

Fluidi – 1

Simone Stracka simone.stracka@cern.ch
Luca Galli luca.galli@pi.infn.it



aggiornamenti
laboratorio di didattica della scienza



Guardiamoci attorno

- Oggetti che possono solo traslare → **punto materiale**
- Oggetti estesi che possono anche ruotare su sè stessi, senza deformarsi → **corpo rigido**
 - E' necessario introdurre i concetti di densità (rapporto tra quantità di materia e volume occupato) e momento angolare, momento di inerzia, e momento di forze
- Oggetti che si deformano se sottoposti a sforzo → **insiemi continui di “particelle materiali”**
 - solidi elastici e plastici, liquidi e gas più o meno viscosi
 - queste particelle materiali sono infinitesime sulla scala del sistema considerato, ma comunque costituite da un gran numero di atomi e molecole

Fluidi

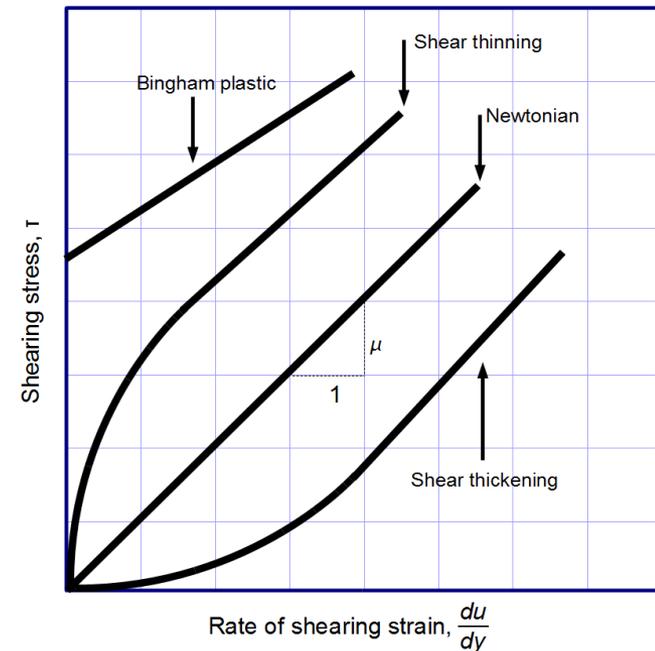
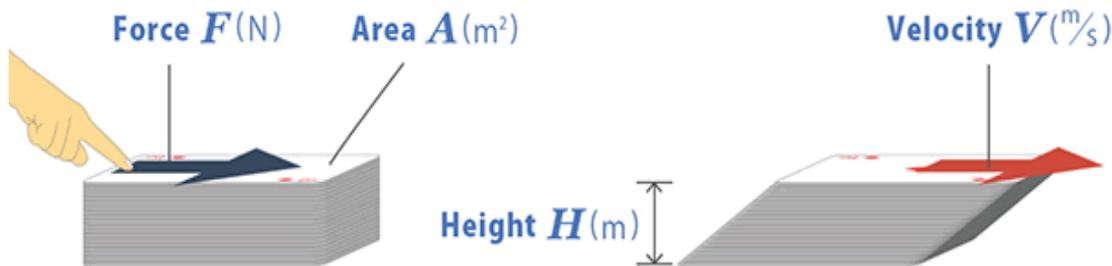
- **Liquidi e gas** sono fluidi: sotto sollecitazione si deformano costantemente e sviluppano un moto collettivo (scorrono, ad esempio in una corrente) - nel caso dei liquidi in una sorta di frantumazione continua
- A differenza dei solidi, i fluidi non offrono resistenza a una deformazione permanente (“assumono la forma del contenitore”), ma solo a tassi relativi di deformazione, dissipando energia
- Alcuni sistemi di solidi esibiscono un comportamento simile a quello dei fluidi (ad esempio i sistemi granulari)

