

Abano Terme, 10-13 novembre 2024

Riflessione sul concetto di gas

Claudia Andreini e Eleonora Aquilini



1. Dalla materia ... all'assenza di materia: Evangelista Torricelli

La concettualizzazione dello stato gassoso

Rispetto allo stato solido e allo stato liquido esiste la stessa asimmetria che si riscontra nella storia dell'uomo: mentre lo stato solido e liquido sono sempre stati percepiti e usati consapevolmente dall'umanità, lo stato gassoso ha iniziato ad esistere solo recentemente, agli inizi del **Settecento** (Hales, Black), sebbene fenomeni ed esperimenti nei quali erano implicati gas fossero noti dall'antichità.

Torricelli, Boyle, Hales, Black

Il concetto di gas nasce con:

- Torricelli (1644)- l'aria è materia: ha un peso e un volume ed esercita una pressione.
- Boyle (1660)- pone l'accento sul rapporto fra Pressione e Volume.
- Hales (1727) – l'aria è chimicamente attiva
- Con Black (1755) – si isola e si caratterizza la prima aria diversa dall'aria atmosferica: «l'aria fissa».

La protochimica

Pratica di manipolare le sostanze per sottoporle a trasformazioni:

I protagonisti:

apporto «pratico»: fabbri, tessitori, artisti, ceramisti, sacerdoti, guaritori ...

terracotta, vetro, calce, pigmenti minerali, coloritura tessuti, cosmetici, unguenti, profumi, saponi, medicinali,

apporto «teorico»: filosofi naturali (fornire una spiegazione ai fenomeni naturali)

Il Fuoco (*ignis mutat res*)

Legna: 600°C => fornaci (cottura argille)

Carbone: 1000°C (*perché?*) Cannelli e mantici (fusione metalli)

I metalli (lavorabilità!)

Pepite: Oro, Argento, Rame (4.000 a.C., fornaci)

Leghe: bronzo (3.000 a.C.; Rame e Stagno)

Ferro: (1.200 a.C.) $T_{fus} = 1.500\text{ °C}$ – residui carboniosi: acciaio

Piombo, Mercurio (Argento vivo)

I filosofi naturali

Due modelli contrapposti per la composizione della materia

Nella Grecia Classica si sviluppano due «modelli» per interpretare la composizione della materia

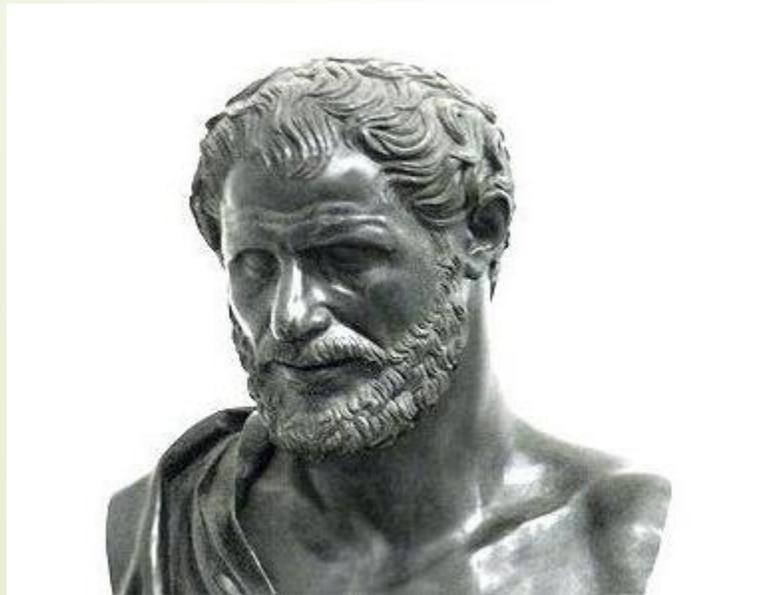
- ❑ Leucippo, Democrito, Epicuro, Lucrezio (romano)
- ❑ Platone, Aristotele

La materia secondo Democrito

La materia è discontinua

ogni corpo è costituito da particelle non percepibili con la vista
Indivisibili (atomi)
forme e grandezze differenti
in continuo movimento
fra le particelle c'è il vuoto

Accostandosi l'una all'altra (se forma e direzione del moto lo consentono)
danno origine a tutte le cose così come noi le vediamo.



Epicuro incluse anche il peso
come proprietà

Visione materialista

Democrito di Abdera (460-370 a.C.)

La materia secondo Aristotele

La materia è continua

Riempie completamente lo spazio a sua disposizione.

Formata da **quattro (5?) elementi**:

Terra, Acqua, Aria, Fuoco ed **Etere**

Corpi formati dalla mescolanza di due o più dei quattro elementi

A ogni elemento, attribuita una coppia di qualità

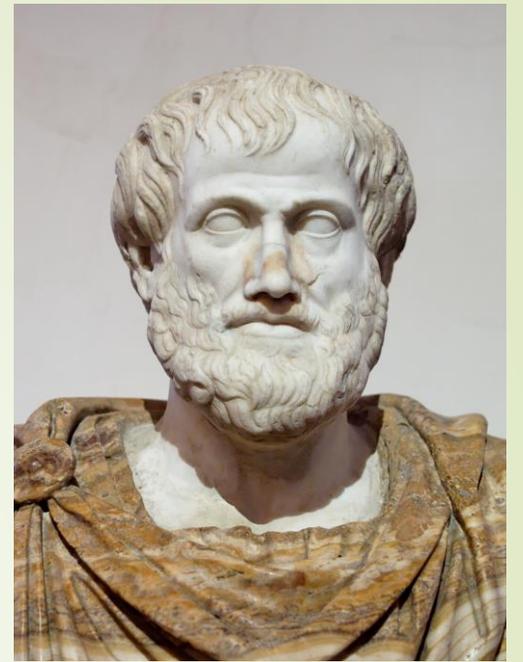
Aria: caldo/umido; fuoco: caldo/secco; acqua: freddo/umido; terra: freddo/secco.

Gli elementi possono trasformarsi l'uno nell'altro quando una qualità si trasforma nel suo contrario

Esempi?

l'acqua può diventare aria per azione del calore che trasforma il freddo in caldo;

il fuoco può diventare aria grazie all'umidità e così via



Aristotele (384 – 323 a.C.)



Etere: **essenza del mondo celeste** (quintessenza) eterno, immutabile, senza peso e trasparente

Proprio per l'eternità e l'immutabilità dell'etere, il **cosmo** era un luogo **immutabile**, in contrapposizione alla **Terra**, luogo di **cambiamento**.

Riproposto inizi dell'Ottocento **per spiegare la teoria ondulatoria della luce**, in contrapposizione alla teoria corpuscolare di Newton.

Esigenza di postulare un mezzo materiale in cui la luce potesse propagarsi, così come il suono si propaga attraverso l'aria. Come onda, la luce non avrebbe potuto diffondersi nel vuoto

Chi ha vinto?

Aristotele!!

Il modello «continuo» di Aristotele divenne il modello dominante per circa duemila anni, fino al 1600 quando ...

