specifico dell'aria diminuisce all'aumentare dell'umidità, e la differenza si fa più evidente con l'aumentare della temperatura poiché, tanto più l'aria è calda tanto maggiore è il suo punto di saturazione; infatti a  $100^\circ$   $1\text{dm}^3$  di aria secca pesa  $0,357 \text{ g}$  meno dell'aria satura.

$$d = (0,9290 - 0,357) = 0,5720 \text{ g/dm}^3$$

$$d_{\text{aria calda}} = (0,5720 \pm 0,0012) \text{ g/dm}^3$$

$$V = (113 \pm 3) \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon_V = 0,03$$

$$m_{\text{aria calda}} = d_{\text{aria calda}} V = 65 \text{ g} = 0,065 \text{ Kg}$$

$$\varepsilon_{d_{\text{aria calda}}} = \frac{0,0012}{0,5720} = 0,002$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,002 + 0,03 = 0,032$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,002 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{aria calda}} = (0,065 \pm 0,002) \text{ kg}$$

$$F_{\text{peso}} = (m_{\text{aria calda}} + m_{\text{fornello}}) * 9,81 + F_{\text{p mongolfiera}} = (0,64 + 0,22 + 0,23) \text{ N} = 1,09 \text{ N}$$

$$\varepsilon_{F_p} = ((0,003 + 0,0001) * 9,81 + 0,01) \text{ N} = 0,04 \text{ N}$$

$$F_{\text{peso}} = (1,09 \pm 0,04) \text{ N}$$

$$m_{\text{aria fredda}} = d_{\text{aria fredda}} V = 136 \text{ g} = 0,136 \text{ Kg}$$

$$\varepsilon_{d_{\text{aria fredda}}} = \frac{0,0016}{1,2019} = 0,001$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,001 + 0,03 = 0,031$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,004 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{aria fredda}} = (0,136 \pm 0,004) \text{ kg}$$

$$S = m_{\text{aria fredda}} * 9,81 = 1,33 \text{ N}$$

$$\varepsilon_S = 0,04 \text{ N}$$

$$S = (1,33 \pm 0,04) \text{ N}$$

## Aria interna

### TERZA PROVA

$$t = (81,3 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (354,5 \pm 0,1)\text{K}$$

$$d = \frac{P_{MM}}{T_R} = 0,9790 \text{ kg/m}^3 = \text{g/dm}^3 \text{ se l'aria fosse secca}$$

$$\varepsilon_P = 1/997 = 0,001$$

$$\varepsilon_T = 0,1/354,5 = 0,0003$$

$$\varepsilon_d = 0,001 + 0,0003 = 0,0013$$

$$\varepsilon_d = 0,0013 * 0,9790 = 0,0013 \text{ kg/m}^3$$

Il peso specifico dell'aria diminuisce all'aumentare dell'umidità, e la differenza si fa più evidente con l'aumentare della temperatura poiché, tanto più l'aria è calda tanto maggiore è il suo punto di saturazione; infatti a  $100^\circ$   $1\text{dm}^3$  di aria secca pesa 0,357 g meno dell'aria satura.

$$0,357\text{g}:100^\circ = x:81,3$$

$$x = 0,357 * 81,3/100 = 0,290\text{g}$$

$$d = (0,9790 - 0,290) = 0,6890 \text{ g/dm}^3$$

$$d_{\text{aria calda}} = (0,6890 \pm 0,0013) \text{ g/dm}^3$$

$$V = (113 \pm 3) \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon_V = 0,03$$

$$m_{\text{aria calda}} = d_{\text{aria calda}} V = 78\text{g} = 0,078\text{Kg}$$

$$\varepsilon_{d_{\text{aria calda}}} = \frac{0,0013}{0,6890} = 0,002$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,002 + 0,03 = 0,032$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,002\text{Kg}$$

$$m_{\text{aria calda}} = (0,078 \pm 0,002) \text{ kg}$$

$$F_{\text{peso}} = (m_{\text{aria calda}} + m_{\text{fornello}}) * 9,81 + F_{\text{pmongolfiera}} = (0,77 + 0,23 + 0,23)\text{N} = 1,23\text{N}$$