Forze di contatto

- Le forze esterne possono **richiedere il contatto** (come l'attrito che ci rende difficile spostare uno scatolone) **oppure agire a distanza** (come la gravità)
- Le interazioni di contatto tra due corpi (o tra parti di uno stesso corpo) avvengono attraverso una **superficie di contatto**
- Le forze di contatto possono essere rivolte tangenzialmente (**forze di taglio**) o perpendicolarmente (**forze di pressione**) alla superficie di contatto

Viscosità

- La viscosità caratterizza la resistenza al flusso: per un flusso laminare, maggiore è la velocità relativa tra due strati di fluido, maggiore è la resistenza allo scorrimento
- Si osserva quando si mette la mano fuori dal finestrino dell'auto: maggiore la velocità, maggiore la resistenza dell'aria
- In un **"liquido ideale"** (ad esempio l'acqua) la relazione è semplice



L'elio superfluido

- L'elio liquido superfluido è privo di viscosità
- E' un liquido a $T \sim 0$ K



<https://www.youtube.com/watch?v=2Z6UJbwxBZI>

<https://www.youtube.com/watch?v=9FudzqfpLLs>

<https://www.scientificamerican.com/article/superfluid-can-climb-walls/>

La pressione

- La pressione è la misura della quantità di forza che agisce **perpendicolarmente** su una determinata superficie. Una forza distribuita su un'area più estesa produce una pressione minore rispetto alla stessa forza distribuita su un'area minore

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

- La superficie può essere quella del contenitore che racchiude un gas, la superficie che separa l'aria dal liquido contenuto in un recipiente, la superficie di un corpo immerso in acqua, quella del banco su cui ci siamo seduti (o quella del nostro sedere) ...

Fluido non-newtoniano



- Materiale: amido di mais (1.5-2), acqua (1)
- La viscosità non è costante ma dipende dalla velocità di deformazione
- Alcuni fluidi non-newtoniani: sangue, vernice, ketchup, dentifricio



<https://blogs.scientificamerican.com/cocktail-party-physics/walking-on-custard-fun-with-non-newtonian-fluids/>

<https://www.instructables.com/id/Oobleck/>

<https://www.youtube.com/watch?v=eA1jSlx9c30>

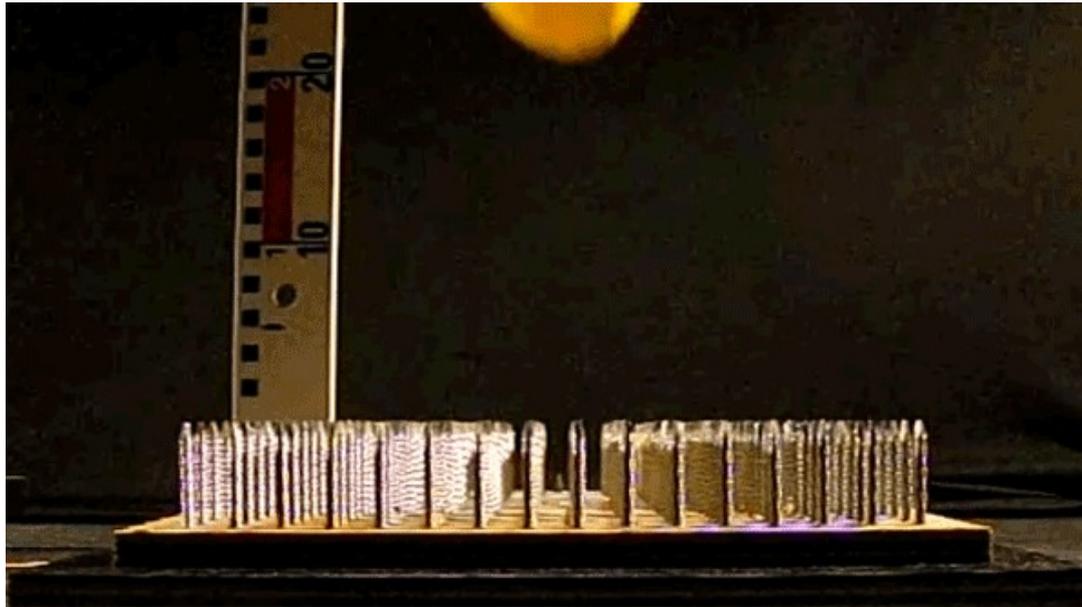
Palloncino fachiro



- Materiale: riso, puntine, palloncino



Prossimo passo



- Studio di materiali idrofobici
- <https://www.nytimes.com/2016/12/23/science/pancake-bounce-water-balloons-bed-nails.html>