Galileo Galilei (1564 – 1642)

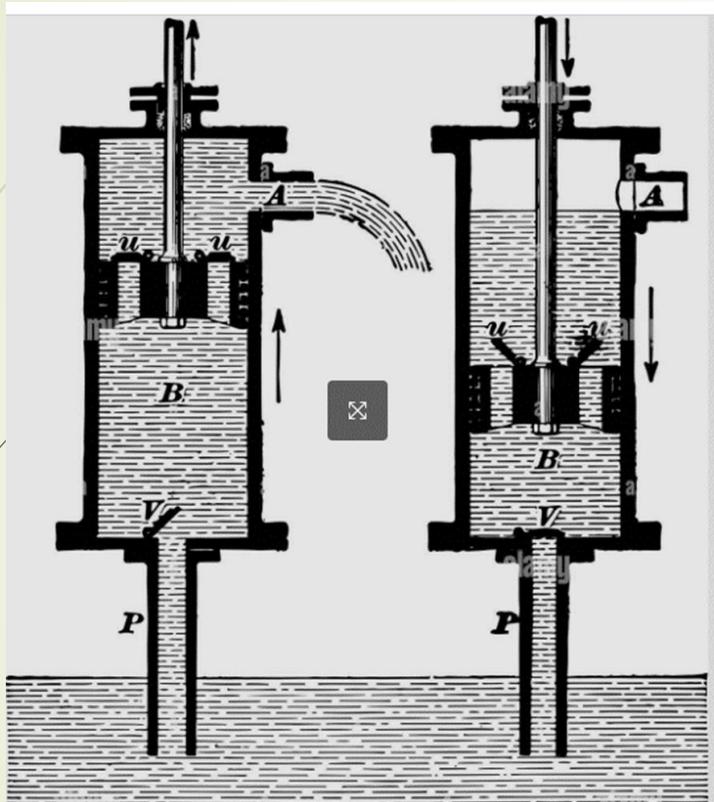
accettò l'ipotesi atomistica
origine del calore: movimento delle particelle

Isaac Newton (1642 – 1727)

Corpi macroscopici: formati da **particelle primordiali, minima**, simili agli atomi di Democrito ed Epicuro, separate da pori assolutamente vuoti. I minima erano: invisibili, immutabili, solidi, rigidi, duri, impenetrabili, mobili, e differivano solo per forma, dimensioni e inerzia. Particelle erano tenute insieme da **forze attrattive probabilmente di natura elettrica**, che si estendevano a distanze così piccole da sfuggire all'osservazione e non richiedere lo strofinio per manifestarsi.

1630: Abbiamo un problema ...

Sollevamento acque: pompe ad aspirazione



Quando il pistone sale la parte inferiore della camera si riempie di acqua

Problema ...

non si riesce a innalzare una colonna d'acqua più alta di 10 metri (circa)

Galileo (1630) propone che sia la «forza del vuoto» ad attirare l'acqua e che tale forza non può attirarne più di quanto osservato



Gasparo Berti: 1640-1643 esperimenti con acqua con un tubo da 11 m munito di due rubinetti. Aperto quello in basso e chiuso quello in alto osservò che la colonna di acqua era alta 10 m.

L'esperimento di Berti poneva due quesiti fondamentali:

- 1) cosa impediva all'acqua di defluire completamente?
- 2) cosa rimaneva nella porzione del fiasco e del tubo al posto dell'acqua.

... aprendo il rubinetto in alto, senti confluire l'aria

Il mancato svuotamento della colonna d'acqua immersa nella bacinella d'acqua venne spiegato dalla maggioranza degli scienziati e dei filosofi con la "**paura del vuoto**" anche detto «**horror vacui**», che nella teoria fisica di Aristotele rappresentava un concetto centrale. Si pensava, cioè, che il vuoto non potesse esistere e, conseguentemente, si supponeva che la natura si opponesse (opponesse resistenza) contro i tentativi effettuati per crearlo

