

Docenti e studenti a confronto su:

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

Firenze, 19-20 aprile 2023

TERZO CLASSIFICATO

SEZIONE TESINE BIENNIO

DOVE ANDRANNO A FINIRE I PALLONCINI?

Studenti

Campedelli Alessandro – Castagnola Andrea - Esposito Christian - Sintini Filippo

Classe 2AL

Istituto di Istruzione Superiore

Liceo Scientifico Enzo Ferrari

Cesenatico (FC)

Docente Coordinatore

Greggi Gisella

Gli studenti, in coerenza con il tema del concorso, hanno eseguito una verifica della legge di Stevino. Per l'esecuzione delle misure hanno scelto situazioni particolarmente adatte: un alto condominio, la Torre degli Asinelli di Bologna, il Duomo di Milano. Molto accurata la raccolta dei dati, anche con la scelta di alcuni metodi di misura originali. L'elaborazione dei risultati sperimentali evidenzia un uso consapevole del foglio elettronico. La relazione, svolta in modo organico, è ben argomentata e linguisticamente corretta.

“Dove andranno a finire i palloncini?”



SCIENZA FIRENZE

"Lo studio dell'aria e dei fenomeni atmosferici"

Aprile 2023

Relazione del docente

Questa estate mi è capitato di visitare il giardino fenologico a San Pietro Capofiume vicino a Bologna e di assistere al lancio del pallone-sonda dell'ARPA.

Mentre il pallone saliva mi è venuta l'idea di proporre ai miei alunni uno studio del variare della pressione atmosferica man mano ci si alza da terra. L'andamento è "rapido"? Quando la pressione diventa praticamente nulla? Ma se la densità diminuisce man mano ci si alza da terra, è possibile ricavarne un valore medio? Incide la latitudine, e con essa la forza centrifuga, essendo la Terra un sistema rotante?

E poi, come facciamo? Noi abitiamo al mare e la nostra possibilità era salire sul grattacielo di Cesenatico con gli strumenti di misura. Oppure sulla ruota panoramica e confrontare $p(h)$ e $p(t)$ ma la ruota alla fine dell'estate è stata smontata.

Siamo dunque saliti sul grattacielo un giorno nuvoloso e anche un giorno limpido e ventoso. I miei alunni non si sono certo accontentati, e quindi un terzo giorno, usciti da scuola, ci siamo recati in treno a Bologna e siamo saliti sulla Torre degli Asinelli. Un quarto giorno, di domenica, ci siamo recati in treno a Milano e abbiamo raccolto le misure salendo fino al tetto del Duomo.

Durante le misure le domande si sono moltiplicate.

La legge di Stevino non mi era mai sembrata così interessante.

P.s. L'altro aspetto da sottolineare è che quest'anno siamo riusciti a formare due gruppi, coinvolgendo una collega giovane. Tra noi c'è stata fin dall'inizio grande collaborazione, e anche condivisione di misure, di idee, di lavoro... quindi, pur avendo i due gruppi due obiettivi differenti, lo scambio è stato quotidiano e molto utile.

Dove andranno a finire i palloncini?

INTRODUZIONE

L'aria

L'aria è una miscela di sostanze che costituisce l'atmosfera terrestre. Alcune di queste sostanze sono allo stato aeriforme, altre sono solide (particolato), mentre l'acqua è sotto forma di vapore.

La composizione dell'aria è variabile a seconda della quota. Per una quota fissata, il rapporto tra la quantità di azoto e la quantità di ossigeno contenuti nell'aria rimane pressoché costante grazie all'equilibrio tra il consumo e l'apporto continuo di tali elementi associati al ciclo dell'ossigeno e al ciclo dell'azoto; invece le concentrazioni di vapore acqueo e di anidride carbonica sono variabili.

Per tale motivo si indicano spesso le proprietà dell'aria privata dal vapore acqueo, che viene detta "aria secca", mentre in caso contrario si parla di "aria umida".

L'atmosfera

Il nostro pianeta è circondato dall'atmosfera, un miscuglio di gas che si estende, a partire dal suolo, per circa 1.000 km, meno di un decimo del diametro terrestre.

La troposfera

La troposfera è lo strato dell'atmosfera più denso e più vicino alla superficie terrestre e in media si estende in verticale fino ad una quota di 10 km; ha uno spessore di circa 7-8 km sopra ai poli, 10-12 km alle medie latitudini e ha spessore massimo, 16-20 km, al livello dell'equatore.

All'interno della troposfera hanno luogo i fenomeni meteorologici e le perturbazioni meteorologiche; in essa sono concentrati circa i 3/4 dell'intera massa gassosa e la quasi totalità di tutto il vapore acqueo.

La temperatura dell'aria della troposfera diminuisce con l'altitudine poiché viene riscaldata e raffreddata dalla superficie terrestre con un gradiente termico verticale di 0,65 °C ogni 100 m, ovvero la temperatura diminuisce di 0,65°C ogni 100 m (6.5 °C/km).

Il tempo atmosferico è una realtà fisica osservabile direttamente, la combinazione momentanea delle condizioni fisiche e termodinamiche (temperatura, umidità, pressione...) e dei fenomeni atmosferici in un luogo.

Noi ci siamo concentrati:

- sulla misura della pressione, analizzandone il nesso con l'altitudine,

- sul confronto dei dati presi al grattacielo di Cesenatico in due giorni diversi per temperatura e presenza o meno di vento,
- sul confronto dei dati presi a Cesenatico e a Bologna in due giornate più o meno ugualmente fredde e bigie.
- Sul confronto dei dati presi a Cesenatico e a Milano in due giornate più o meno ugualmente fredde e soleggiate.

NOTA TEORICA

Definizione di pressione

Si definisce pressione il rapporto tra il modulo della forza agente ortogonalmente su una superficie e l'area della superficie stessa:

$$p = F_{\perp} / S$$

Definizione di pressione atmosferica

Si definisce pressione atmosferica quella grandezza fisica che esprime il rapporto tra la forza peso della colonna d'aria che grava su una superficie e la misura dell'area della superficie stessa.

L'unità di misura della pressione e della pressione atmosferica coincidono: nel S.I. è il Pascal (Pa), che equivale ad 1 Newton su 1 metro quadrato (N/m²).

Queste due grandezze fisiche vengono misurate con strumenti diversi: il manometro per la pressione ed il barometro per la pressione atmosferica.