Brega's fluid



«'Sto fluido po esse fero e po esse piuma. Oggi è stato na piuma»

The Physics Teacher 44 (2006) 276; ibid. 51 (2013) 32.
Science 333 (2011) 1276

Liquidi e gas

- I liquidi hanno un volume ben definito, sono sostanzialmente incompressibili, e hanno una superficie libera
- I gas possono essere compressi e se lasciati liberi tendono a espandersi occupando l'intero volume a disposizione. La nostra atmosfera è trattenuta dall'attrazione gravitazionale della Terra

Liquidi sotto pressione

- **Principio di Pascal:** in un liquido ideale una pressione che venga esercitata in un punto qualsiasi viene trasmessa inalterata a ogni suo altro punto e in ogni sua direzione
- **Legge di Stevino:** in un fluido ideale in quiete, di densità costante e soggetto all'accelerazione di gravità, la differenza di pressione tra due superfici orizzontali a quote differenti è pari alla pressione esercitata sulla superficie inferiore dal peso della colonna di liquido compresa tra le due superfici

$$\Delta p = \rho \bar{g} \Delta z$$

- **Vasi comunicanti:** due recipienti comunicanti, riempiti con uno stesso fluido ideale e in presenza di gravità, vengono riempiti ad un medesimo livello indipendentemente dalla loro forma

Battaglia idraulica



- Materiale: due siringhe di diametro diverso, un tubo di gomma
- Prendete la siringa più grossa, immergetela, riempitela d'acqua, tappatela, e provate a comprimere il liquido
- Riempite completamente di liquido la siringa più grossa, collegatela al tubo, e spingete fuori l'aria dal tubo. Riempite l'altra siringa d'acqua e eliminate l'aria (come nei telefilm: capovolgete, battete, e fate lo zampillo). Collegare ora anche la siringa più piccola al tubo
- Usate le siringhe per duellare. Chi vince? Di quanto si spostano i due pistoni? Quale relazione c'è col lavoro?
- Ripetete con l'aria al posto dell'acqua



<https://www.exploratorium.edu/snacks/hydraulic-battle>

Sentite la pressione?



- Materiale: un guanto o un sacchetto di plastica, una bacinella profonda
- Dopo aver indossato il guanto, infilare la mano nella bacinella senza arrivare a far entrare acqua nel guanto
- Notare l'aumento di pressione con la profondità
- Riprovare senza il guanto: cosa cambia?

<http://www.exo.net/~pauld/workshops/fluids/feelpressure.htm>

<https://www.exploratorium.edu/snacks/feeling-pressured>

<https://www.calacademy.org/educators/lesson-plans/air-pressure-its-in-the-bag>

Manneken Pis



- Materiale: due lattine, un chiodo
- Ogni squadra sceglie in quale punto della lattina praticare un foro
- Vince la squadra che la fa più lontano
 - Quali sono le variabili da considerare e quali le più importanti?
 - Come misuriamo la lunghezza del getto?
 - Cosa succede col trascorrere del tempo?



