



Associazione Studenti e Professori di Medicina Uniti Per

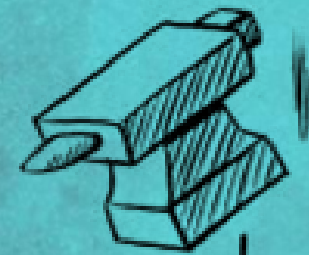
FISICA

GIORNATE TEMATICHE PER MEDICINA E PROFESSIONI
SANITARIE

In collaborazione con Servizio Tutor della Scuola di Medicina



$$V = \pi r^2 h$$



FLUIDI



1.FLUIDI



Fluido: sostanza che non ha forma propria, assume la forma del recipiente che lo contiene. Liquidi e gas sono fluidi

Liquidi:

- Volume definito;
- Superficie limite;
- Incomprimibili;
- $d_{H_2O} = 10^3 \text{ kg/m}^3$.



Gas:

- Non hanno volume proprio;
- Occupano tutto lo spazio che hanno a disposizione;
- Comprimibili;
- $d_{aria} = 1,3 \text{ kg/m}^3$.



Pressione: forza per unità di superficie

$$P = \frac{F}{A}$$

- forza sempre perpendicolare a superficie dell'oggetto ;
- unità di misura:
 $P = F/S = \text{N/m}^2$
 $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$
 $1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ torr}$ (p atm a livello del mare)
 $1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$

Densità: massa per unità di volume

$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

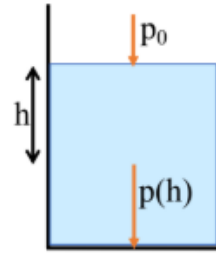


2.PRESSIONE E PROFONDITÀ

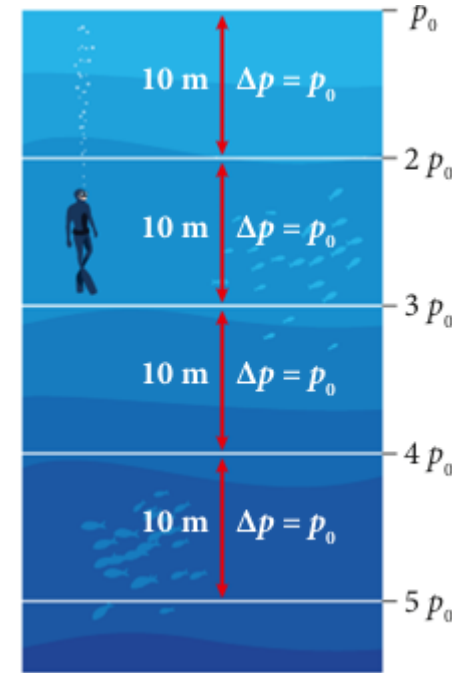


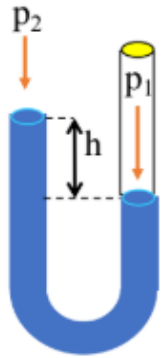
Legge di Stevino:

$$p = p_0 + \rho gh$$



- in un liquido con ρ costante la pressione aumenta all'aumentare della profondità h (come nel mare);
- la pressione diminuisce con l'altitudine (come in montagna)
- pressione assoluta a profondità h è maggiore della pressione atmosferica di ρgh ;
- uguale pressione in tutti i punti alla stessa profondità.





Manometro a U: Misura della pressione relativa tramite la misura di h:

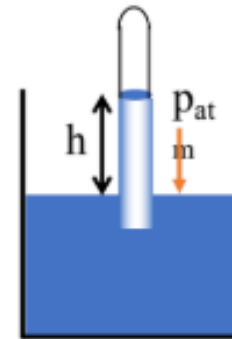
$$p_r = p - p_0 = \rho g h$$

Minore è la densità del liquido nel manometro, più piccole sono le Δp che il manometro rileva;

Barometro di Torricelli: Tubo pieno di mercurio rovesciato in un recipiente con mercurio

Trasformo h in un valore di pressione:
1 atm equivale a una colonna di Hg di 0,76m
a 0°C

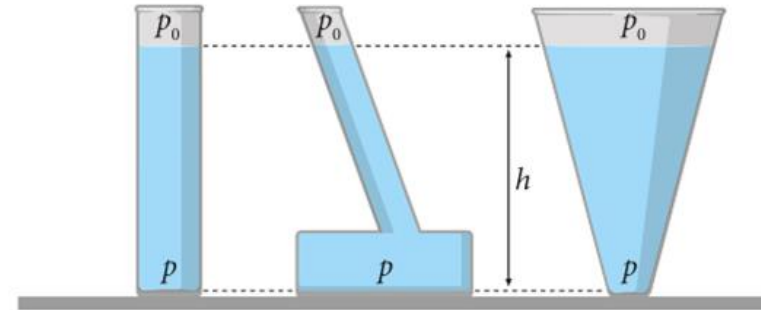
$$\begin{aligned} p_0 &= p_{Hg} = \rho_{Hg} g h = (13,595 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot \\ &(0,76 \text{ m}) = \\ &= 1,0013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$



3. VASI COMUNICANTI



Applicazione della legge di Stevino: se si versa uno stesso liquido (uguale densità) in uno qualsiasi dei tubi, esso scorrerà in tutti gli altri vasi fino al raggiungimento della stessa altezza in tutti i recipienti (indipendentemente dalla loro forma)



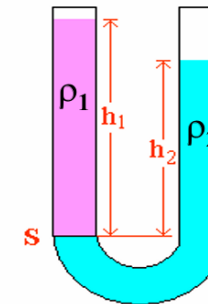
Liquidi non miscelabili:

$$p_1 = p_0 + \rho_1 g h_1$$

$$p_2 = p_0 + \rho_2 g h_2$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$



4. PRINCIPIO DI PASCAL



Una variazione Δp di pressione esterna in un liquido chiuso provoca una uguale variazione di pressione:

- in tutti i punti del fluido;
- nelle pareti del contenitore

Applicazione: Leva idraulica

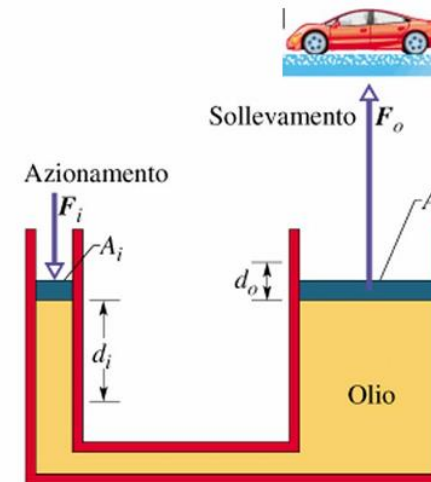
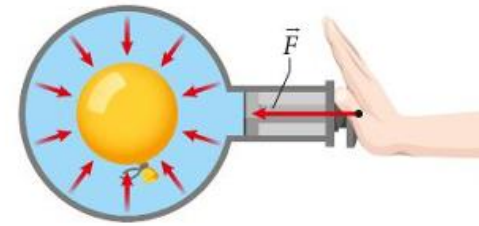
$$p = F_i / A_i = F_o / A_o$$

$$F_o = F_i * (A_o / A_i)$$

$$F_o > F_i \text{ per } A_o > A_i$$

Se muovo il pistone sx di un tratto di
il pistone dx si muove di un tratto d_o
(si conserva il volume spostato)

$$V = A_i d_i = A_o d_o$$

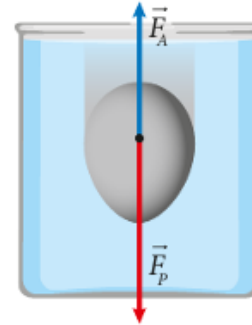


5.PRINCIPIO DI ARCHIMEDE



Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del volume di fluido che viene occupato dal corpo immerso dove ρ è la densità del fluido e V il volume della parte immersa.