La legge di Stevino estesa ai fluidi comprimibili

La pressione all'interno di un fluido dipende proporzionalmente dalla profondità secondo la legge di Stevino:

$$p = d g h + P_{0 \text{ atm}}$$

dove:

p = pressione

p₀ = pressione al livello del mare

d = densità del fluido

h = profondità

Questa legge viene solitamente utilizzata per il calcolo della pressione prendendo in considerazione un fluido incompressibile come l'acqua.

Tuttavia per variazioni di altezza e densità relativamente piccole, questa legge può essere estesa anche ai fluidi comprimibili (nel nostro caso l'aria).

Questo aspetto ci ha permesso di calcolare molto facilmente un altro dato molto interessante, ossia la densità media dell'aria, dividendo per g il valore attendibile della pendenza del grafico p-h.

Per convenzione la densità media dell'aria è definita come quella misurata per l'aria secca (ad un tasso di umidità dello 0%) alla temperatura di 15 °C ed alla pressione di 1 atm (101325 Pa).

Sotto tali condizioni la densità media dell'aria è pari a 1,225 kg / m³.

Abbiamo anche calcolato lo **spessore della troposfera**, ponendo che la pressione ad una certa quota, dove appunto finisce la troposfera, sia praticamente nulla.

Per valutare la bontà dei nostri risultati, abbiamo calcolato lo **scostamento relativo** rispetto ai dati reperiti sui libri o su internet.

$$\text{Scostamento relativo} = \frac{|\text{Valore sperimentale} - \text{Valore teorico}|}{\text{Valore teorico}} \cdot 100$$

Quando ci siamo interrogati sul nesso pressione temperatura abbiamo fatto riferimento alla **legge di Gay-Lussac**: a volume costante, pressione e temperatura di un gas sono direttamente proporzionali, quindi il rapporto è costante.

$$p/T = \text{cost}$$

DESCRIZIONE DEL LAVORO SVOLTO

Come prima cosa ci siamo organizzati riguardo le app e proprio per trovare quelle migliori, e per verificare che andavano bene, abbiamo fatto delle prove generali a scuola, andando di piano in piano provando appunto le app. Grazie a queste prove abbiamo potuto osservare che l'altimetro non andava bene; non trovando app adeguate, abbiamo cambiato metodo di misurazione, (di cui parleremo più avanti) e ci siamo organizzati per andare prima alla torre degli Asinelli a Bologna, poi al grattacielo di Cesenatico, rispettivamente il 20 e il 22 dicembre.

Andando a Bologna e non avendo appunto un altimetro adeguato, abbiamo deciso di misurare l'altezza di un gradino, all'incirca 20 cm, ipotizzando che i gradini fossero più o meno ugualmente alti, e invece con le app funzionanti abbiamo misurato i valori della pressione, della temperatura e dell'umidità (misura che abbiamo poi deciso di trascurare). Tali valori erano tutto sommato attendibili.

Al grattacielo di Cesenatico invece siamo andati due volte, in due giorni con tempo diverso, cioè in una giornata di sole e una di brutto tempo, e abbiamo anche trovato una nuova app da utilizzare per misurare l'altitudine. Nella prima giornata di brutto tempo è andato tutto come previsto: le app funzionavano bene, ogni 20 gradini prendevamo le misure di pressione, temperatura e altezza e in seguito abbiamo fatto i grafici con Excel relativi alla relazione fra altezza e pressione. Il secondo giorno, di bel tempo, abbiamo ripetuto le misure relative alla temperatura, umidità, pressione e altezza. Solo che con quest'ultima misura c'è stato un piccolo

problema: infatti, effettuando con una app le misure dell'altitudine, questa ci veniva un po' "sballata" .

Ricapitoliamo. Inizialmente, mentre cercavamo le app migliori per trovare altitudine e pressione, non capivamo perché l'applicazione per misurare l'altitudine diceva che a scuola ci trovavamo a -0.5 m sotto il livello del mare (cosa non possibile in quanto siamo molto vicini al mare e questo avrebbe voluto dire che la nostra scuola sarebbe dovuta essere allagata) e quindi abbiamo pensato che l'app utilizzata era malfunzionante e abbiamo deciso di cambiare applicazione, o di organizzarci in altro modo.

Il primo giorno sul grattacielo la nuova app ci forniva l'altezza corretta, a terra 2m e in cima 113m, il secondo giorno invece ci siamo accorti che le altezze erano differenti a terra segnava -13m e in cima al grattacielo segnava 100m. Allora ci siamo chiesti il perché e siamo giunti alla conclusione che l'app forniva i dati di altitudine in base alla pressione! Infatti nel secondo giorno di misurazione c'era bel tempo e quindi alta pressione e l'applicazione forniva un'altitudine sbagliata, ma, dato che noi sappiamo che il grattacielo dal terreno alla cima del tetto misura 113 m, per comodità abbiamo deciso di traslare le misure dell'altitudine del terreno da -13m a 0m e quella della cima da 100m a 113m.

In seguito abbiamo preso alcune misure di pressione e di altezza anche a Milano ossia al Duomo. Per la pressione abbiamo utilizzato un barometro digitale, invece per l'altitudine abbiamo misurato lo spessore di un gradino con il righello che poi abbiamo moltiplicato per il numero di gradini che abbiamo percorso

STRUMENTI UTILIZZATI

Nome	Sensibilità	Portata
Barometro Digitale (Physics Toolbox Sensor Suite)	0,001 Pa	/
Altimetro Digitale (Physics Toolbox Sensor Suite)	0,01 m	/
Termometro Digitale (Meteo Online)	0,1 °C	/
Righello	0,001 m	2 m

DATI ED ELABORAZIONE DEI DATI OTTENUTI

Torre degli Asinelli

I dati riportati sono stati presi per mezzo di righello e app già citate in precedenza, mentre salivamo sulla Torre degli Asinelli a Bologna.

Per problemi tecnici non funzionava l'app dell'altimetro, quindi con un righello abbiamo misurato l'altezza di un gradino (0,19 m) e ci siamo fermati ogni 20 gradini per prendere le misure. Quindi l'altezza tra un intervallo e l'altro delle misurazioni è sempre costante e uguale a 3,8 m, poiché abbiamo considerato che gli scalini siano sempre alti 0,19 m. Abbiamo tenuto come altezza di base 72 m, poiché ricercando su internet abbiamo visto che l'altezza sul livello del mare della base della Torre degli Asinelli è pari a 72 m s.l.m. (sul livello del mare).