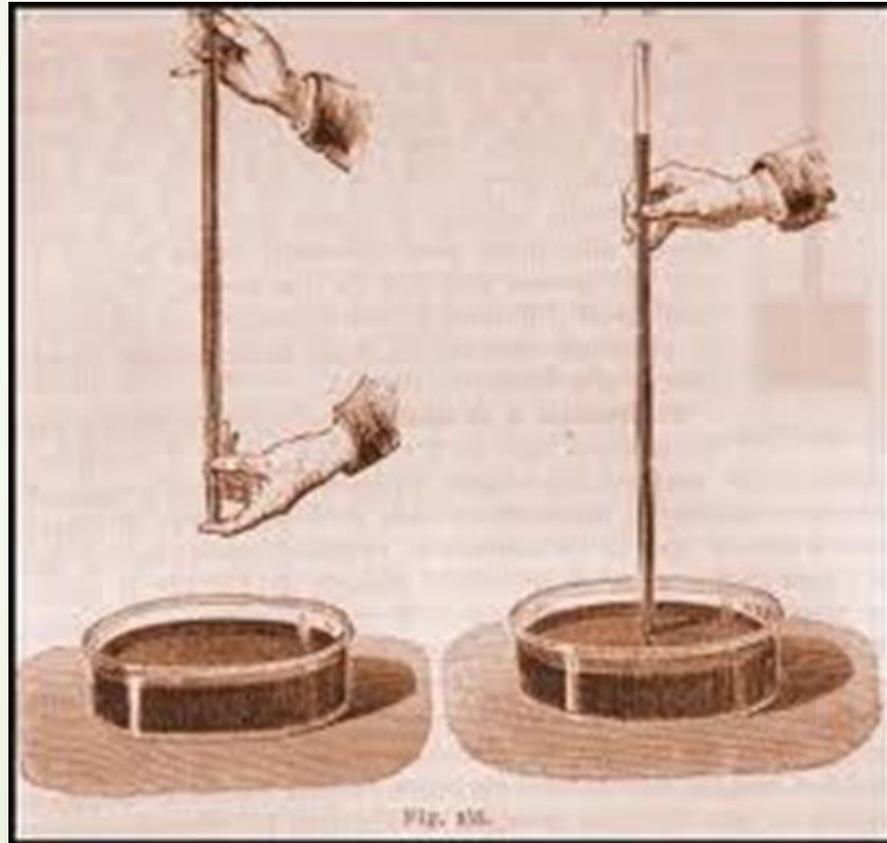


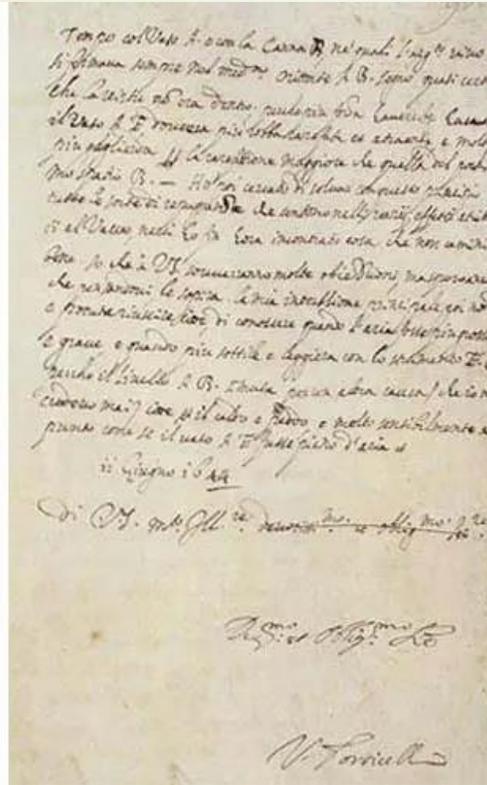
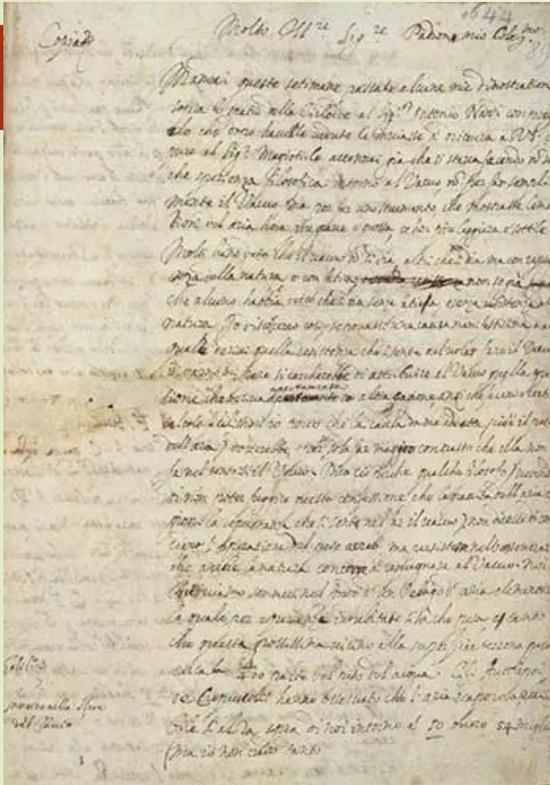
Horror vacui nell'arte: il sarcofago di Portonaccio (180 d.C.)

Evangelista Torricelli (allievo di Galilei)

Un anno dopo l'esperimento di Berti ...

1644 - sostituisce l'acqua con il mercurio, l'*argento vivo*





Lettera di Torricelli a Michelangelo Ricci (11 giugno 1644):

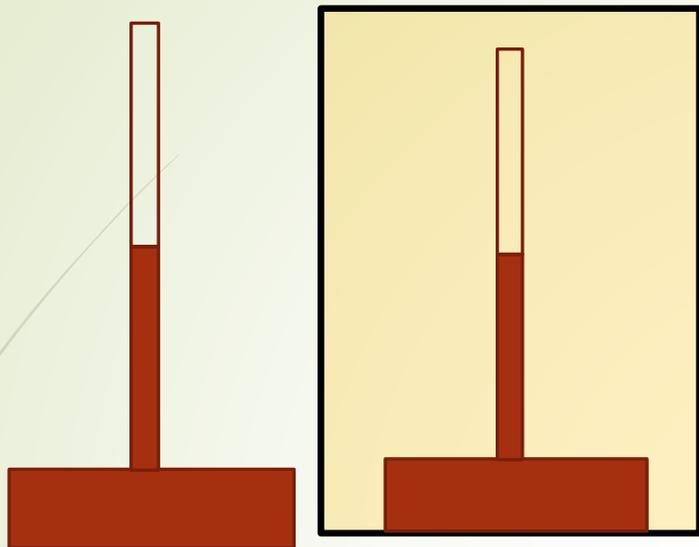
.. “Questa forza che regge quell'argento vivo contro la sua naturalezza a ricader giù **si è creduto fino adesso che sia interna al vaso**, o di vacuo, o di quella roba sommamente rarefatta; **ma io pretendo che la sia esterna** e che la forza venga dal di fuori. Su la superficie del liquore che è nella catinella gravita l'altezza di **50 miglia d'aria**” ...

“.. **noi siamo immersi nel fondo di un pelago di aria elementare** ...”

Lettera di Evangelista Torricelli a Michelangelo Ricci dell'11 giugno 1644

È l'aria che «spinge» non è il vuoto che «risucchia»

non per il **richiamo verso l'alto** da parte del vuoto ma per la **spinta dal basso** esercitata dal peso (o dalla pressione?) della colonna dell'aria



Obiezioni di Ricci (una settimana dopo
Lettera del 18 Giugno 1644) :

*1) se si mettono coperchi sopra la
bacinella su cui grava l'aria, la pressione
atmosferica non dovrebbe più esercitarsi
e il mercurio dovrebbe scendere...*

Torricelli risponde considerando due casi:

- se il coperchio aderisce al mercurio e allora è il coperchio stesso ad esercitare la pressione;
- se rimane dell'aria fra questa **avrà la stessa densità dell'aria esterna** e allora il mercurio non scenderà.

*«La colonna di mercurio non scenderà perché l'aria rimasta nella vaschetta **avrà la stessa condensazione dell'esterna**, allo stesso modo come, **tagliando trasversalmente con un ferro un cilindro di lana compressa da un peso**, la parte inferiore della lana rimane sempre compressa»*

2) Come mai il peso dell'aria si esercita non solo all'ingiù ma anche verso l'alto?

Torricelli risponde enunciando quello che sarà il principio di Pascal:

..... *“se bene i liquidi gravitano per natura in giù, in ogni modo spingono e schizzano per tutti i versi anco all'insù, purché trovino luoghi dove arrivare, cioè luoghi che resistano con forza minore della forza di essi liquidi.”*

3) Poiché un corpo immerso nell'acqua sente una pressione dovuta solo all'acqua spostata, che ha lo stesso volume del corpo, analogamente il mercurio nel tubo dovrebbe contrastare una quantità di aria pari al suo volume ed è assurdo che questa poca aria possa equilibrare quella del mercurio.

Torricelli risponde:

*“il metallo sostenuto in quel collo di vaso...è un corpo fluido, una superficie del quale confina col vacuo, che non gravita punto, l'altra superficie confina con aria premuta con tante miglia di aria ammassata... **Noi siamo immersi nel fondo di un pelago di aria elementare**” .*

Questa aria spinge il metallo fino a che si eguaglia il peso dell'aria.

Come verificare queste ipotesi?