$$\vec{F}_A = -\rho V \vec{g}$$



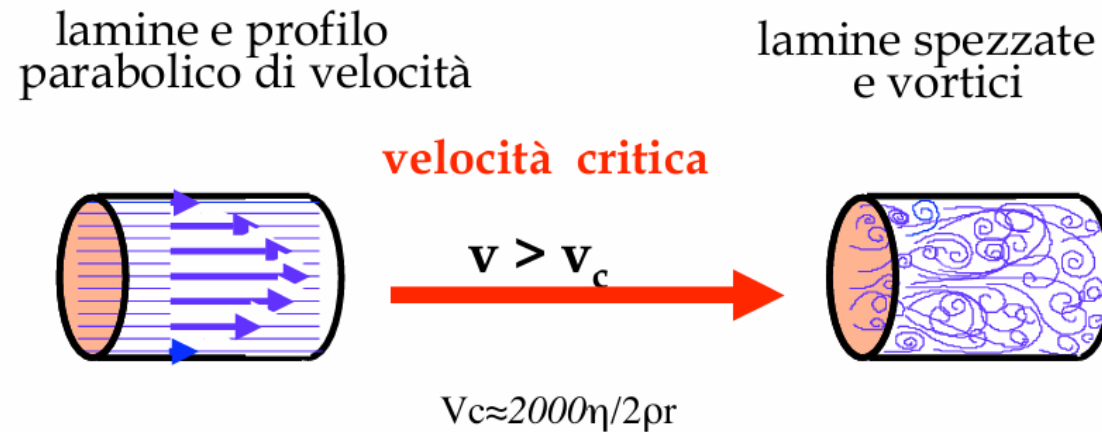
Fa è applicata al centro di massa del fluido spostato che, in genere, non coincide con quello del corpo immerso.



6.DINAMICA DEI FLUIDI



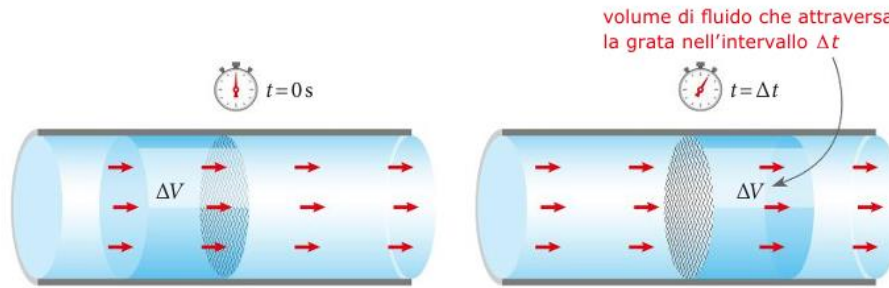
- La descrizione del movimento di un fluido è molto complicata: si considerano per semplicità i moti stazionari.



- Tutte le particelle di fluido si muovono nella stessa direzione, parallelamente all'asse del condotto e la velocità del fluido in un dato punto è sempre la stessa nel tempo.

- La portata permette di descrivere il moto del fluido. Essa è definita come il rapporto tra il volume di fluido che attraversa perpendicolarmente una sezione A di un condotto nell'intervallo di tempo t:

$$Q = V / \Delta t \text{ (unità di misura: m}^3/\text{s)}$$



La portata esprime dunque la quantità di volume di fluido che attraversa la sezione di un tubo nell'unità di tempo.

- Supponiamo che il fluido scorra a v costante e quindi h può essere scritta come:

$$h = v * \Delta t$$

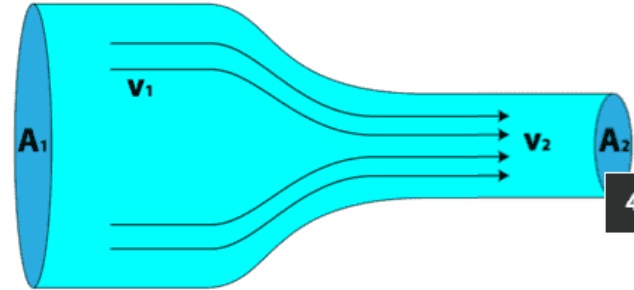
L'equazione della portata diventa:

$$Q = V / \Delta t = (A * h) / \Delta t = (A * v * \Delta t) / \Delta t = \mathbf{A * v}$$



Equazione di continuità

- Si supponga che un fluido incompressibile riempra completamente un condotto (es: tubo o arteria). Allora se altro fluido entra da una estremità del condotto, una uguale quantità deve uscire dall'altra estremità



- L'equazione di continuità può essere scritta come:
 $Q_1 = Q_2$
Infatti, il fluido che entra da un'estremità con portata Q_1 deve uscire dall'altra estremità con portata Q_2 uguale a Q_1
- La portata è uguale all'area della sezione trasversa del condotto per la velocità del fluido
 $Q = A \cdot v$:
 $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ quindi:

$v \cdot A = \text{costante}$ (Legge di Leonardo)



7.TEOREMA DI BERNOULLI

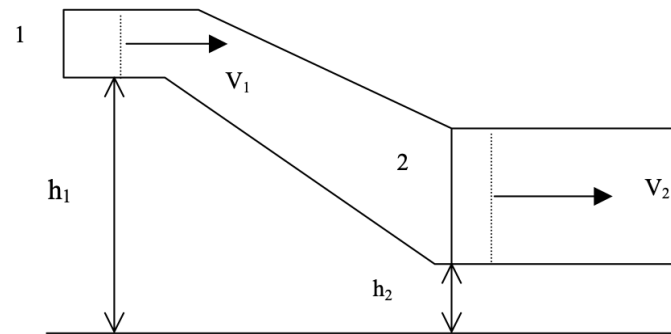


Il Teorema di Bernoulli si concentra sul comportamento di un fluido che scorre in una condotta. Esso afferma che, per un fluido ideale (senza viscosità e non sottoposto ad attrito) che circola in un condotto chiuso, l'energia totale rimane costante lungo il percorso del fluido. Questo principio è espresso matematicamente come:

- Formula: **$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{costante}$** .