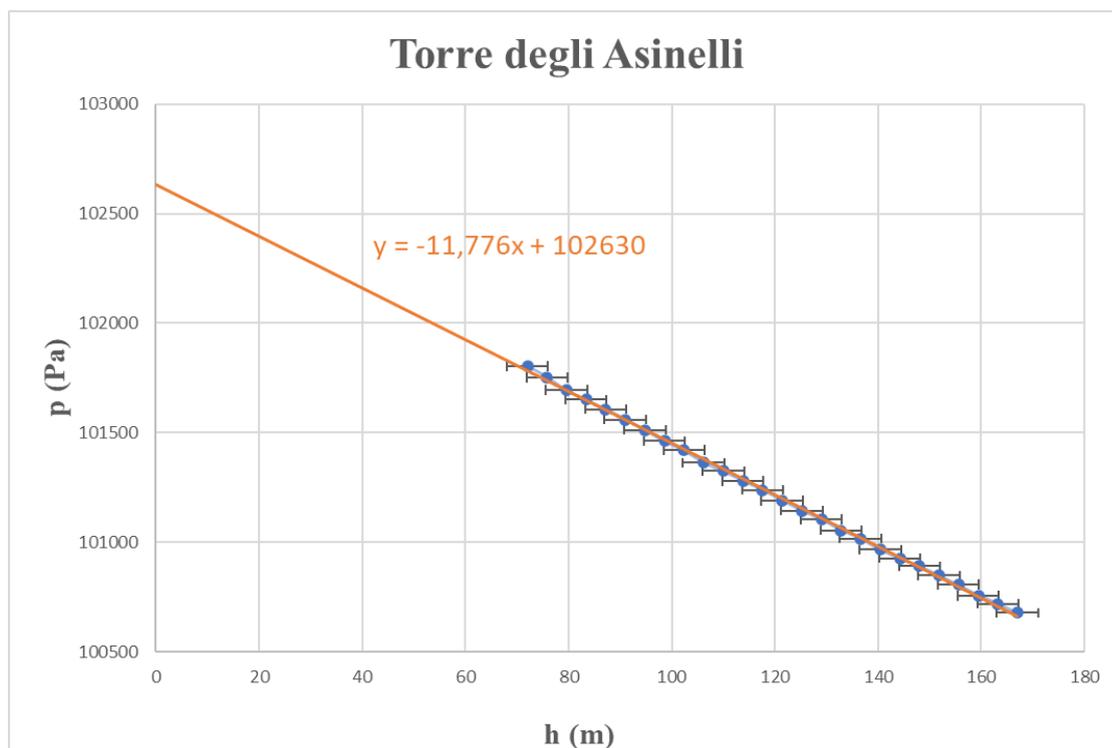
Inoltre bisogna considerare le condizioni atmosferiche di Bologna il giorno delle nostre misurazioni, ossia il 20 Dicembre 2022: la giornata era caratterizzata da nebbia alta e non c'era alcun segno di pioggia.

Tabella

h (m s.l.m.)	p (Pa)
$(7,20 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01804337 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,58 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01752869 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,96 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01695221 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,34 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01651161 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,72 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01606956 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,10 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01560753 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,48 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01513725 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,86 \pm 0,04) \cdot 10$	$(1,01463478 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,024 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01421906 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,062 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01363708 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,100 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01325241 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$

$(1,138 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01280777 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,176 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01239311 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,214 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,011190311 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,252 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01144684 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,290 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01106041 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,328 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01055534 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,366 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,01017853 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,404 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00966614 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,442 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00928467 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,480 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00892448 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,518 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00849686 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,556 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00808014 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,594 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00757332 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,632 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00720444 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,670 \pm 0,004) \cdot 10^2$	$(1,00679695 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$

Grafico ed elaborazione dei dati



Grazie al programma Microsoft Excel, sappiamo che il modulo della pendenza della retta di regressione è pari a 11,776 Pa/m.

Quindi verificheremo la Legge di Stevino, la quale afferma che:

$$p = g \cdot h \cdot d$$

Nel nostro caso essa diventa $p_{atm} = p_0_{atm} - g \cdot h \cdot d$

(il segno - è motivato dal fatto che, salendo, diminuisce l'altezza della colonna d'aria sopra di noi e con essa la pressione)

p=pressione

g=costante gravitazionale

h=altezza

d=densità

Avendo ricavato la pendenza del grafico, che nel nostro caso corrisponde al prodotto d·g, calcoliamo:

1. La densità media dell'aria
2. Lo spessore della troposfera alla latitudine di Bologna. Supposta costante la densità dell'aria, e supposto costante il campo g, pur sapendo che entrambi variano con l'altitudine, e supposto che all'estremità della troposfera si annulli la p_{atm}, ricaviamo $h = p_{0atm} / d \cdot g$

$$d = \text{pendenza} / g = 11,776 / 9,80665 = 1,201 \text{ kg/m}^3$$

Questo risultato si scosta dello 1,9% rispetto al dato reperito su internet.

Ponendo poi p=0 nell'equazione della retta di regressione, abbiamo ricavato

$$h = p_{0atm} / d \cdot g = 102630 / 11,776 = 8715,183 \text{ m}$$

Questo risultato rientra nel range 8-11 km che ci attendevano per l'altezza della troposfera

$P_{0atm} = 102700 \text{ Pa}$ si scosta dal dato ICAO (International Civil Aviation Organization) reperito sul sito dell'Arpa e dell'1,4%.

Inoltre a Bologna abbiamo misurato anche la temperatura, sia alla base della Torre sia in cima, e l'abbiamo associata alle relative pressioni, per andare a verificare che la temperatura sia direttamente proporzionale alla pressione.

Posizione	p (Pa)	T (°K)
Base	$(1,01804337 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,894 \pm 0,001) \cdot 10^2$
Cima	$(1,00679695 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,869 \pm 0,001) \cdot 10^2$

Per verificare la proporzionalità diretta abbiamo calcolato il rapporto tra la pressione atmosferica e la temperatura assoluta.

$$\frac{p}{T} = \frac{(101804,337 \pm 0,001) Pa}{(289,4 \pm 0,1) K} = (351,8 \pm 0,1) Pa/K$$

$$\frac{p}{T} = \frac{(100679,695 \pm 0,001) Pa}{(286,9 \pm 0,1) K} = (350,9 \pm 0,1) Pa/K$$

I dati all'interno della torre erano abbastanza allineati, ma non molto interessanti, in quanto la temperatura cala molto lentamente.