Torricelli ripete l'esperienza con tubi di forma e lunghezza diversa

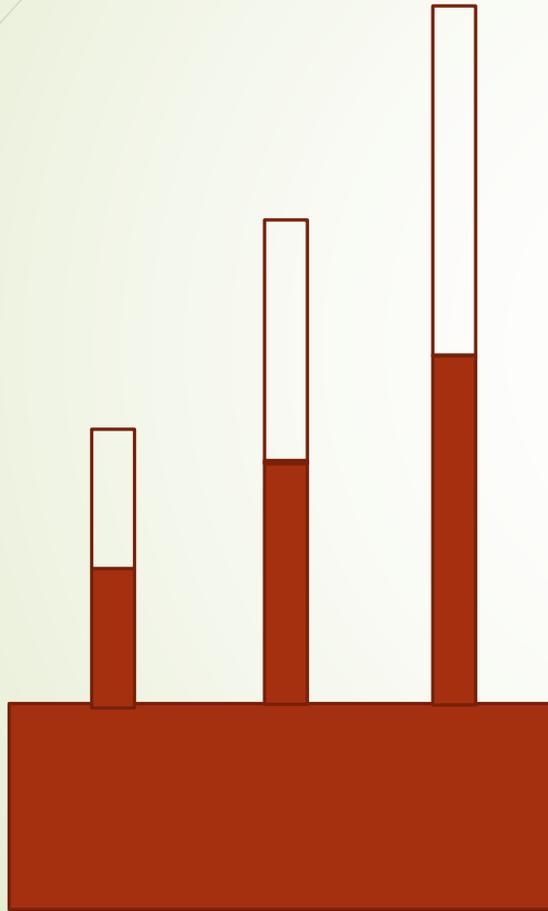


Perché usa tubi di forma e lunghezza diverse?

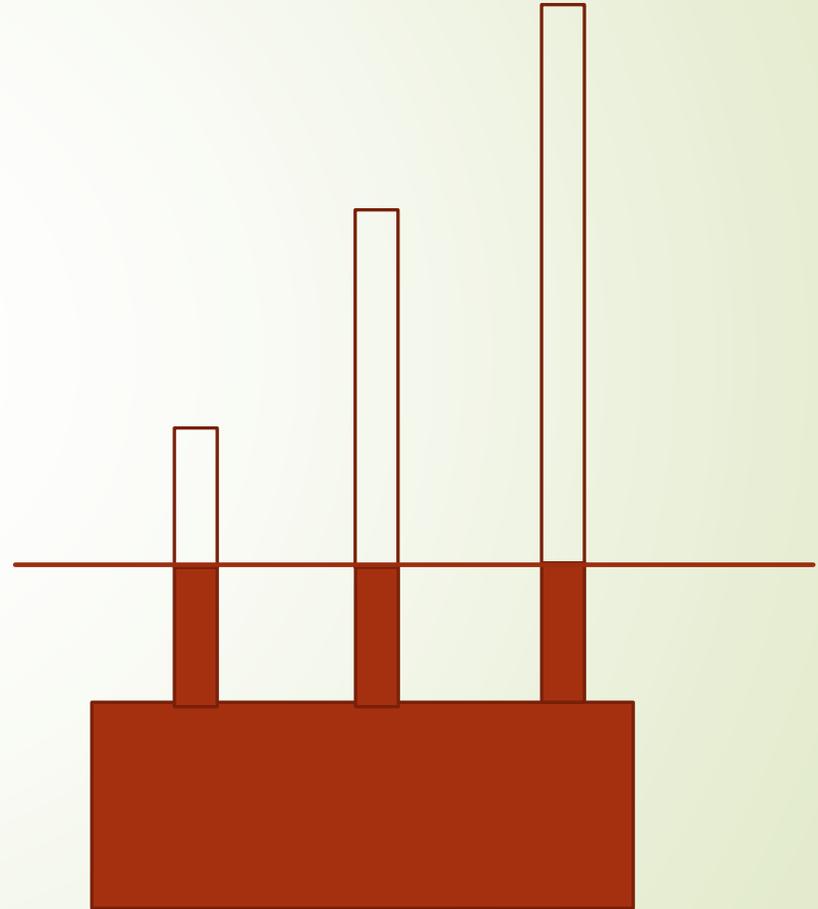
Quali risultati si poteva aspettare?

Lunghezze diverse

Questo?

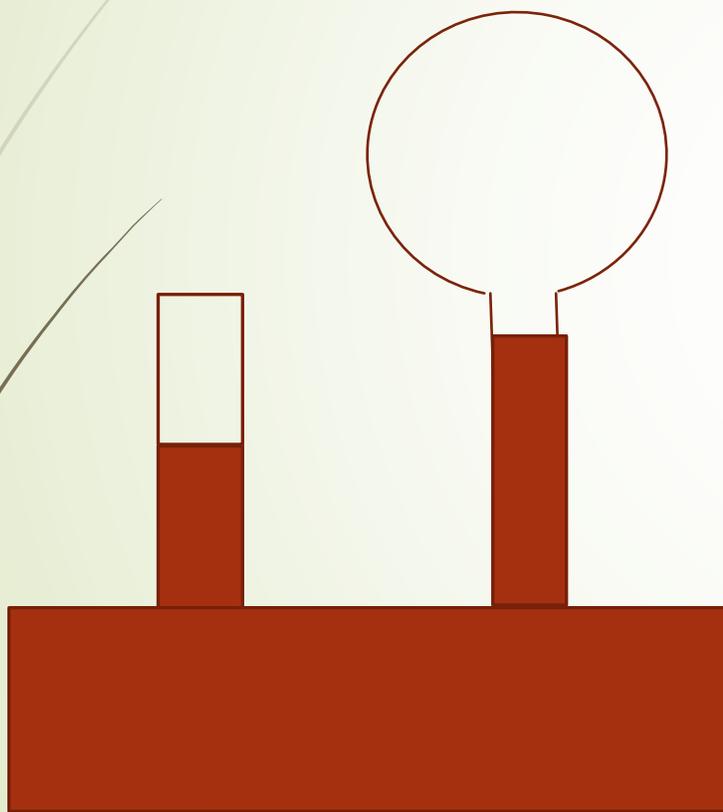


O questo?