Dove:

- p = pressione del fluido
- ρ = densità del fluido
- v = velocità del fluido
- g = accelerazione di gravità
- h = altezza del fluido rispetto a un livello di riferimento



L'equazione di Bernoulli ha validita' generale nel senso che descrive il comportamento di un fluido anche quando questo e' fermo. Infatti, in tal caso, la (1) diventa:

$$p_1 - p_2 = dg(h_2 - h_1) = dgh$$

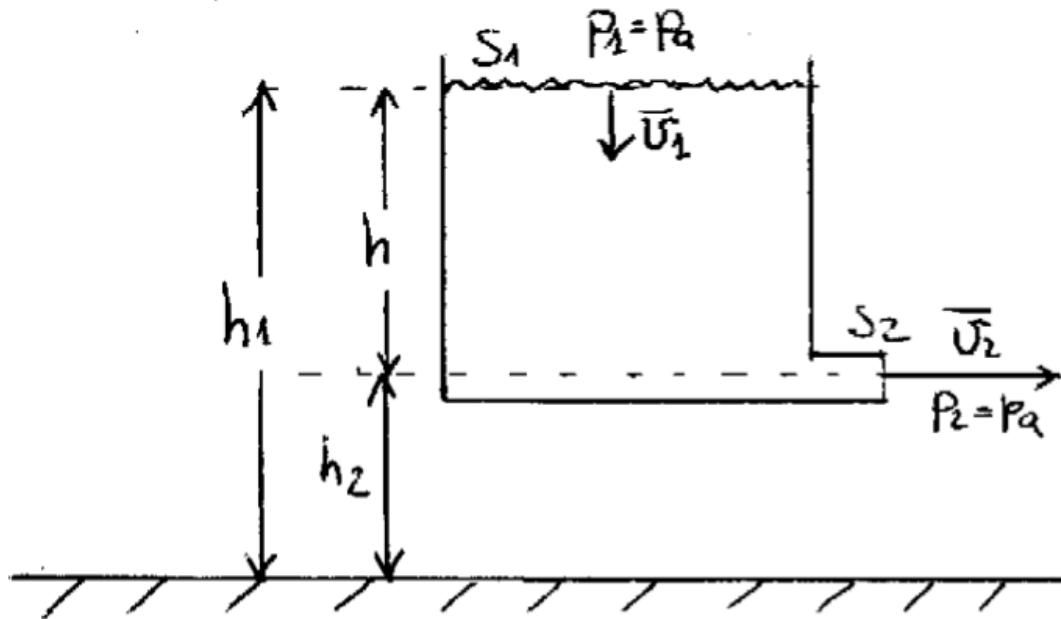
che è la nota **legge di Stevino**.



8. TEOREMA DI TORRICELLI



Un recipiente pieno d'acqua ha un foro apribile alla profondità h dalla superficie libera del liquido ed è appoggiato su di un tavolo. Se il foro è ad un'altezza h_2 rispetto al pavimento, quale è la velocità di deflusso? Appliciamo l'equazione di Bernoulli a due sezioni: quella S_1 corrispondente alla superficie libera del liquido nel recipiente e la sezione S_2 del foro di uscita.



$$dgh_1 = dgh_2 + \frac{1}{2}dv_2^2$$

Semplificando l'espressione per d, si ricava la velocità cercata:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

Questo risultato esprima la legge già scoperta da Torricelli nel 1641 secondo cui "La velocità di deflusso di un liquido da un recipiente è la stessa di quella che acquisterebbe un grave se cadesse liberamente nel vuoto dalla stessa altezza del liquidi "(ottenuta applicando il principio di conservazione dell'energia)"



9.FORZA DI ATTRITO INTERNO



Definizione di viscosità

La viscosità descrive la resistenza interna del fluido al flusso e può essere considerata una misura dell'attrito del fluido. Quanto più viscoso è un liquido, tanto maggiore è il quantità di energia richiesta per produrre uno stato desiderato di flusso attraverso un condotto.

I liquidi a bassa viscosità richiedono poca resistenza al flusso e quindi richiedono minore quantità di energia per defluire. Liquidi ad alta viscosità richiedono più potenza per essere fatti defluire da una pompa.

- Legge di Newton: $\tau = \eta (dv/dy)$.
- L'unità di misura: Pa · s (pascal-secondo).

Fluidi Newtoniani e Non Newtoniani

- Newtoniani: viscosità costante (es. acqua, olio).
- Non Newtoniani: viscosità dipende dal gradiente di velocità (es. sangue, saliva, sinovia).

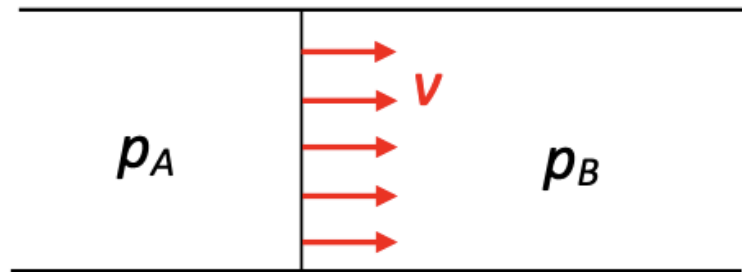


10.MOTO LAMINARE



La viscosità introduce *importanti differenze* nel moto di un fluido reale rispetto a quello di un fluido ideale.

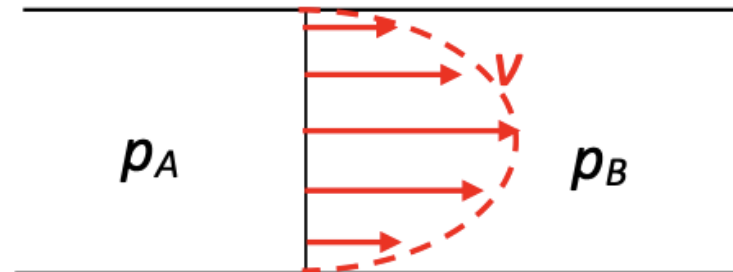
Considerando il flusso di un fluido ideale (fig. 14a) e di un fluido reale (fig. 14b) in un tubo cilindrico orizzontale di sezione A costante, si ha:



fluido ideale
 v costante nella sezione A

$$p_A = p_B$$

Fig 14a



fluido reale
 v variabile nella sezione A

$$p_A > p_B$$

Fig 14b

Notiamo che a causa della viscosità:

- a) È necessaria una differenza di pressione $\Delta p = p_A - p_B$ fra le estremità del tubo per avere un flusso di fluido.
- b) Lo scorrimento del fluido può essere descritto come il moto di tanti strati sottili e paralleli alle pareti del tubo che si muovono parallelamente tra loro con velocità crescenti mentre ci si avvicina al centro del condotto (fig. 15) (detto *moto laminare*).

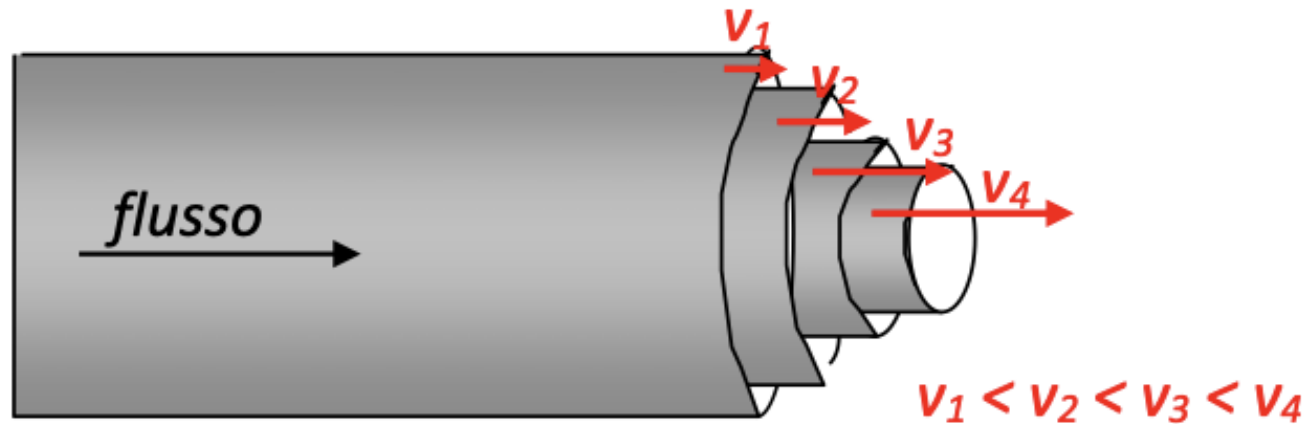


Fig. 15

In particolare si può dimostrare che la portata Q_L per un flusso laminare in *un tubo cilindrico* è data dalla relazione seguente detta **legge di Poiseuille**,

Legge di Poiseuille

- Portata: $Q = (\pi \Delta P r^4) / (8 \eta L)$.
- Profilo parabolico: velocità massima al centro e nulla alle pareti.