Quiz



- Quale di queste due figure è più vicina al vero?
- La conservazione dell'energia per un fluido, quando questo soddisfa alcune condizioni, può essere espressa dal **teorema di Bernoulli**

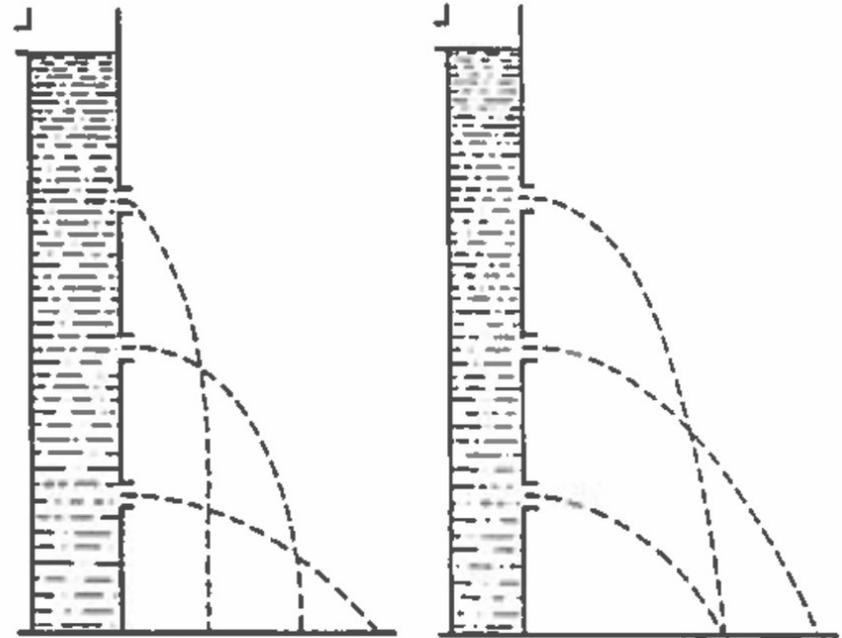


Fig. 1a

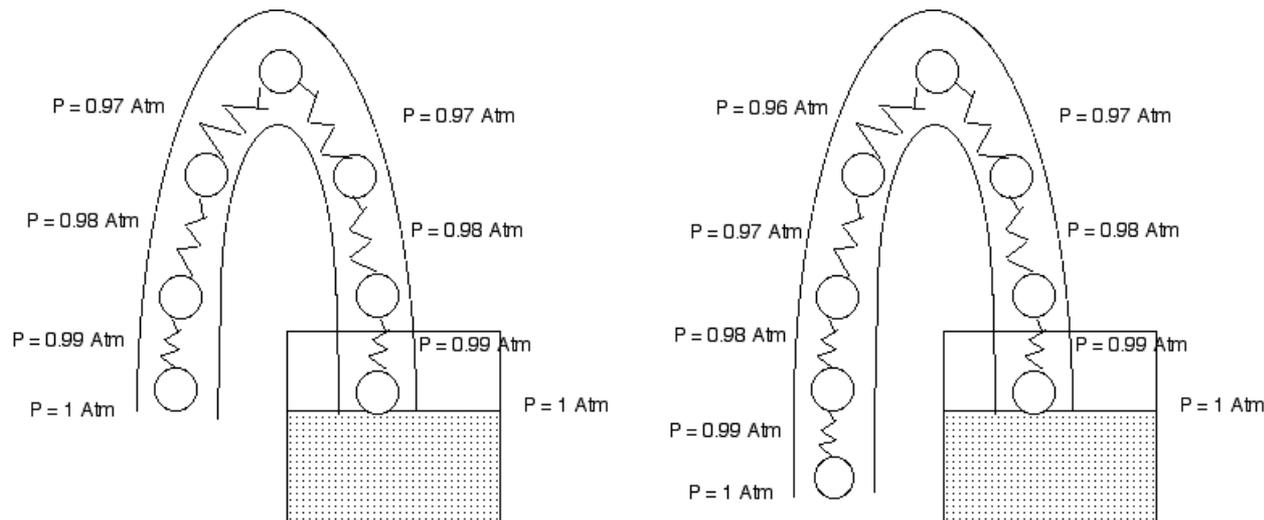
Fig. 1b

C. Marchi Trevisi, La fisica nella scuola, XXIX, 3 (1996) pp. 138-146



La fisica del sifone

- Materiale: tubo di gomma, contenitori
- Un sifone non può (di solito) estendersi oltre ~10 m in altezza. Perché?