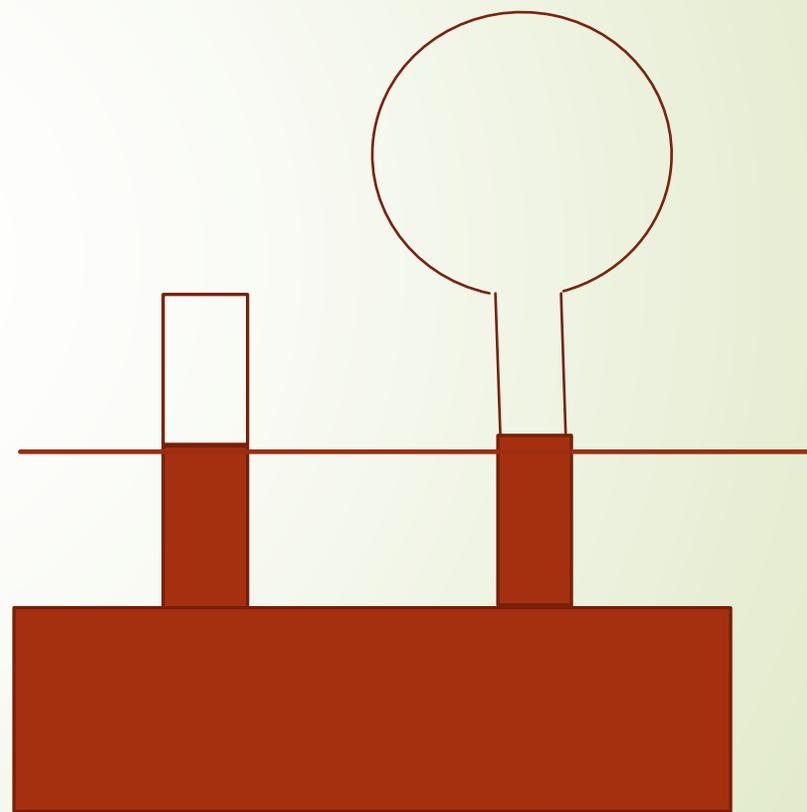


Forme diverse

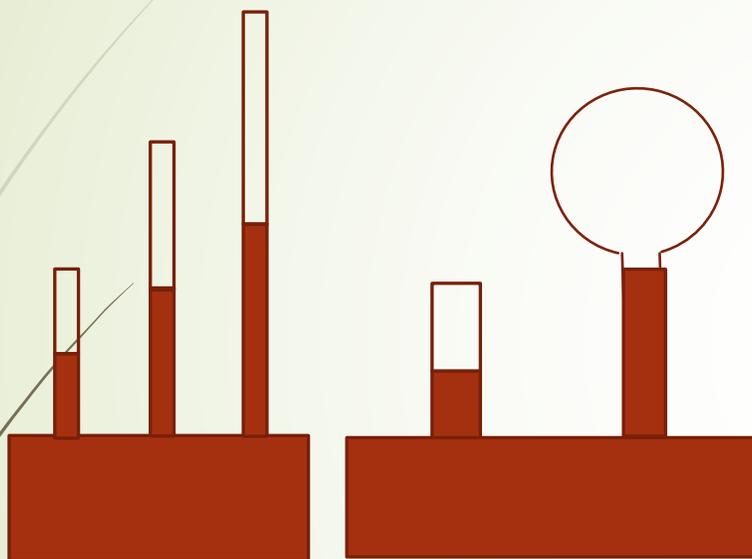
Questo?



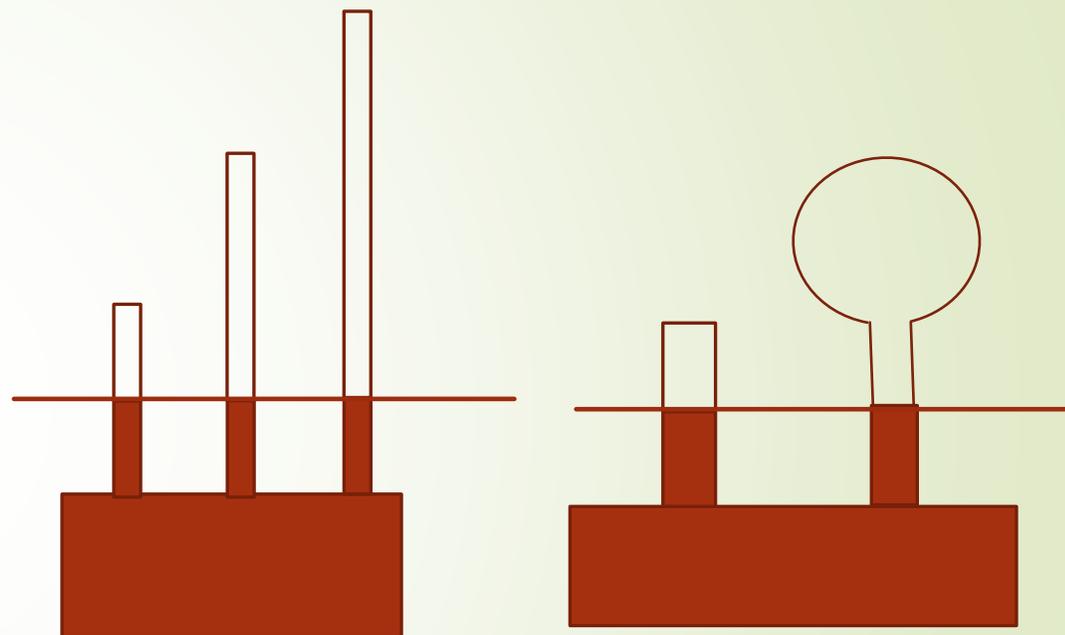
O questo?



Se è vera l'ipotesi «horror vacui» maggiore è il vuoto maggiore il richiamo verso l'alto ... maggiore il livello nel tubo



Horror vacui



Risultati

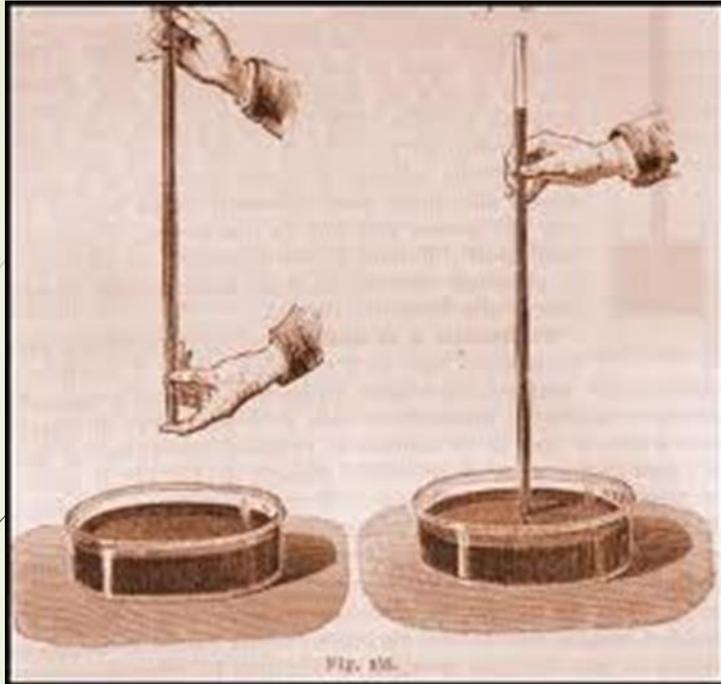
Conclusione: non è l'horror vacui a innalzare il mercurio nel tubo



Secondo voi, se si colloca un tubo «vuoto» (ovvero ... pieno d'aria!!), chiuso ad una estremità, capovolto in una bacinella contenente mercurio o acqua, cosa pensate che accada?

Se si colloca un tubo di gomma all'interno del dispositivo torricelliano, che cosa pensate che accada e perché?

Perché la colonna di mercurio è alta 76 cm e la colonna di acqua 10 m?