La legge di Poiseuille, applicata al fluido sangue, è fondamentale nella fisiologia degli esseri viventi.

Essa è usata per esempio per termostatarsi regolando il flusso di sangue sulla superficie del corpo variando impercettibilmente la sezione dei capillari. Inoltre essa spiega l'inevitabile aumento di pressione arteriosa con l'avanzare dell'età, la quale generalmente comporta una piccola riduzione della sezione delle arterie.



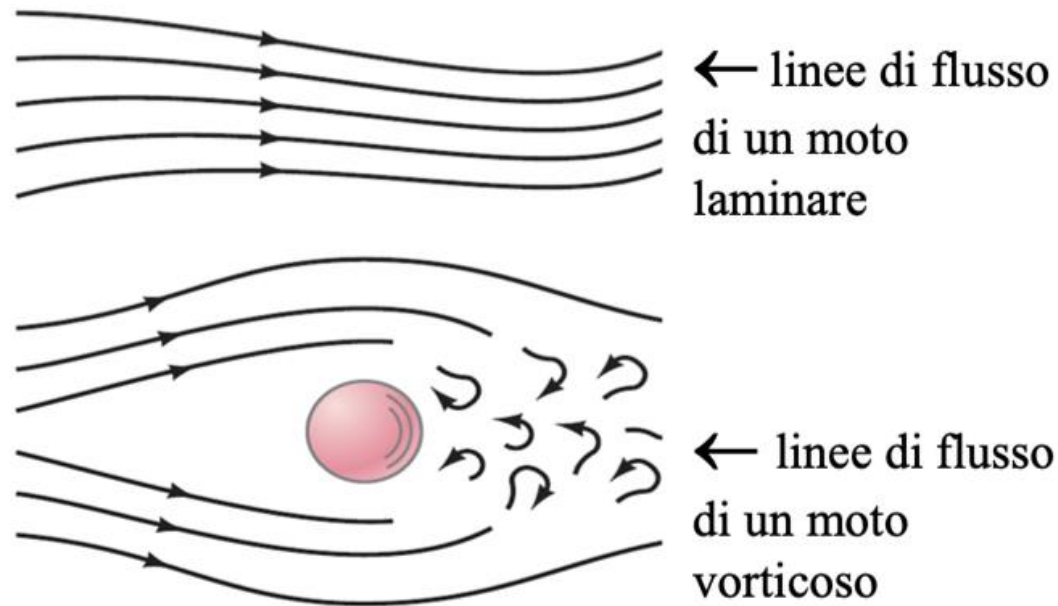
11.MOTO VORTICOSO



Il moto è detto turbolento quando le sue particelle si muovono in maniera caotica, senza seguire traiettorie ordinate.

Questo si traduce nella formazione di vortici e, più in generale, nel manifestarsi di fluttuazioni non ordinate della velocità e della pressione. I vortici assorbono una sensibile quantità di energia per cui questo regime di moto andrebbe evitato nello scorrere di un fluido.

Purtroppo il moto laminare, al di sopra di una certa velocità specifica per ogni fluido, diventa turbolento e si hanno perdite di energia nel trasporto. (Il moto dell'acqua è praticamente sempre turbolento)



Definizione

- Flusso caotico, con vortici e turbolenze.
- Numero di Reynolds > 3000 .

Caratteristiche

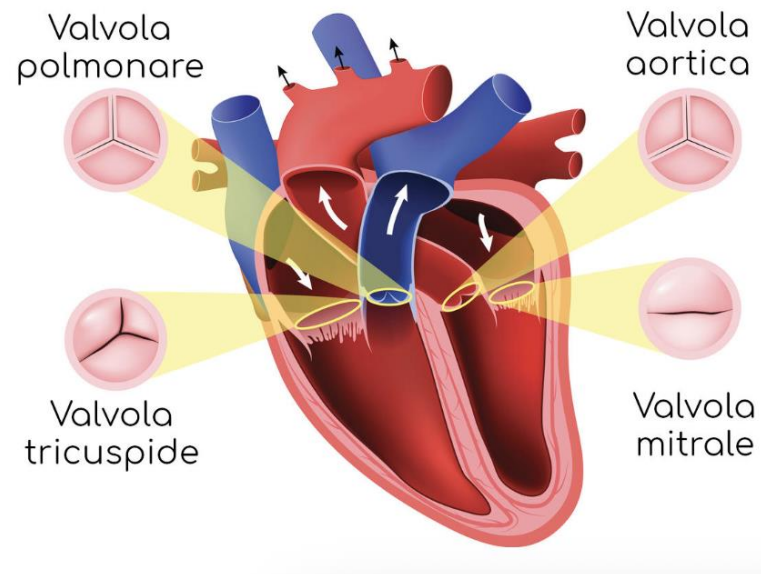
- Dispersione di energia.
- Maggiore resistenza.
- Fenomeni di mescolamento.

Applicazioni Biomediche

- Soffi cardiaci patologici.
- Turbolenze in vasi stenotici o dilatati.
- Rischio di danno endoteliale e trombosi.



Valvole cardiache



12.LEGGE DI STOKES

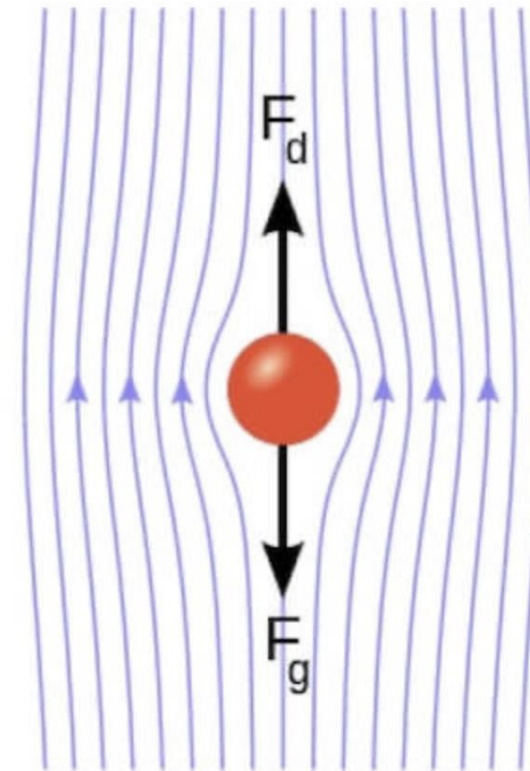


La forza di Stokes è un'espressione per la forza di attrito viscoso a cui è soggetta una sfera in moto laminare rispetto ad un fluido, nel regime di flusso di scorrimento detto anche "di Stokes" (normalmente, con un numero di Reynolds minore di 0,6)