Grattacielo di Cesenatico (Giorno 1)

I dati riportati sono stati presi per mezzo delle app già citate in precedenza mentre scendevamo dal Grattacielo di Cesenatico.

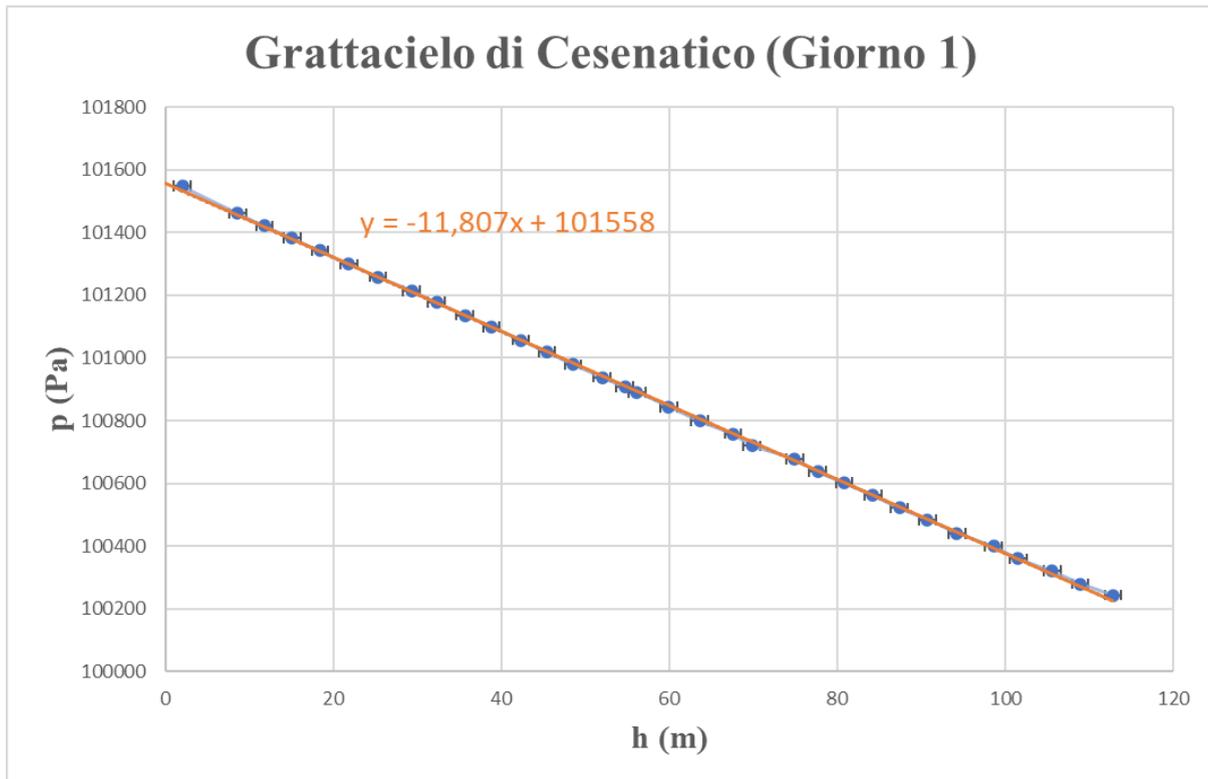
Inoltre bisogna considerare le condizioni atmosferiche di Cesenatico il giorno delle nostre misurazioni, ossia il 22 Dicembre 2022. La giornata era caratterizzata da nebbia alta, come era successo a Bologna.

Tabella

h (m s.l.m.)	p (Pa)
2,00 ± 0,01	(1,01548798 ± 0,00000001) · 10 ⁵
8,59 ± 0,01	(1,01461403 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(1,178 ± 0,001) · 10	(1,01421394 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(1,507 ± 0,001) · 10	(1,01383324 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(1,840 ± 0,001) · 10	(1,01342529 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(2,184 ± 0,001) · 10	(1,01299683 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(2,530 ± 0,001) · 10	(1,01258614 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(2,934 ± 0,001) · 10	(1,01241767 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(3,228 ± 0,001) · 10	(1,01177612 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(3,569 ± 0,001) · 10	(1,01135757 ± 0,00000001) · 10 ⁵
(3,882 ± 0,001) · 10	(1,01099182 ± 0,00000001) · 10 ⁵

$(4,232 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01057159 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(4,545 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01019287 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(4,855 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00978844 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,204 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00938408 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,474 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00907913 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,613 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00890549 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,996 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00843201 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(6,366 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00799614 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(6,759 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00758034 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(6,984 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00719116 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,432 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00678062 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,771 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00637505 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,085 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00601555 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,425 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00562294 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,743 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00520866 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,075 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00483482 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,425 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00440147 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,761 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00398438 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,0155 \pm 0,0001) \cdot 10^2$	$(1,00359459 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,0561 \pm 0,0001) \cdot 10^2$	$(1,00320908 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,0895 \pm 0,0001) \cdot 10^2$	$(1,00278801 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,1285 \pm 0,0001) \cdot 10^2$	$(1,00242645 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$

Grafico ed elaborazione dei dati



Grazie al programma Microsoft Excel, sappiamo che il modulo della pendenza della retta di regressione è pari a 11,807 Pa/m, quindi verificheremo nuovamente la Legge di Stevino.

Avendo ricavato la pendenza del grafico, che nel nostro caso corrisponde al prodotto $d \cdot g$, calcoliamo:

1. La densità media dell'aria
2. Lo spessore della troposfera alla latitudine di Cesenatico. Supposta costante la densità dell'aria, e supposto costante il campo g , pur sapendo che entrambi variano con l'altitudine, e supposto che all'estremità della troposfera si annulli la p_{atm} , ricaviamo $h = p_{oatm} / d \cdot g$

$$d = \text{pendenza} / g = 11,807 / 9,80665 = 1,204 \text{ kg/m}^3$$

Questo risultato si scosta dello 1,7% rispetto al dato reperito su internet.

$$h = p_{oatm} / d \cdot g = 101558 / 11,807 = 8601,50758 \text{ m}$$

Questo risultato rientra nel range 8-11 km che ci attendevano.

$P_{oatm} = 101558 \text{ Pa}$ si scosta dal dato ICAO reperito sul sito dell'Arpa dell'0,3%.

Grattacielo di Cesenatico (Giorno 2)

I dati riportati sono stati presi per mezzo delle app già citate in precedenza mentre scendevamo dal Grattacielo di Cesenatico.