Peso specifico mercurio: $P_{s,Hg} = 13,6 \text{ g cm}^{-3}$

Peso specifico acqua: $P_{s,acqua} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$

Il mercurio ha un «peso» 13,6 volte maggiore di quello dell'acqua

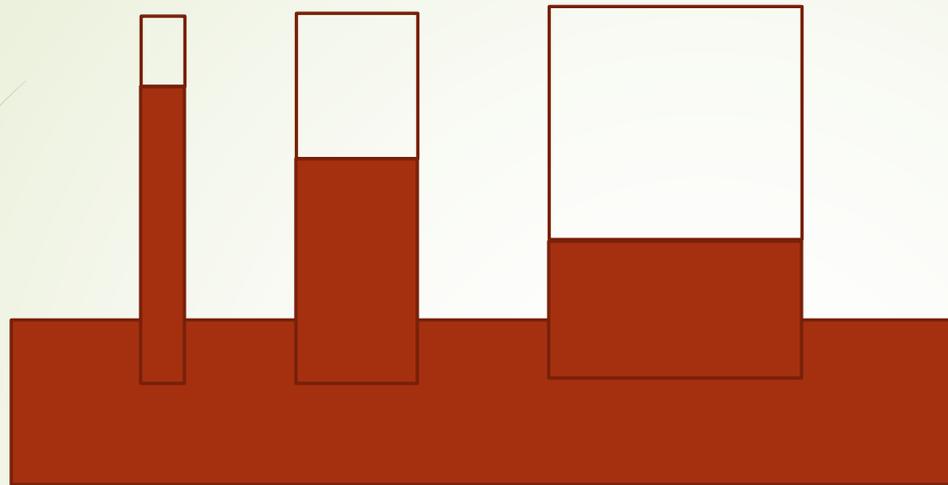
A parità di diametro del tubo, **i valori delle altezze della colonna d'acqua e di mercurio sono in rapporto inverso a quello dei loro pesi specifici**

$$\frac{h_{acqua}}{h_{Hg}} = \frac{P_{s,Hg}}{P_{s,acqua}}$$

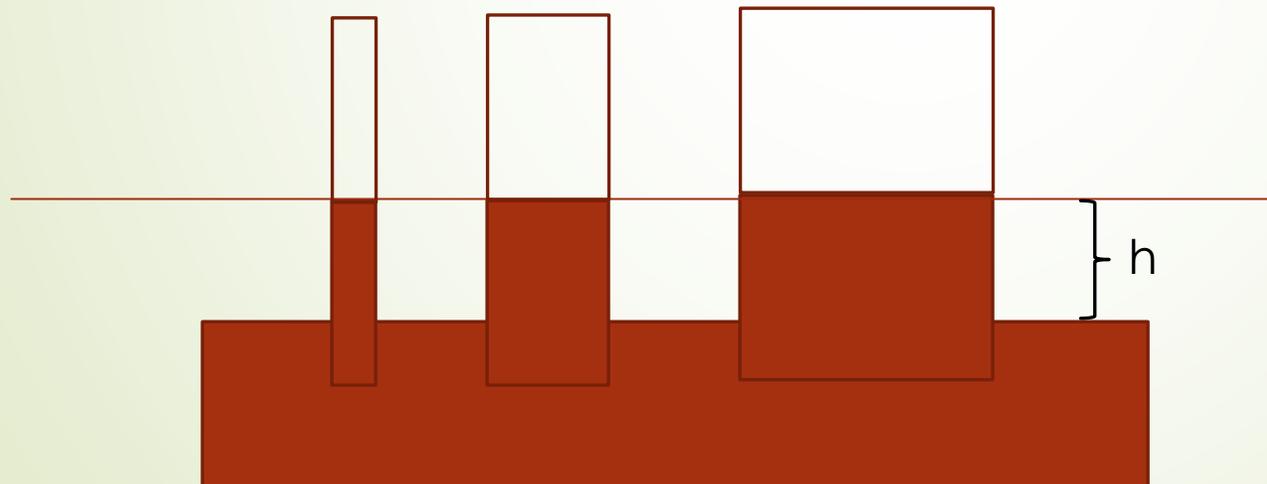
$$h_{acqua} = \frac{h_{Hg} \times P_{s,Hg}}{P_{s,acqua}} = \frac{76 \times 13}{1} = 1033 \text{ cm} = 10,33 \text{ m}$$

Cosa succede al mercurio se le colonne sono di ampiezze diverse?

Questo? Perché?

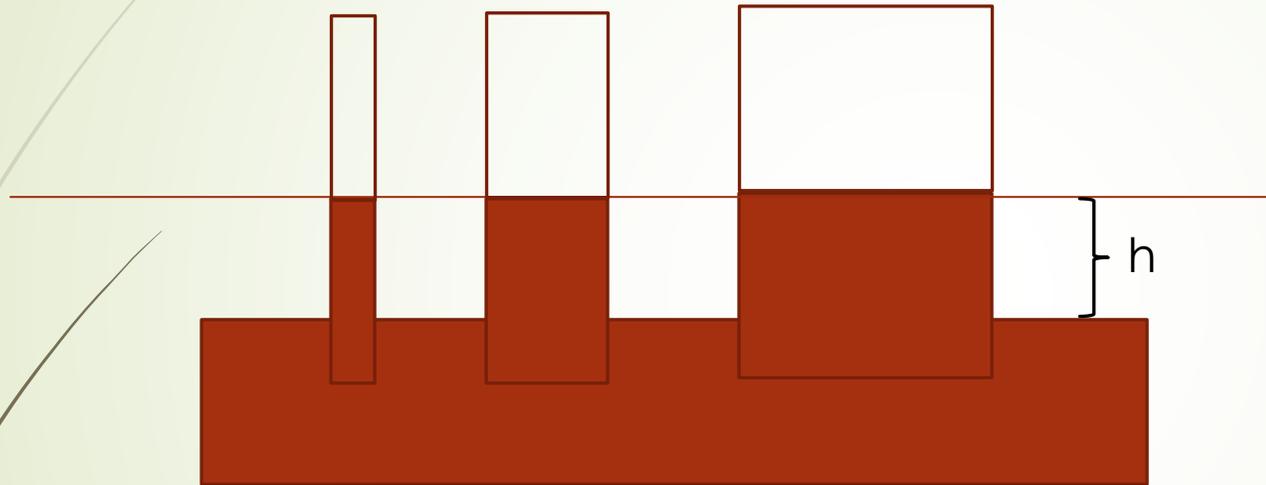


O questo? Perché?



Il mercurio contenuto in colonne di ampiezze diverse presenta la stessa altezza
Ciò che conta non è solo il «peso» del liquido, ma anche la superficie sulla quale insiste

V = volume occupato dal liquido; A = area di base;
 P = peso liquido; P_s = peso specifico liquido;



$$\begin{aligned}V &= h A \\h &= V/A \\V &= P / P_s \\h &= P / (A P_s)\end{aligned}$$

Poiché h è uguale e P_s è costante risulta che il rapporto:

$$P / A$$

è uguale nei tre recipienti

Quello che conta è il rapporto Peso / Superficie: **la pressione**



Il peso della colonna di mercurio alta 76 cm è controbilanciato dal peso dell'aria atmosferica che spinge sul mercurio contenuto nella bacinella

Torricelli non si riferisce al «peso assoluto» dell'aria atmosferica ma a quello che grava sulla superficie del mercurio nella bacinella che è esattamente equivalente a quella sui cui preme il mercurio contenuto nel tubo.

Le conseguenze nuove tecnologie: Il barometro



Fig. 18. -- Périer mesurant la hauteur du tube de Torricelli sur le haut du Puy-de-Dôme (page 36).