$$F = 6\pi \eta r v.$$

Applicazioni Biologiche

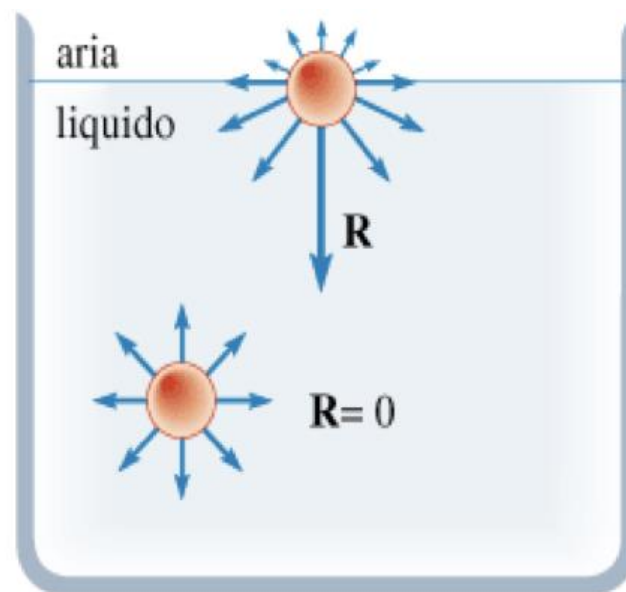
- VES (velocità di eritrosedimentazione).
- Analisi diagnostiche di stati infiammatori.
- Movimento di cellule in sospensione.



13.TENSIONE SUPERFICIALE



- Le forze di coesione in un liquido si manifestano come forze che agiscono alla superficie del liquido
- La risultante delle forze di coesione che agiscono su una molecola all'interno del fluido è nulla, mentre tale risultante è diretta verso l'interno per una molecola sulla superficie
- Conseguenze: i liquidi tendono ad assumere la forma che corrisponde alla superficie minima (forma sferica delle gocce);
- per aumentare la superficie libera del liquido occorre compiere del lavoro (lavoro necessario per portare le molecole alla superficie del liquido).



In poche parole è l' Energia necessaria per aumentare la superficie di un liquido, causata da forze di coesione molecolare.

Fenomeni osservabili

- Gocce sferiche.
- Insetti che camminano sull'acqua.
- Risalita capillare.

Applicazioni Biomediche

- Alveoli polmonari: prevenzione collasso.
- Surfattante polmonare: riduce tensione superficiale.
- Sindrome da distress respiratorio neonatale.

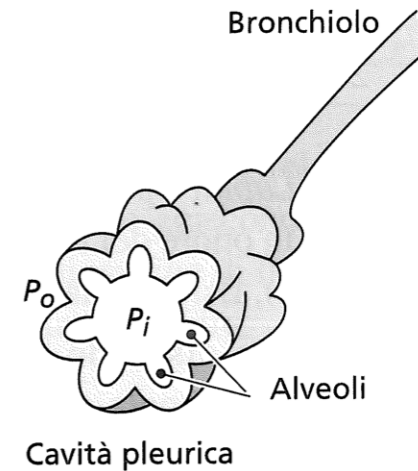


Figura 15.8 Uno spaccato che mostra gli alveoli all'estremità di un bronchiolo, ramificazione terminale dei bronchi. La pressione all'interno degli alveoli vale P_i ; la pressione del liquido nella cavità pleurale vale P_o . La cavità pleurale circonda l'intero polmone.

Il trasporto dell'ossigeno e del diossido di carbonio avviene attraverso la membrana degli alveoli. La tensione delle pareti dipende sia dal tessuto della membrana che da un liquido che contiene una lunga lipoproteina (surfattante). Gli alveoli possono essere considerati delle piccole sfere (raggio R).

La legge di Laplace ci dice che $R(P_{int} - P_{ext}) = R\Delta P = 2\pi$. P_{ext} in questo caso è la pressione pleurale che aumenta durante l'espirazione e conseguentemente ΔP diminuisce; allo stesso tempo la contrazione muscolare fa diminuire R . Se R e ΔP diminuiscono entrambi (con $t=cost$) la condizione di equilibrio espressa dalla legge di Laplace non può essere soddisfatta. La forza dovuta alla pressione esterna farebbe collassare gli alveoli.

Durante l'inspirazione avremmo l'effetto opposto: P_{ext} diminuirebbe, R aumenterebbe e quindi a parità di tensione superficiale gli alveoli avrebbero la tendenza ad espandersi e a rompersi.



14.LEGGE DI JURIN



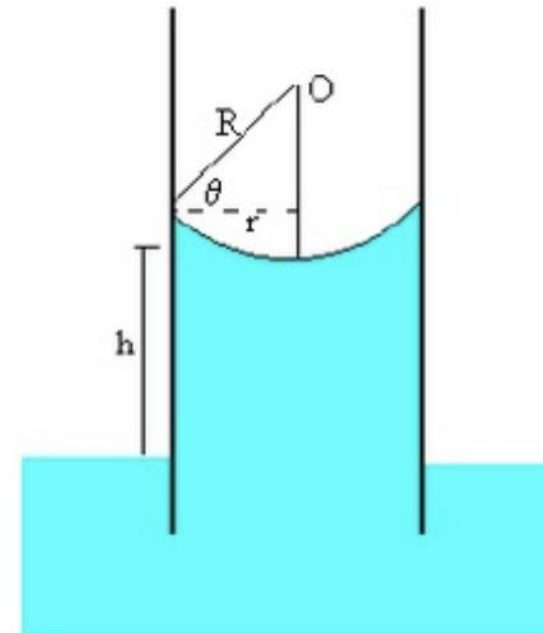
Altezza della risalita capillare: $h = 2\gamma \cos\theta / (\rho g r)$

- Effetti più evidenti con raggi piccoli.

Da questa equazione, chiamata **legge di Jurin**, si può capire come per $\theta < 90^\circ$ l'altezza h è positiva e quindi rappresenta l'innalzamento capillare, invece per $\theta > 90^\circ$ l'altezza sarà negativa e quindi rappresenterà l'abbassamento capillare. L'altezza **h** (di salita o di depressione) è proporzionale a **γ** e inversamente proporzionale a **r** .

Quindi, più stretto è il capillare, più evidente è l'effetto di capillarità. Inoltre dalla misura di h in un capillare si può ottenere il valore **γ** di un liquido.

γ : tensione superficiale fluido



15.LEGGE DI LAPLACE



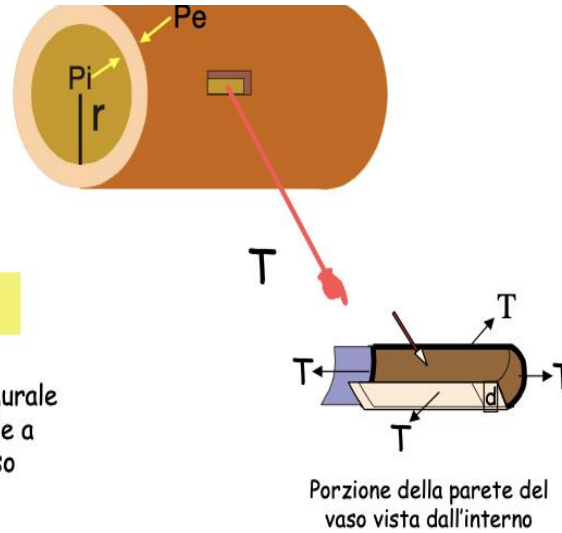
Si verifica in contenitori (organi cavi, vasi), con parete distensibile, il riempimento deforma la parete, che sviluppa una tensione in risposta all'allungamento.