<https://www.nature.com/articles/srep16790>

<http://www.exo.net/~pauld/physics/syphon/syphonphysics.htm>

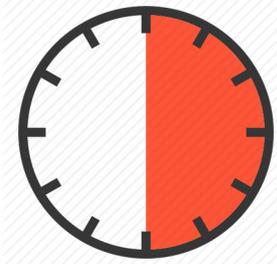
Alberi alti

- Come funziona una sequoia?



<https://www.scientificamerican.com/article/how-do-large-trees-such-a/>
<https://www.calacademy.org/educators/how-do-trees-transport-water-from-roots-to-leaves>

Pesare l'aria



- Materiale: palloncini, graffette, clip per documenti, righello in legno, chiodo
- Poco fa abbiamo visto che l'aria ha un volume. Ha anche una massa?
- L'aria è composta al 78% da azoto (N_2 , ~ 28 g/mol) e al 21% da ossigeno (O_2 , ~ 32 g/mol)
- Gonfiamo uno dei palloncini e pesiamo



La pressione atmosferica

- La pressione in un punto particolare di un fluido (liquido o gas) dipende dal peso del fluido al di sopra di quel punto, dunque la pressione dell'aria sulla Terra diminuisce con l'aumento dell'altitudine e la pressione in un liquido aumenta con la profondità

<http://www.exo.net/~emuller/activities/Portable%20Potable%20Atmosphe.d.pdf>

Macroscopico e microscopico

- Se una sostanza potesse essere scomposta in parti sempre più piccole si scoprirebbe che essa è costituita da particelle piccolissime invisibili al microscopio (atomi e molecole)
- Queste particelle non sono statiche ma si muovono in direzioni casuali. La velocità alla quale si muovono determina la temperatura del materiale. Le differenze tra le sostanze allo stato solido, liquido e gassoso possono essere spiegate in termini di velocità ed estensione del movimento delle particelle e dalla distanza e forza di attrazione tra particelle vicine

Solidi, liquidi, gas

- Nella materia solida l'agitazione termica non riesce a superare l'attrazione tra atomi e molecole
- Nei gas il moto termico delle molecole supera le forze attrattive che esercitano le une sulle altre e le singole molecole si muovono (quasi) liberamente. I gas non hanno forma propria, ma assumono quella del contenitore
- I liquidi (con alcune eccezioni) si trovano in un regime intermedio: una molecola si può muovere, ma solo se qualche altra molecola si leva di torno. I liquidi hanno una superficie libera e volume proprio

<http://www.exo.net/~emuller/activities/Whats%20your%20state.pdf>
<http://www.exo.net/~pauld/workshops/weather/solidliquidgas.html>