Pascal scrisse a suo cognato, Florin Perier, che viveva vicino a una montagna chiamata Puy de Dôme, chiedendogli di eseguire un esperimento cruciale. Perier doveva portare un barometro sul Puy de Dôme e misurare lungo il percorso l'altezza della colonna di mercurio. Doveva poi confrontarlo con le misurazioni effettuate ai piedi della montagna per vedere se quelle misurazioni effettuate più in alto fossero effettivamente inferiori. Nel settembre 1648 Perier eseguì attentamente e meticolosamente l'esperimento e scoprì che le previsioni di Pascal erano corrette. La colonna di mercurio si trovava più in basso mentre il barometro veniva portato ad un'altitudine più elevata.

Le conseguenze nuove tecnologie: la pompa pneumatica



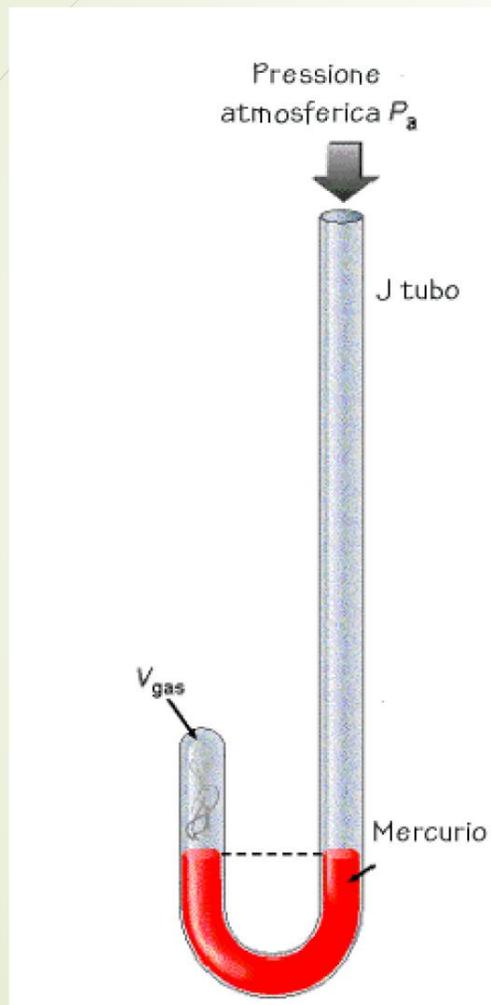
1654 – Magdeburgo: esperimento Otto Von Guericke

Le conseguenze il peso dell'aria!



1654 – Otto Von Guericke: determinazione peso dell'aria

Le conseguenze nuovi studi: Robert Boyle (1627 – 1691)



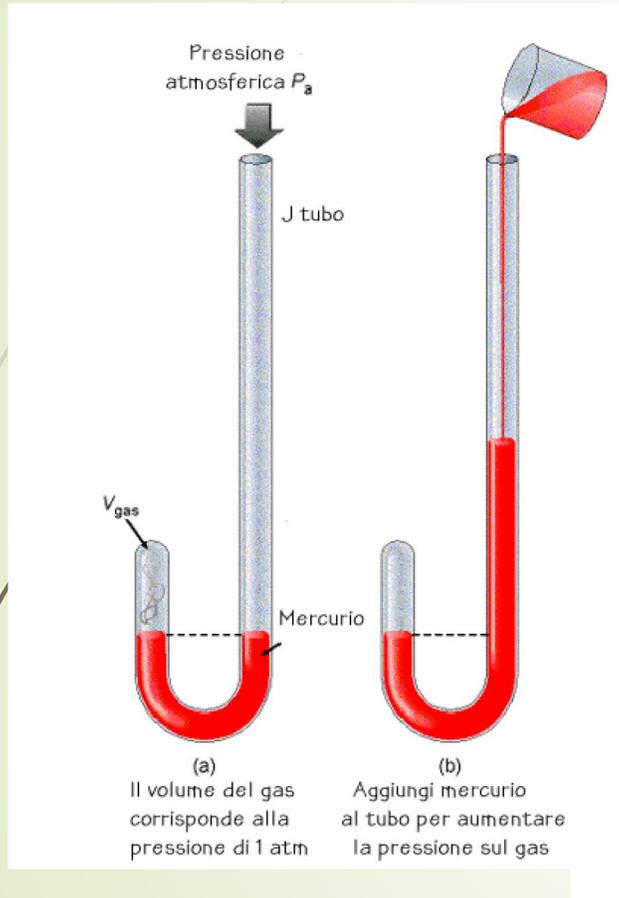
Dalla seconda metà del seicento e durante il settecento l'aria, e successivamente gli altri gas, vennero chiamati **fluidi elastici** in quanto come i liquidi possono fluire ma, al contrario dei liquidi, sono comprimibili o dilatabili al variare della pressione.

Boyle, usò una modifica dell'apparato di Torricelli (Tubo a U) per studiare la dipendenza del volume dalla pressione

Secondo voi, aggiungendo mercurio nel braccio aperto, quando la pressione esterna eguaglia la pressione all'interno del braccio chiuso?

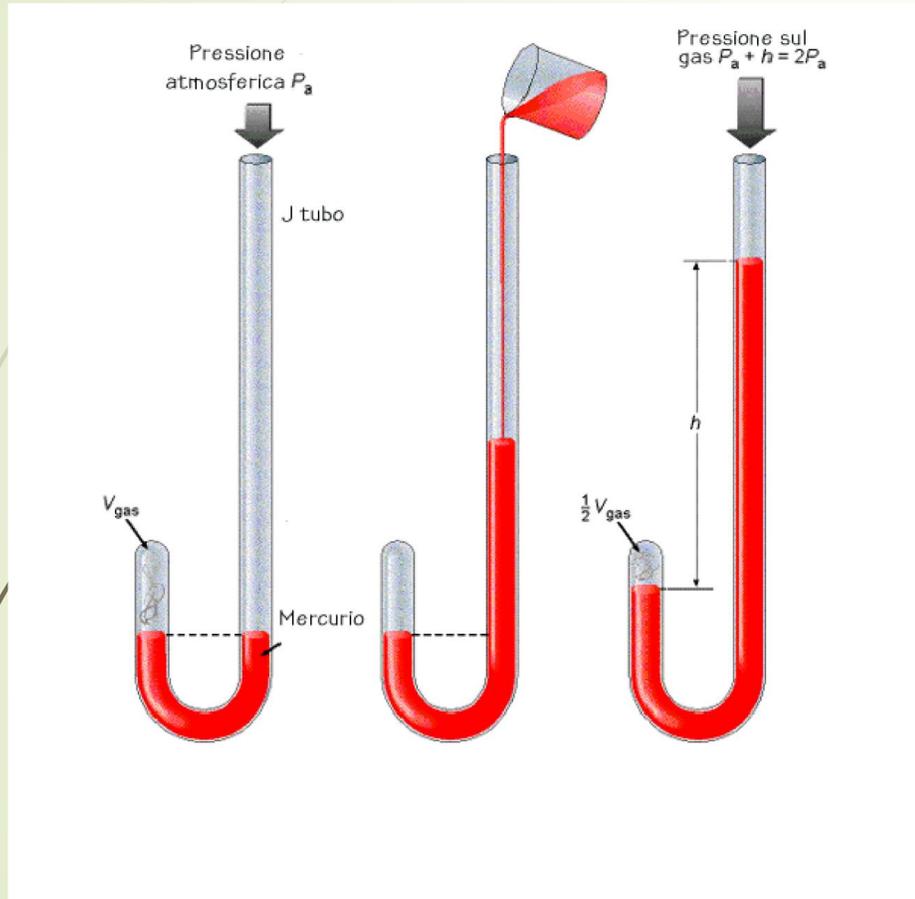
Quando il mercurio avrà la stessa altezza nei due bracci