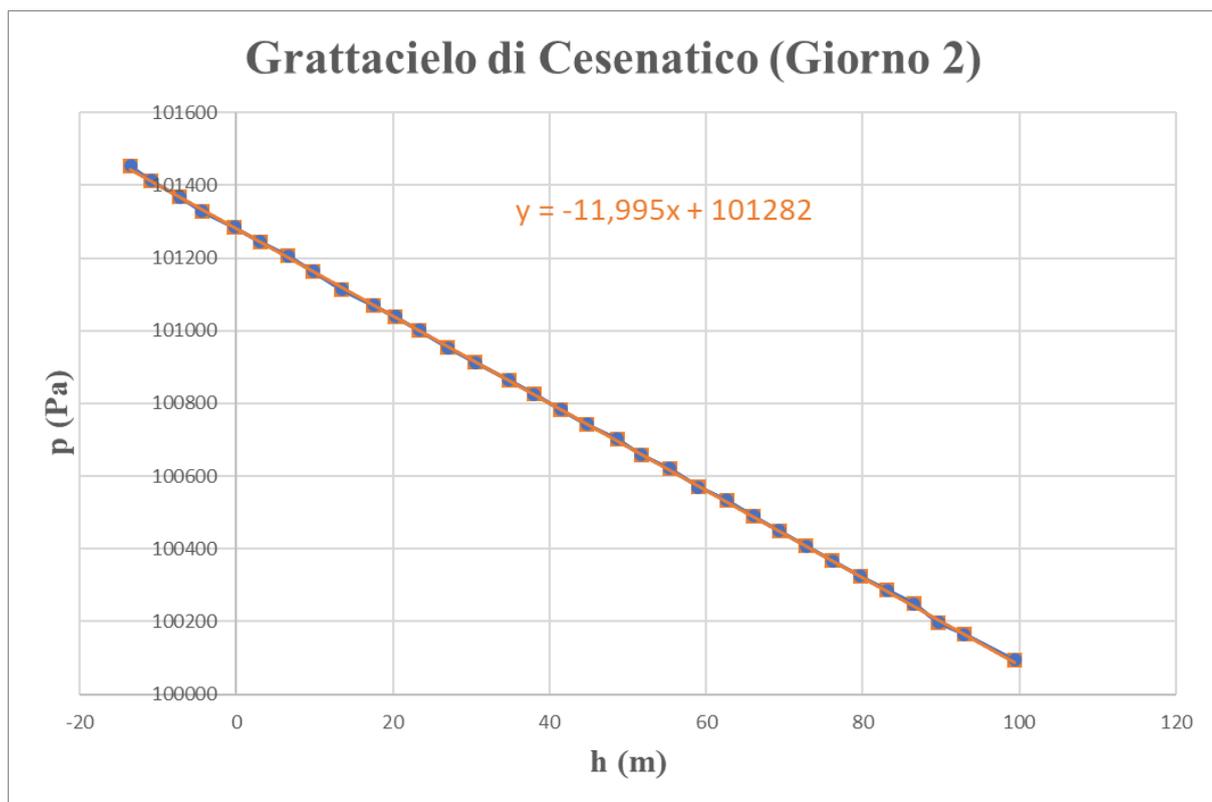
Inoltre bisogna considerare le condizioni atmosferiche di Cesenatico il giorno delle nostre misurazioni, ossia il 10 Gennaio 2023. La giornata era caratterizzata da molto sole e vento forte.

Tabella

h (m s.l.m.)	p (Pa)
$(-1,350 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01453903 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(-1,089 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01413200 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$-7,22 \pm 0,01$	$(1,01368279 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$-4,41 \pm 0,01$	$(1,01328758 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(-2,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-1}$	$(1,01285759 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$3,07 \pm 0,01$	$(1,01244367 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$6,62 \pm 0,01$	$(1,01205315 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$9,78 \pm 0,01$	$(1,01163063 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,344 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01114357 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,752 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01070198 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(2,030 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01038736 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(2,338 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,01001480 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(2,700 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00953237 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(3,051 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00913353 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(3,480 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00865059 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(3,803 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00824860 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(4,146 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00783638 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(4,481 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00743584 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$

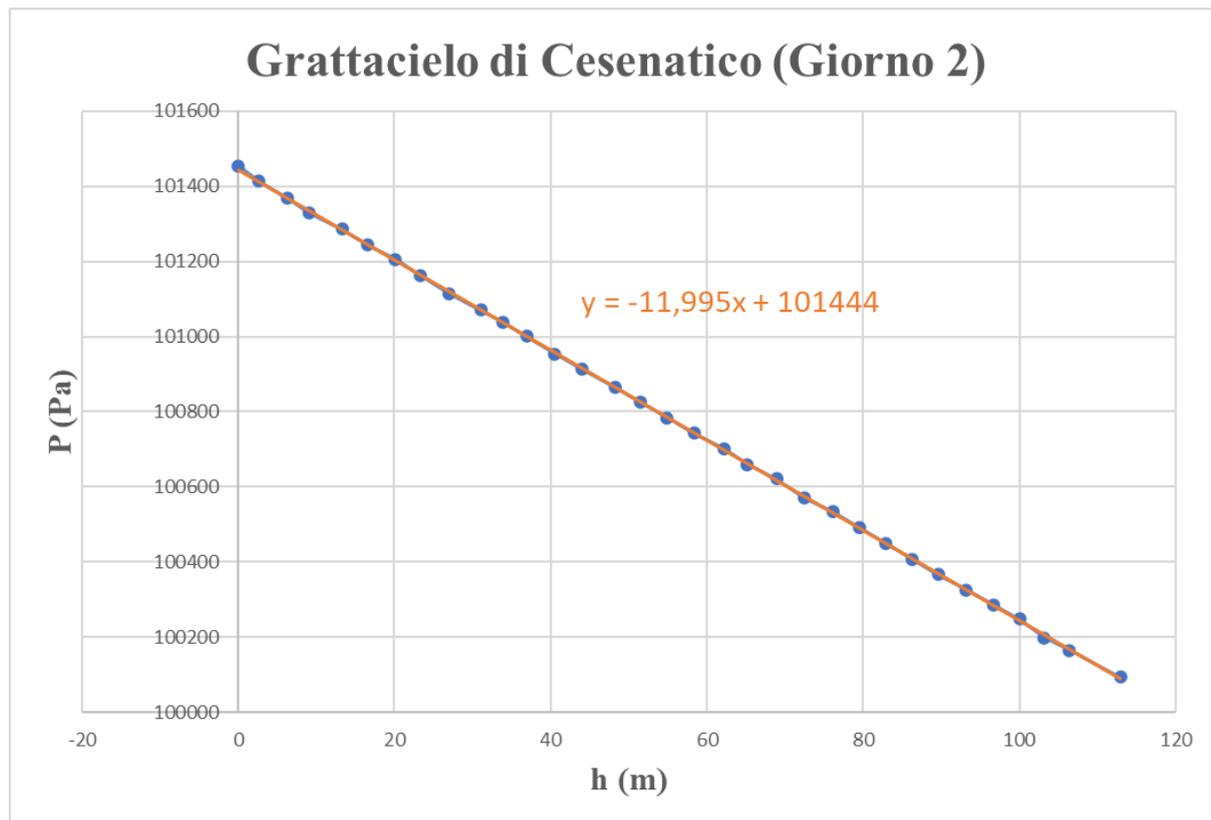
$(4,866 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00702370 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,169 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00658951 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,538 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00621475 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(5,901 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00569618 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(6,267 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00534279 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(6,604 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00491165 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(6,935 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00450546 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,274 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00407219 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,614 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00367355 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(7,971 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00325798 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,315 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00286743 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,651 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00248848 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(8,965 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00197891 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(9,292 \pm 0,001) \cdot 10$	$(1,00165237 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,0024 \pm 0,0001) \cdot 10^2$	$(1,00094009 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$