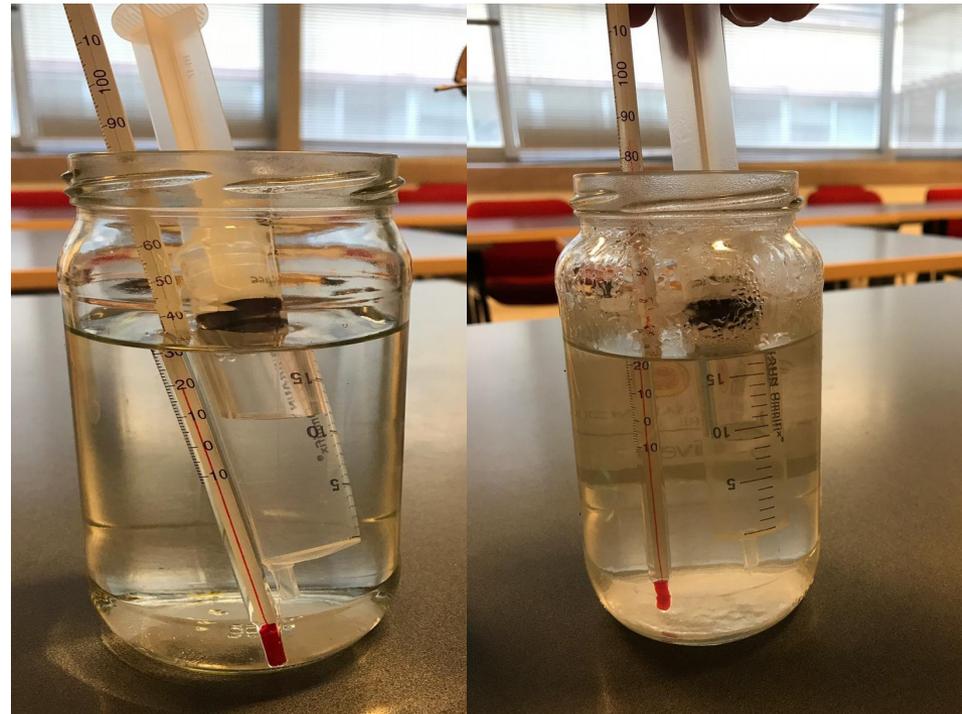
La pressione in un gas

- La pressione è il risultato della composizione atomica/molecolare della materia, e del moto delle particelle che la compongono.
- La velocità con cui le particelle si muovono cresce con la temperatura
- La pressione dipende dal numero e dall'intensità degli urti delle particelle con le pareti del contenitore (ossia da quante particelle ci sono, e dal loro moto)

La legge di Charles



- Materiale: 3 barattoli, siringa, ghiaccio, bollitore, termometro, (colorante)
- Volume vs. temperatura (a pressione costante)
- Quanto vale la pressione?



<https://www.exploratorium.edu/snacks/sizing-up-temperature>

Molecole in gabbia



- Materiale: cestello, palline da ping-pong (una di colore diverso), carta/cartone per tappare il cestello, (asciugacapelli)
- Regolando il flusso d'aria modelliamo solidi liquidi e gas
- Possiamo sentire l'impatto delle palline sul cartone e seguire il moto della pallina colorata
- Proviamo a variare il volume del cestino (ad esempio spostando il coperchio)?
- Aumentando l'agitazione delle palline gli urti hanno frequenza e impulso maggiore: riusciamo a intuire la **legge di Gay-Lussac** (pressione vs. temperatura a volume costante)?



<https://www.exploratorium.edu/snacks/gas-model>

Palline rotolanti



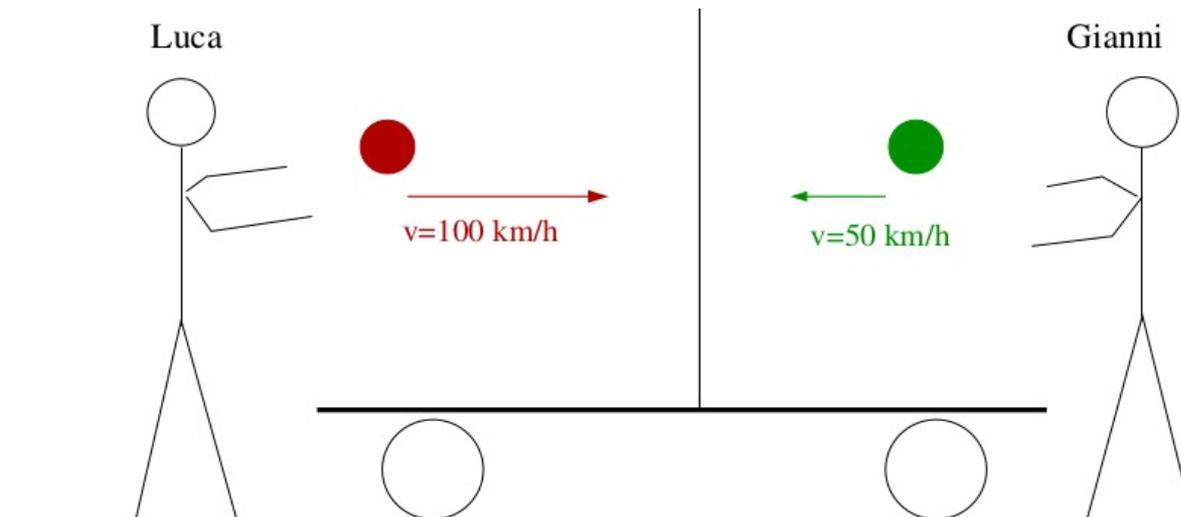
- Materiale: 3 Weazel Balls™, batterie AA, un asse pesante di legno
- Usiamo l'asse per dividere il volume in due sezioni, e ripartiamo le palline tra le sezioni
- Prima di iniziare: cosa vogliamo osservare? Come evolverà il sistema? (in circa 20')
- **Legge di Boyle:**
pressione vs. volume
a temperatura costante