Le conseguenze nuovi studi: Robert Boyle (1627 – 1691)



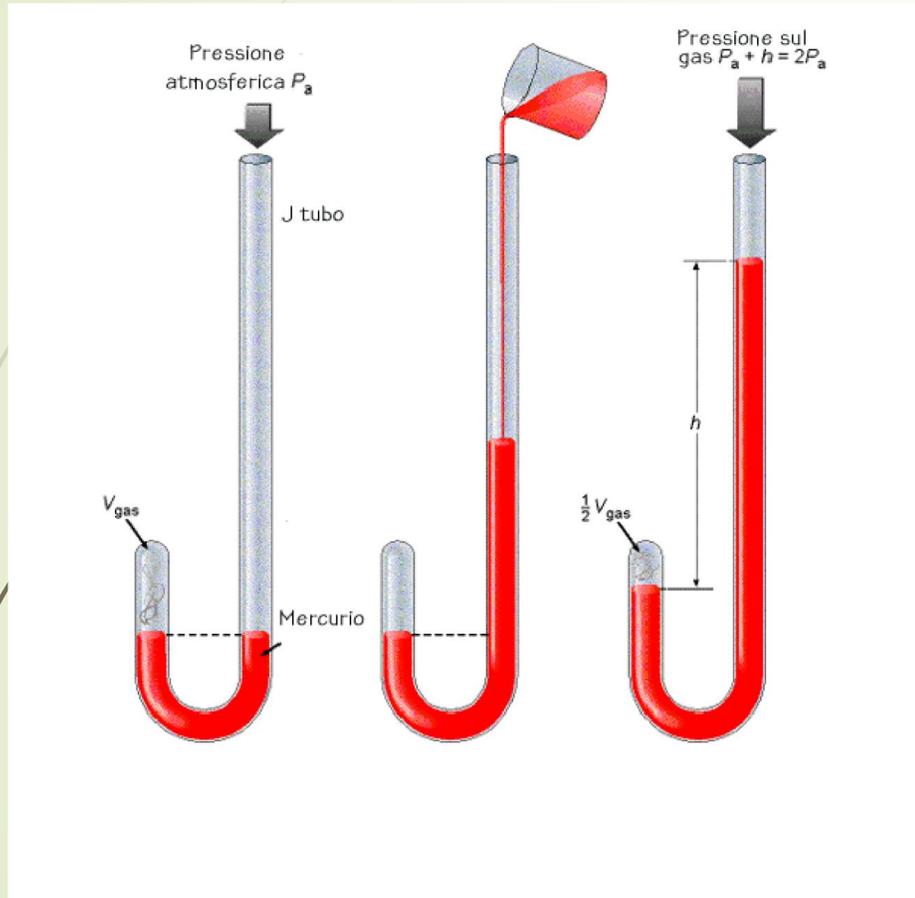
Secondo voi, aggiungendo altro mercurio cosa si osserverà?

Le conseguenze nuovi studi: Robert Boyle (1627 – 1691)



Il mercurio aumenta il suo livello in entrambi i bracci, ma nel braccio più lungo di più: perché?

Le conseguenze nuovi studi: Robert Boyle (1627 – 1691)

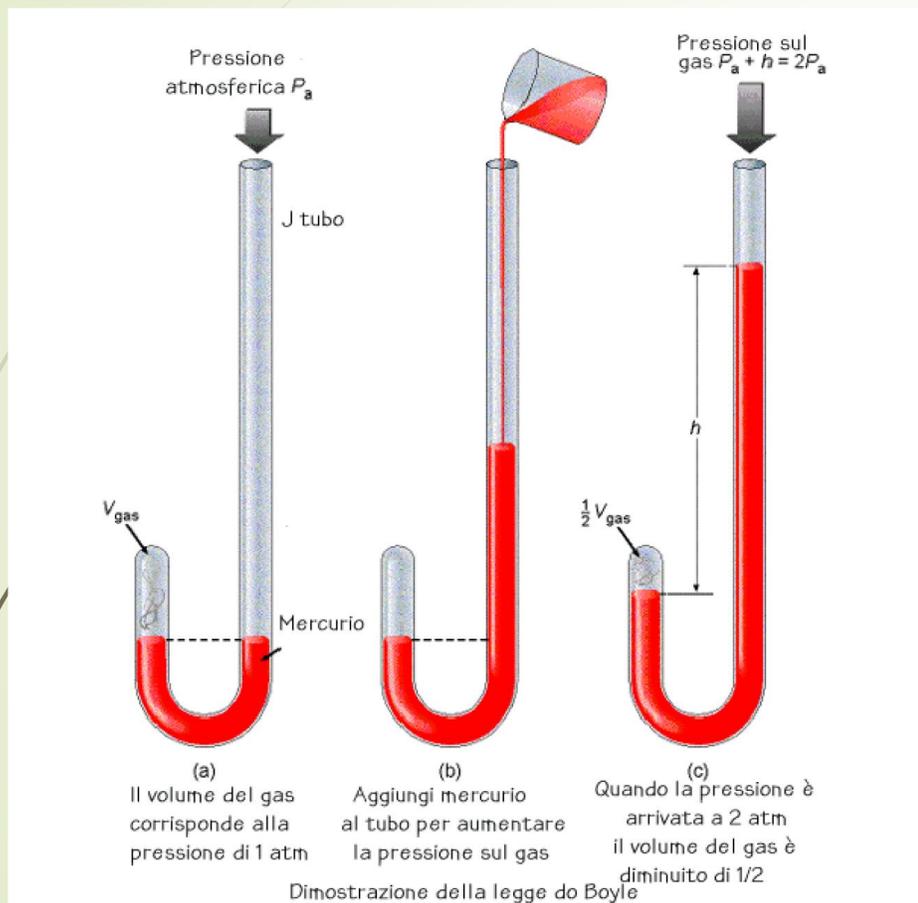


Il mercurio aumenta il suo livello in entrambi i bracci, ma nel braccio più lungo di più: perché?

Il mercurio sale fino a quando la pressione interna non eguaglia la pressione esterna:

$$P_{\text{interna}} = P_{\text{esterna}} = P_{\text{atmosferica}} + P_{\text{dislivello}}$$
$$P_{\text{interna}} = 76 \text{ (cm)} + h \text{ (cm)}$$

Le conseguenze nuovi studi: Robert Boyle (1627 – 1691)



Registrando ad ogni aggiunta il valore di h e il volume dell'aria contenuta nel braccio chiuso giunse a formulare la legge:

$$P \times V = \text{costante}$$

Nota come **legge di Boyle**, o di **Boyle – Mariotte**, che mise in evidenza la necessità di mantenere costante la temperatura del gas