$$\varepsilon_{F_p} = ((0,003 + 0,0001) * 9,81 + 0,01)\text{N} = 0,04\text{N}$$

$$F_{\text{peso}} = (1,23 \pm 0,04) \text{ N}$$

$$m_{\text{aria fredda}} = d_{\text{aria fredda}} V = 136\text{g} = 0,136\text{Kg}$$

$$\varepsilon_{d_{\text{aria fredda}}} = \frac{0,0016}{1,2019} = 0,001$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,001 + 0,03 = 0,031$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,004\text{Kg}$$

$$m_{\text{aria calda}} = (0,136 \pm 0,004) \text{ kg}$$

$$S = m_{\text{aria fredda}} * 9,81 = 1,33\text{N}$$

$$\varepsilon_S = 0,04\text{N}$$

$$S = (1,33 \pm 0,04) \text{ N}$$

## Aria interna

### QUARTA PROVA

$$t = (91,5 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (364,7 \pm 0,1)\text{K}$$

$$d = \frac{P_{MM}}{T_R} = 0,9520 \text{ kg/m}^3 = \text{g/dm}^3 \text{ se l'aria fosse secca}$$

$$\varepsilon_P = 1/997 = 0,001$$

$$\varepsilon_T = 0,1/354,5 = 0,0003$$

$$\varepsilon_d = 0,001 + 0,0003 = 0,0013$$

$$\varepsilon d = 0,0013 * 0,9520 = 0,0012 \text{ kg/m}^3$$

Il peso specifico dell'aria diminuisce all'aumentare dell'umidità, e la differenza si fa più evidente con l'aumentare della temperatura poiché, tanto più l'aria è calda tanto maggiore è il suo punto di saturazione; infatti a  $100^\circ$   $1\text{dm}^3$  di aria secca pesa  $0,357\text{g}$  meno dell'aria satura.

$$0,357\text{g}:100^\circ = x:95,5^\circ$$

$$x = 0,357 * 95,5^\circ/100 = 0,341\text{g}$$

$$d = (0,9520 - 0,341) = 0,6110 \text{ g/dm}^3$$

$$d_{\text{aria calda}} = (0,6110 \pm 0,0012) \text{ g/dm}^3$$

$$V = (113 \pm 3) \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon_V = 0,03$$

$$m_{\text{aria calda}} = d_{\text{aria calda}} V = 69\text{g} = 0,069\text{Kg}$$

$$\varepsilon_{d_{\text{aria calda}}} = \frac{0,0012}{0,6110} = 0,002$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,002 + 0,03 = 0,032$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria calda}}} = 0,002\text{Kg}$$

$$m_{\text{aria calda}} = (0,069 \pm 0,002) \text{ kg}$$

$$F_{\text{peso}} = (m_{\text{aria calda}} + m_{\text{fornello}}) * 9,81 + F_{\text{p mongolfiera}} = (0,68 + 0,28 + 0,23)\text{N} = 1,19\text{N}$$

$$\varepsilon_{F_p} = ((0,003 + 0,0001) * 9,81 + 0,01)\text{N} = 0,04\text{N}$$

$$F_{\text{peso}} = (1,19 \pm 0,04) \text{ N}$$

$$m_{\text{aria fredda}} = d_{\text{aria fredda}} V = 136\text{g} = 0,136\text{Kg}$$

$$\varepsilon_{d_{\text{aria fredda}}} = \frac{0,0016}{1,2019} = 0,001$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,001 + 0,03 = 0,031$$

$$\varepsilon_{m_{\text{aria fredda}}} = 0,004\text{Kg}$$

$$m_{\text{aria calda}} = (0,136 \pm 0,004) \text{ kg}$$

$$S = m_{\text{aria fredda}} * 9,81 = 1,33\text{N}$$

$$\varepsilon_S = 0,04\text{N}$$

$$S = (1,33 \pm 0,04) \text{ N}$$

## **BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA**

[http://www.camerablimp.eu/spinta\\_idrostatica.htm](http://www.camerablimp.eu/spinta_idrostatica.htm)

<https://www.youmath.it/domande-a-risposte/view/3245-densita-aria.html>

<https://www.chimica-online.it/download/densita-dell-aria.htm>

Enrico Maddalena "Progettare, costruire e far volare le mongolfiere di carta" HOEPLI