<https://www.exploratorium.edu/snacks/wiggle-pressure>

Se avessimo un carrello

- Dove andrebbe?
- palline → particelle (atomi o molecole) del gas
- velocità media delle palline → temperatura del gas (per l'aria in questa stanza, $\langle v \rangle \sim 1800$ km/h)
- urti delle palline contro le pareti → pressione del gas



La caffettiera

- Bombardando una moka con un fascio di neutroni si può visualizzare il processo di preparazione del caffè
- I neutroni vengono assorbiti molto bene da materiali ricchi di idrogeno, ma attraversano facilmente l'alluminio
- <https://www.psi.ch/niag/movies>

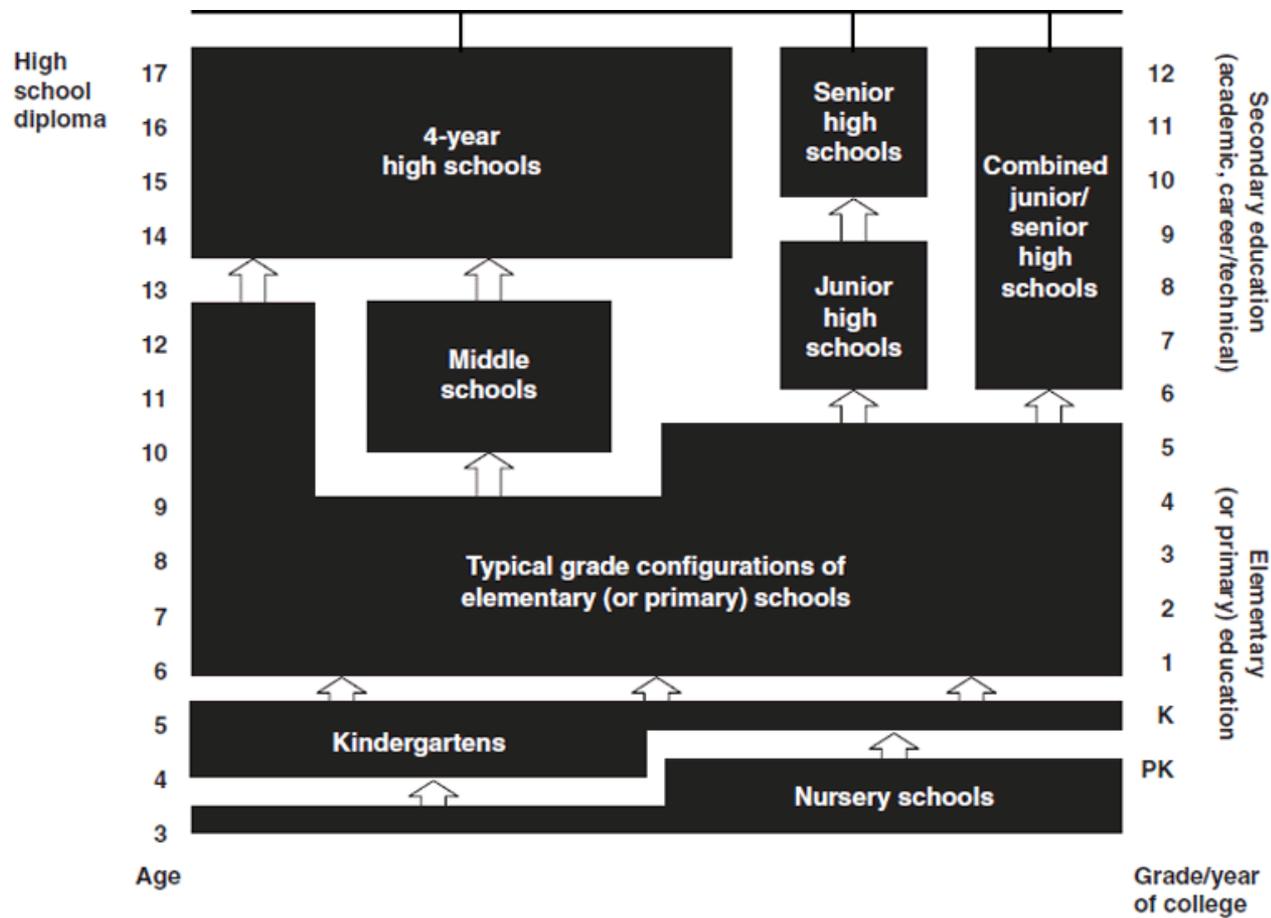


Ricapitoliamo

- Oggetti continui, fluidi e loro proprietà
- Pressione, macchine idrauliche e pneumatiche
- Pressione atmosferica
- Leggi dei gas
- Visione microscopica dei gas

Bibliografia

- The Exploratorium Science Snackbook, Exploratorium Cookbook, Sito web: <https://www.exploratorium.edu/>
- Altri musei scientifici: <https://www.lawrencehallofscience.org/>, <https://www.calacademy.org>, <http://www.museoscienza.org/crei/>
- Per amore della fisica (ed. Dedalo), Lezioni online di W. Lewin (livello universitario, con dimostrazioni) https://www.youtube.com/channel/UClISRiiRVQuDfgxI_QN_Fmw
- NASA Instructional Units: <http://teacherlink.ed.usu.edu/tlnasa/units/index.html>
Es.: Meteorology, Is there water on Mars?, Rockets (con prudenza: leggere le avvertenze), Lunar nautics, Amusement park Physics with a NASA twist, Space Based Astronomy, Microgravity ...



Altre risorse