LEGGE DI LAPLACE

$$T = (P_{tm} \cdot r) / d$$

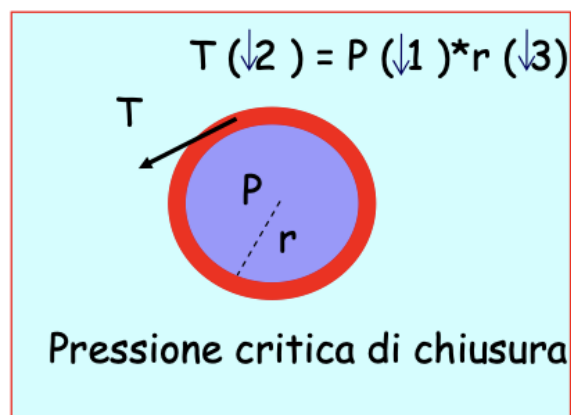
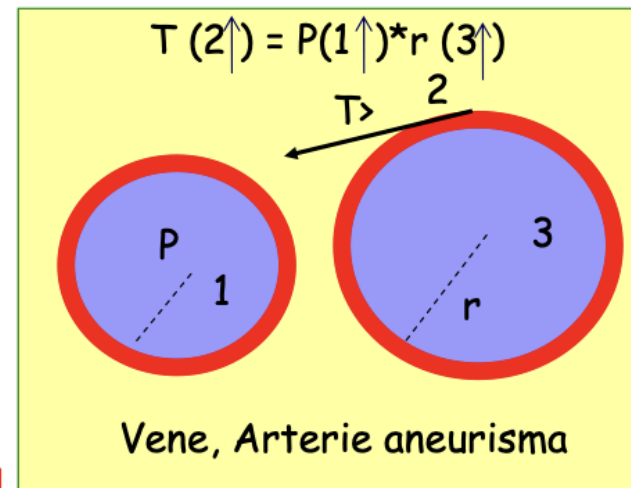
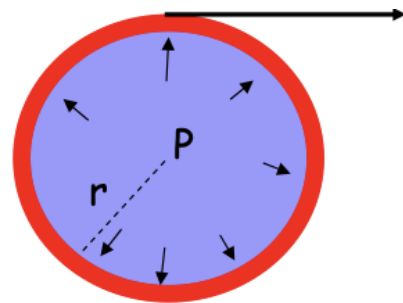
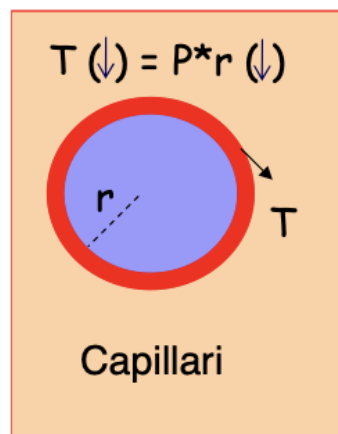
Tensione parietale:
forza distendente

Pressione trasmurale
forza che tende a
dilatare il vaso



- Secondo la LEGGE DI LAPLACE, la tensione parietale, T , dipende dalla **pressione trasmurale**, P_{tm} , dallo spessore della parete, d e dal raggio del contenitore, r secondo l'equazione: $T = P_{tm} \cdot r / d$

La P_{tm} è sostenuta in parte dalla tensione passiva, dovuta all'elasticità del vaso, e in parte dalla tensione attiva, sviluppata dalla contrazione della muscolatura liscia della parete.



Questa legge spiega perché:

Vasi di calibro ridotto, come i capillari, sono in grado di sostenere pressioni intravasali relativamente elevate, senza rompersi.

Si può verificare rottura di un aneurisma arterioso.

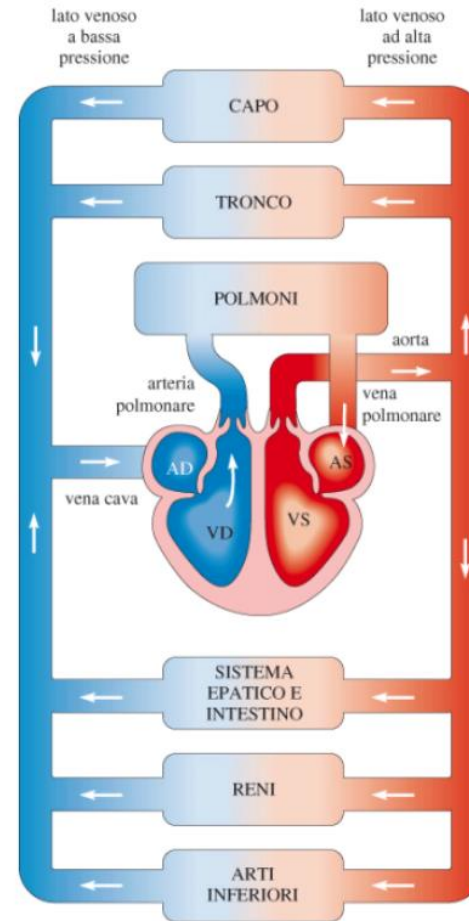
- Nell'aneurisma arterioso la tensione parietale non riesce più a controbilanciare la P_{tm} , con conseguente dilatazione del vaso.
- L'aumento di diametro del vaso accompagnato da riduzione dello spessore della parete, rende l'aneurisma permanente.
- La tensione parietale diventa sempre più insufficiente a contrastare la pressione interna e il vaso va incontro a rottura.
- I vasi venosi degli arti inferiori sono sottoposti a pressione maggiore a motivo della forza di gravità. Se si verifica una dilatazione del vaso, o un aumento della pressione per rottura delle valvole, si va incontro ad una progressiva dilatazione del vaso.



16.SISTEMA CIRCOLATORIO



- Il ventricolo sx pompa il sangue nell'aorta, il sangue passa poi nelle arterie di calibro minore e nelle arteriole;
- Nella rete dei capillari si ha lo scambio di gas (CO_2 e O_2), sostanze nutritive e prodotti di scarto;
- Il sangue passa poi alle venule e alle vene per giungere alla vena cava, all'atrio dx e al ventricolo dx.
- Si passa quindi nei polmoni dove avviene lo scambio di O_2 e CO_2 con l'aria contenuta negli alveoli per poi tornare all'atrio sx;
- Il circolo ricomincia.