Grafico ed elaborazione dei dati



Nota:

Prima di analizzare questi dati dobbiamo fare un'osservazione: infatti l'app dell'altimetro ci dava che al piano terra del Grattacielo ci trovassimo 13,5 metri sotto il livello del mare! Dal momento che eravamo certi di non stare né soffocando né tantomeno di essere sotto terra abbiamo dedotto che la misura dell'altimetro fosse un po' inesatta, quindi abbiamo traslato tutti i dati dell'altezza di 13,5 m e fatto 2 grafici: il primo con i dati misurati, il secondo con quelli traslati. Del resto il grattacielo di Cesenatico è alto 113m e non 100m come misurava l'altimetro.



Grazie al programma Microsoft Excel, sappiamo che il modulo della pendenza di entrambe le rette di regressione è pari a 11,995 Pa/m, quindi verificheremo nuovamente la Legge di Stevino.

Avendo ricavato la pendenza del grafico, che nel nostro caso corrisponde al prodotto $d \cdot g$, calcoliamo:

1. La densità media dell'aria
2. Lo spessore della troposfera alla latitudine di Cesenatico. Supposta costante la densità dell'aria, e supposto costante il campo g , pur sapendo che entrambi variano con l'altitudine, e supposto che all'estremità della troposfera si annulli la p_{atm} , ricaviamo $h = p_{oatm} / d \cdot g$

$$d = \text{pendenza} / g = 11,995 / 9,80665 = 1,223 \text{ kg/m}^3.$$

Questo risultato si scosta dello 0,2% rispetto al dato reperito su internet.

$$h_{\text{dati misurati}} = p_{oatm} / d \cdot g = 101282 / 11,995 = 8443,68487 \text{ m}$$

$$h_{\text{dati traslati}} = p_{oatm} / d \cdot g = 101444 / 11,995 = 8457,19049 \text{ m}$$

Questo risultato rientra nel range 8-11 km che ci attendevano.

$P_{o_{atm}}=101282$ Pa (Dati misurati) si scosta dal dato ICAO reperito sul sito dell'Arpa e dell'0,04%.

$P_{o_{atm}}=101444$ Pa (Dati traslati) si scosta dal dato ICAO reperito sul sito dell'Arpa e dell'0,12%.

Duomo di Milano

I dati riportati sono stati presi per mezzo delle app già citate in precedenza mentre scendevamo dal tetto del Duomo di Milano. Essendo ormai chiaro che l'app dell'altimetro ci dava l'altezza derivata dalla pressione, abbiamo misurato l'altezza di un gradino (0,19 m) con un righello e ci siamo fermati ogni 50 gradini per prendere le misure, in modo tale da avere dati indipendenti tra loro.

Durante la raccolta dei dati al Duomo di Milano ci siamo imbattuti in un problema: il luogo era molto affollato, quindi, per evitare di bloccare troppo spesso il flusso dei turisti, abbiamo deciso di prendere le misure più velocemente e meno frequentemente, rendendole però così meno precise.

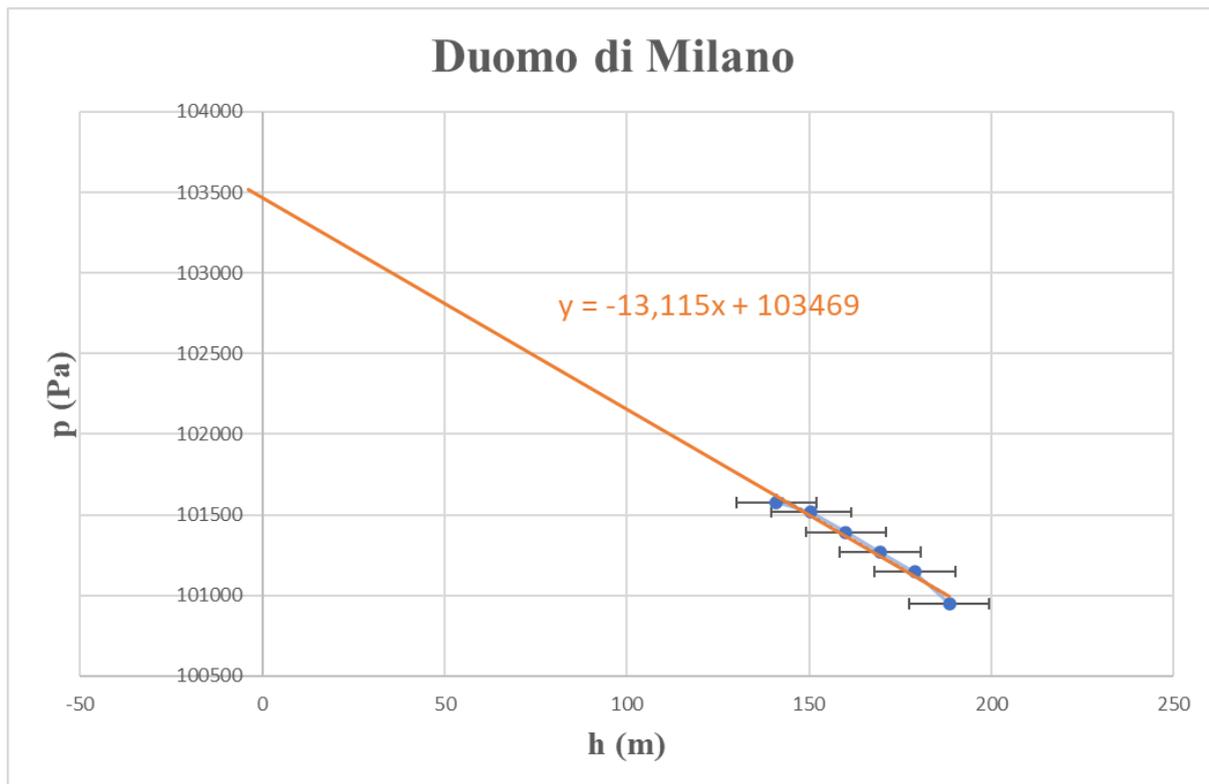
Quindi l'altezza tra un intervallo e l'altro delle misurazioni è sempre costante e uguale a 9,5 m, poiché abbiamo considerato che gli scalini siano sempre alti 0,19 m. Abbiamo tenuto come altezza di base 141 m, poiché ricercando su internet abbiamo visto che l'altezza sul livello del mare della base del Duomo di Milano è pari a 141 m s.l.m.