- › Julie Yu personal page:
<http://www.exo.net/~jyu/>
- › Don Rathjen personal page:
<http://www.exo.net/~donr/>
- › Eric Muller personal page:
<http://www.exo.net/~emuller/>
- › Lori Lambertson personal page:
<http://philo.exploratorium.edu/~loril/>
- › Paul Doherty personal page:
<http://www.exo.net/~pauld/>
- › Next Generation Science Standards:
<https://www.nextgenscience.org/>
- › National Academies Press:
<https://www.nap.edu/topic/282/education>
- › ComPADRE – Resources and Services for Physics Education:
<https://www.compadre.org/>
- › Physical Science Study Committee films (e.g., Frames of Reference):
<http://www.afana.org/psscfilms.htm>
- › More about PSSC:
<https://www.technologyreview.com/s/607999/full-contact-physics/>
- › The Naked Scientist:
<https://www.thenakedscientists.com/kitchenscience>
- › arXiv preprints about Physics Education:
<https://arxiv.org/list/physics.ed-ph/recent>

Gay-Lussac a spanne

- Aumentando la temperatura del gas aumenta la velocità media delle molecole. La temperatura è proporzionale all'energia cinetica del moto traslazionale per molecola, e quindi al quadrato della velocità
- La pressione è proporzionale alla frequenza degli impatti delle molecole con le pareti del recipiente, e quindi proporzionale alla velocità delle molecole. E' anche proporzionale all'impulso trasferito negli impatti con le pareti, che è a sua volta proporzionale alla velocità. Quindi la pressione è proporzionale al quadrato della velocità delle molecole
- Pertanto la pressione è proporzionale alla temperatura