- È costituito da un insieme di condotti (i vasi) che formano due circuiti idraulici chiusi (circolo sistemico e polmonare)
- Il circolo polmonare e sistemico sono disposti in serie e il fluido (sangue) si muove grazie all'azione di una pompa (il cuore) che fornisce energia per il movimento del sangue

	Mean diameter	Mean wall thickness	Endothelium	Elastic tissue	Smooth muscle	Fibrous tissue	
Artery	4.0 mm	1.0 mm					
Arteriole	30.0 μ m	6.0 μ m					
Capillary	8.0 μ m	0.5 μ m					
Venule	20.0 μ m	1.0 μ m					
Vein	5.0 mm	0.5 mm					

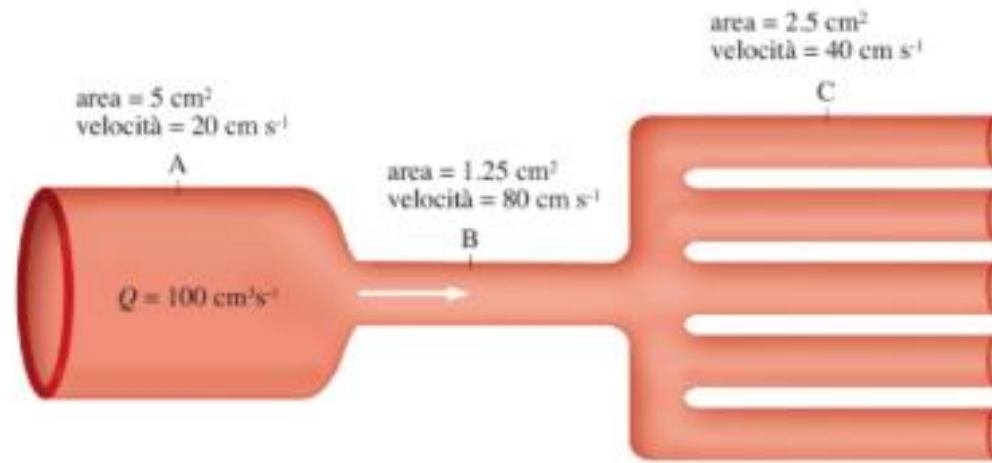
Portata

$$Q = Sv = \text{costante}$$

V_{tot} sangue adulto = 6 litri

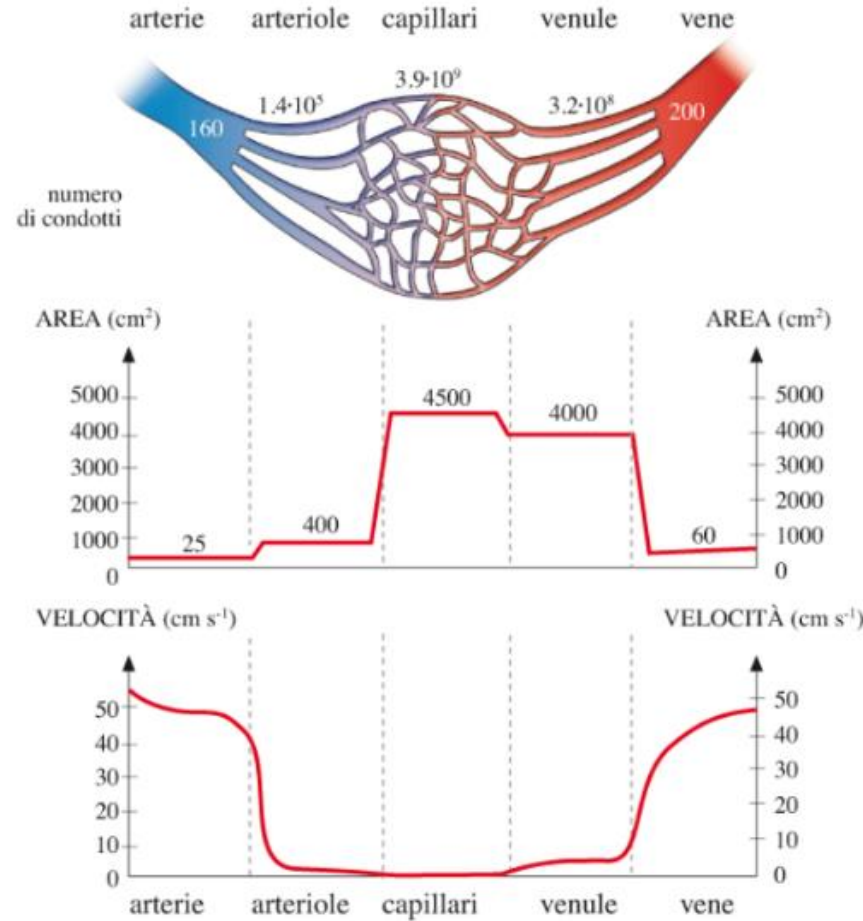
$Q_{\text{media adulto}} = 5 \text{ litri/min}$

La portata è costante, quindi la quantità di sangue che esce dal cuore al secondo è la stessa che attraversa una sezione del sistema in un secondo.



Variazione della sezione totale e della velocità media del sangue nei diversi distretti del sistema circolatorio:

- La velocità nei capillari è molto bassa (ordine del mm/s);
- La velocità bassa è fondamentale per permettere gli scambi di sostanze come gas e nutrienti.



Aneurisma/Stenosi:

Esempio: Stenosi

Applichiamo le equazioni di continuità e di Bernoulli:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$
$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

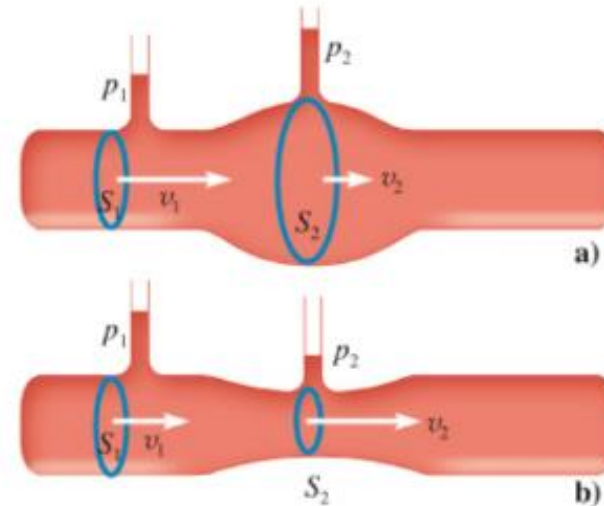
Dopo una manipolazione algebrica si ottiene:

$$v_1 = S_2 / S_1 \quad v_1 < v_2 \text{ poich\`e } S_1 > S_2$$

$$p_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

$$(v_2^2 - v_1^2) > 0 \text{ e } p_1 > p_2$$

Quindi nella parte che presenta stenosi c'è un rischio di strozzamento del vaso. Invece, si può dimostrare che nel caso dell'aneurisma si verifica un'ulteriore dilatazione del vaso.



- Il plasma può essere considerato un liquido viscoso che segue la legge di Poiseuille;
- Se la velocità del sangue non è troppo bassa e i raggi dei vasi sono superiori a 100 μm , il sangue si muove di moto laminare e segue Poiseuille.

$$Q = \frac{\pi(P_1 - P_2)R^4}{8\mu L}$$



- La viscosità del sangue dipende dalla temperatura e dal valore di ematocrito (valore di ematocrito del sangue intero normale è 40%).
- La viscosità del sangue è allora circa 5 volte quella dell'acqua (anemia e congelamento).