Inoltre bisogna considerare le condizioni atmosferiche di Milano il giorno delle nostre misurazioni, ossia il 5 Febbraio 2023. La giornata era caratterizzata da molto sole, vento forte e temperature basse, come a Cesenatico il secondo giorno.

Tabella

h (m s.l.m.)	p (Pa)
$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,01575493 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,01515228 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,01392365 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,01267921 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,8 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,01147720 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$
$(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,010948715 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$

Grafico ed elaborazione dei dati



Grazie al programma Microsoft Excel, sappiamo che il modulo della pendenza della retta di regressione è pari a 13,115 Pa/m, quindi verificheremo nuovamente la Legge di Stevino.

Avendo ricavato la pendenza del grafico, che nel nostro caso corrisponde al prodotto $d \cdot g$, calcoliamo:

1. La densità media dell'aria
2. Lo spessore della troposfera alla latitudine di Cesenatico. Supposta costante la densità dell'aria, e supposto costante il campo g , pur sapendo che entrambi variano con l'altitudine, e supposto che all'estremità della troposfera si annulli la p_{atm} , ricaviamo $h = p_{oatm} / d \cdot g$

$$d = \text{pendenza} / g = 13,115 / 9,80665 = 1,337 \text{ kg/m}^3.$$

Questo risultato si scosta dello 9,1% rispetto al dato reperito su internet.

$$h_{\text{dati misurati}} = p_{oatm} / d \cdot g = 103469 / 13,115 = 7889,36332 \text{ m}$$

Questo risultato rientra nel range 7-10 km che ci attendevano.

$$P_{oatm} = 103469 \text{ Pa si scosta dal dato ICAO reperito sul sito dell'Arpa e del 2,14\%.$$

Inoltre a Milano abbiamo misurato anche la temperatura, sia alla base del Duomo sia sul tetto, e l'abbiamo associata alle relative pressioni, per andare a verificare che la temperatura sia direttamente proporzionale alla pressione.

p (Pa)	T (°K)
$(1,01575493 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,807 \pm 0,001) \cdot 10^2$
$(1,00948715 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,806 \pm 0,001) \cdot 10^2$

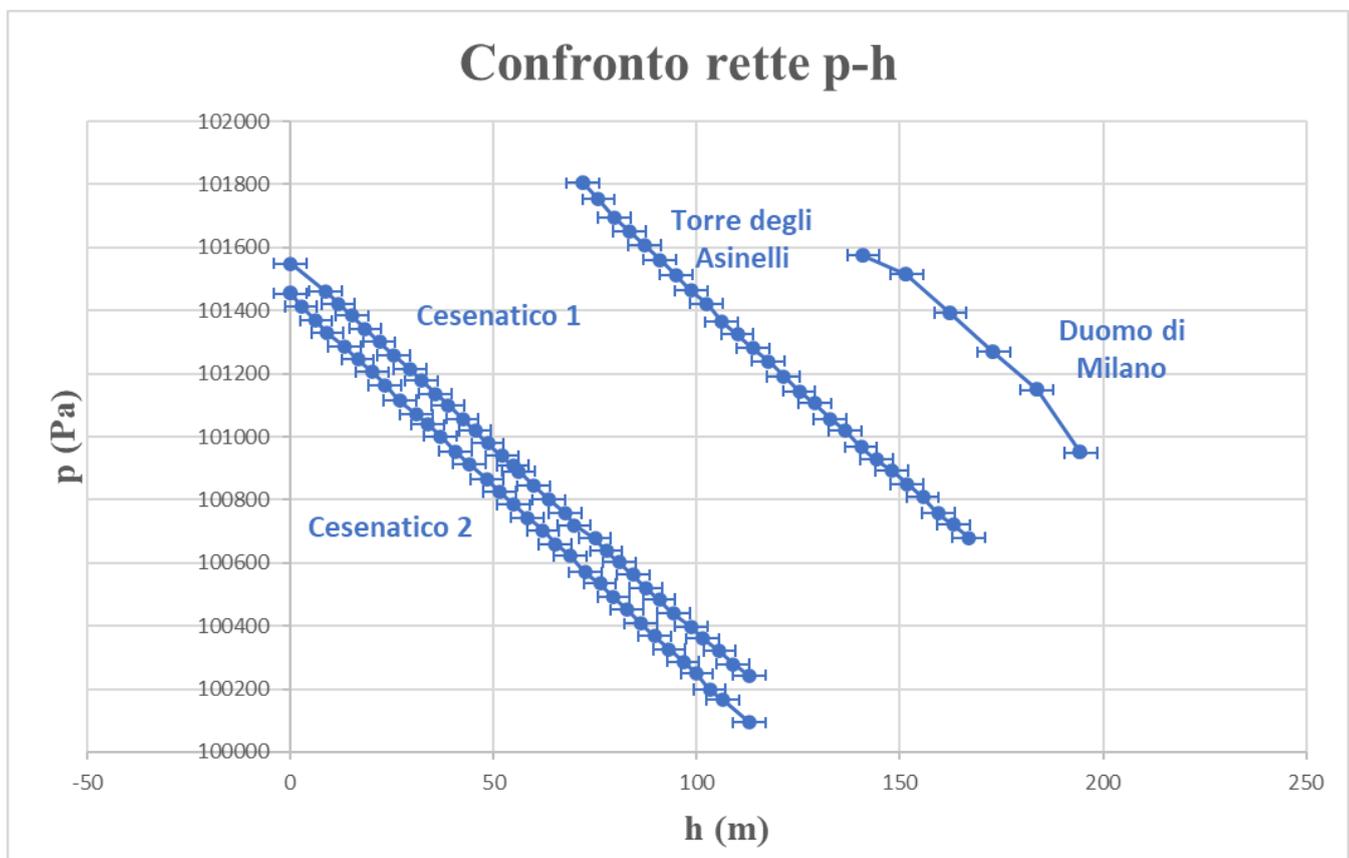
Per verificare la proporzionalità diretta abbiamo calcolato il rapporto tra la pressione atmosferica e la temperatura assoluta.

$$\frac{p}{T} = \frac{(101575,493 \pm 0,001) \text{ Pa}}{(280,7 \pm 0,1) \text{ °K}} = (361,9 \pm 0,1) \text{ Pa/°K}$$

$$\frac{p}{T} = \frac{(100948,715 \pm 0,001) \text{ Pa}}{(280,6 \pm 0,1) \text{ °K}} = (359,6 \pm 0,1) \text{ Pa/°K}$$

OSSERVAZIONI e CONCLUSIONI

ANALISI DELLE RELAZIONI TRA PRESSIONE E ALTEZZA E I DATI DA QUESTE RICAVABILI



LUOGO	MODULO PENDENZA RETTA	d	h _{TROPOSFERA}	P _{o atm}
TORRE DEGLI ASINELLI	(1,1776·10) Pa/m	1,201 kg/m ³	(8,715183·10 ³) m	(1,02700·10 ⁵) Pa
GRATTACIELO DI CESENATICO "GIORNO 1"	(1,1807·10) Pa/m	1,204 kg/m ³	(8,60150758·10 ³) m	(1,01558·10 ⁵) Pa
GRATTACIELO DI CESENATICO "GIORNO 2"	(1,1995·10) Pa/m	1,223 kg/m ³	(8,44368487·10 ³) m	(1,01282·10 ⁵) Pa
GRATTACIELO DI CESENATICO "GIORNO 2" (DATI TRASLATI)	(1,1995·10) Pa/m	1,223 kg/m ³	(8,45719049·10 ³) m	(1,01444·10 ⁵) Pa
DUOMO DI MILANO	(1,3115·10) Pa/m	1,337 kg/m ³	(7,88936332·10 ³)m	(1,03469·10 ⁵) Pa

Innanzitutto bisogna specificare che in tutti i grafici p-h i punti sono allineati. Grazie al programma Microsoft Excel abbiamo ricavato la pressione sul livello del mare e la pendenza delle rette e quindi il conseguente rapporto di linearità tra l'aumentare dell'altitudine e il diminuire della pressione.

Come già anticipato in precedenza, abbiamo sfruttato la Legge di Stevino per andare a calcolare sia la densità media dell'aria sia lo spessore della troposfera, ossia dove hanno luogo i fenomeni atmosferici e meteorologici.

Nel complesso i dati da noi catalogati risultano essere in linea tra di loro e con i dati reperiti in letteratura e su internet. Le condizioni meteo dei giorni delle nostre misurazioni sono parecchio lontane da quelle "standard" e anche per questo pensiamo che i nostri risultati siano accettabili.

Fanno eccezione i dati raccolti al Duomo, infatti, probabilmente a causa della penuria di dati, risultano essere un po' "sballati". Nonostante ciò, noi ci aspettavamo che lo spessore della troposfera si assottigliasse (in quanto Milano si trova ad una latitudine maggiore da quella di Cesenatico e Bologna), e questo si è verificato!

Avevamo anche ipotizzato che a Milano e a Bologna l'aria potesse essere più densa che a Cesenatico per via della maggior presenza di polveri sospese, anche questa nostra previsione è stata confermata a Milano, ma smentita a Bologna.

Qui di seguito abbiamo sintetizzato i confronti dei dati fra le varie città:

- Nel confronto fra i dati di **Bologna** e **Cesenatico 1** possiamo osservare come le condizioni meteo siano le stesse e di conseguenza anche i dati di d, h, p_0 registrati con le apposite app siano pressoché **simili**.
- Nel confronto fra i dati di **Cesenatico 1** e **Cesenatico 2** possiamo osservare come le condizioni meteo non siano le stesse ma bensì opposte (una giornata nuvolosa e una giornata di sole) e di conseguenza anche i dati di d, h, p_0 registrati con le apposite app siano **molto differenti**.
- Nel confronto fra i dati di **Cesenatico 2** e **Milano** possiamo osservare come le condizioni meteo siano le stesse e di conseguenza anche i dati di d, h, p_0 registrati con le apposite app siano pressoché **simili**.

ANALISI DEL RAPPORTO TRA LA PRESSIONE E LA TEMPERATURA

LUOGO	POSIZIONE	p (Pa)	T (°K)	p/T (Pa/°K)
TORRE DEGLI ASINELLI	Base	$(1,01804337 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,894 \pm 0,001) \cdot 10^2$	$(3,518 \pm 0,001) \cdot 10^2$
	Cima	$(1,00679695 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,869 \pm 0,001) \cdot 10^2$	$(3,509 \pm 0,001) \cdot 10^2$
DUOMO DI MILANO	Base	$(1,01575493 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,807 \pm 0,001) \cdot 10^2$	$(3,619 \pm 0,001) \cdot 10^2$
	Cima	$(1,00948715 \pm 0,00000001) \cdot 10^5$	$(2,806 \pm 0,001) \cdot 10^2$	$(3,596 \pm 0,001) \cdot 10^2$

Pressione e temperatura assoluta sono risultate proporzionali: il rapporto è in buona approssimazione costante.

BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

- Atmosphaera . realtà e miti dei cambiamenti climatici nel presente e nella storia del nostro pianeta. Euresis
- [/legge-stevino](#)
- https://it.wikipedia.org/wiki/Pressione_atmosferica
- <https://www.youmath.it/domande-a-risposte/view/3245-densita-aria.htm>
- <https://www.naturalmeteo.it/troposfera>