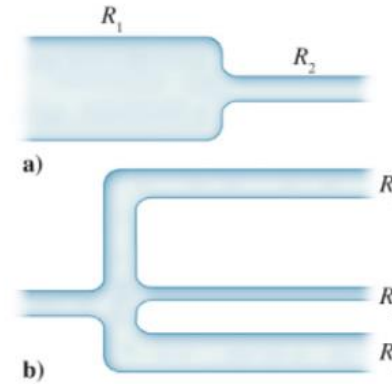
Resistenza dei vasi:

La resistenza idraulica R al flusso è definita da:

$$R = \frac{\Delta p}{Q} = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

Condotti in serie $R = R_1 + R_2$

Condotti in parallelo $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$



- La resistenza vascolare del sistema arterioso può essere calcolata considerando separatamente ogni categoria di arteria;
- Si suppone che tutte le arterie con dimensioni confrontabili siano in parallelo e che tutti i capillari siano in parallelo;

TERMODINAMICA



PROGRAMMA

In questa lezione affronteremo i moti principali della TERMODINAMICA:

1. **Temperatura: definizione e unità di misura**
2. **Calore, calorimetria, capacità termica e calore specifico**
3. **Cambiamenti di stato e trasmissione del calore**
4. **Principi termodinamici e trasformazioni termodinamiche**
5. **Ciclo e definizione di rendimento**
6. **Entropia**



17.TEMPERATURA



La **temperatura** è una grandezza fisica che misura il livello di agitazione termica delle particelle di un corpo: più le particelle si muovono velocemente, maggiore è la temperatura. Non va confusa con il calore, che è invece un trasferimento di energia.

$$T \propto \langle E_K \rangle$$

L'**unità di misura nel Sistema Internazionale (SI)** è il **Kelvin (K)**. Altre scale diffuse sono i **gradi Celsius (°C)** e i **gradi Fahrenheit (°F)**.

Il passaggio tra **Celsius e Kelvin** è molto semplice:

$$K = ^\circ C + 273,15$$

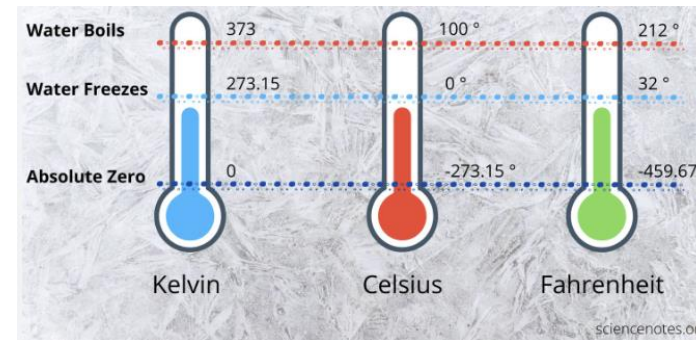
$$^\circ C = K - 273,15$$

Ad esempio: 25 °C corrispondono a 298,15 K.

La conversione in Fahrenheit è la seguente:

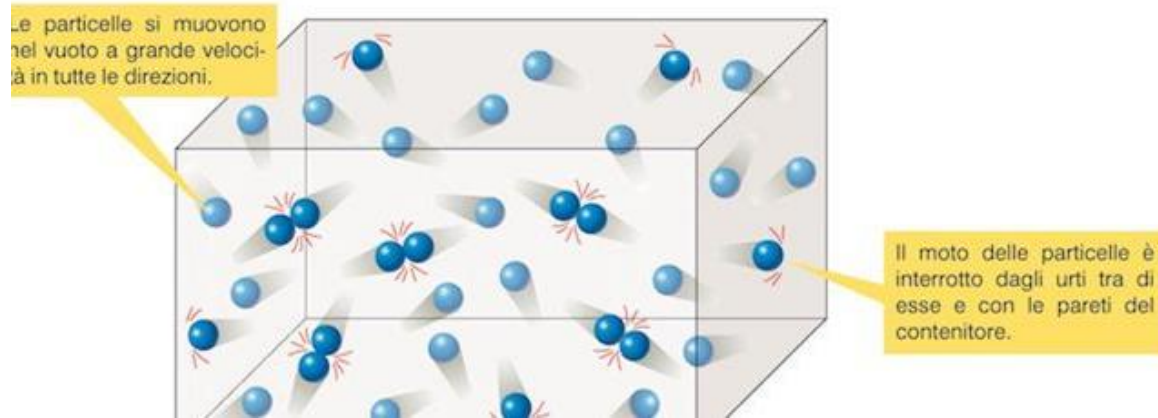
$$F = ^\circ C * 1.8 + 32$$

Lo **zero assoluto** (0 K = -273,15 °C) rappresenta la temperatura più bassa possibile in natura.



GAS IDEALE

- Un **gas ideale** è un modello teorico che descrive il comportamento dei gas in modo semplificato.
- Si assume che le particelle siano **puntiformi**, quindi con volume trascurabile rispetto al contenitore.



$$v_{qm} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

- Non esistono **forze di interazione** tra le particelle: non si attraggono né si respingono. Il loro moto è **casuale e continuo** in tutte le direzioni.
- Gli **urti** tra particelle e con le pareti sono considerati **perfettamente elastici**.
- L'**energia cinetica media** delle molecole dipende soltanto dalla **temperatura assoluta**.
- La velocità quadratica media (**Vqm**) dipende da temperatura e peso molecolare

LEGGE DEI GAS PERFETTI

Legge dei gas perfetti (legge del gas ideale)

Equazione di stato:

$$PV = nRT$$

dove:

P = pressione assoluta / V = volume occupato dal gas / n = numero di moli di gas / T = temperatura assoluta (Kelvin)

In alternativa: usando il numero di particelle N e la costante di Boltzmann k_B :

$$PV = Nk_B T$$

Costante universale dei gas, R

R è la costante che appare nell'equazione dei gas perfetti ed è universale, cioè ha lo stesso valore per tutti i gas ideali considerati nella forma molare dell'equazione.

Valore in unità SI: circa **8,314 J / (mol · K)**.

Altre unità comuni: ~ 0,0821 L · atm / (mol · K) (quando si usano litri e atmosfere)

*La costante di Boltzmann (k_B) equivale al rapporto tra la costante dei gas R e il numero di avogadro N_A

Il suo valore è $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K



GAS REALI e IDEALI a confronto

- I **gas reali** non seguono perfettamente la legge dei gas ideali.
- Deviazioni più evidenti ad **alte pressioni** e **basse temperature**, quando contano:
 - il **volume proprio** delle molecole: quando la **pressione è alta** (cioè il volume disponibile è piccolo), il volume proprio delle particelle diventa significativo rispetto al volume totale del gas.
 - le **forze intermolecolari**:
Nei gas reali, invece, esistono **forze di Van der Waals**:
 - **Attrattive** (a medio raggio) che tendono a ridurre la pressione esercitata sulle pareti.
 - **Repulsive** (a corto raggio) che impediscono alle particelle di avvicinarsi troppo.
- **Temperatura critica**: valore oltre il quale un gas **non può essere liquefatto**, qualunque sia la pressione applicata.



GAS REALI e IDEALI a confronto

- L'**energia interna** di un gas è la somma delle energie microscopiche delle particelle:
 - energia **cinetica** (moto delle particelle)
 - energia **potenziale** (interazioni).
- Secondo la **teoria cinetica**, un gas è costituito da particelle in **moto caotico continuo**.
- La **pressione** deriva dagli urti contro le pareti.
- La **temperatura** è proporzionale all'energia cinetica media.
- Per un **gas ideale**, l'energia interna dipende solo dalla **temperatura assoluta**.



18.CALORE



- Il **calore (Q)** è il trasferimento di energia termica associato a una differenza di temperatura e non imputabile al lavoro.
- Fluisce **spontaneamente** dal corpo più caldo a quello più freddo.
- Non è una grandezza di stato: dipende dal processo con cui avviene lo scambio.
- Nei gas ideali, il calore ricevuto o ceduto provoca variazioni di temperatura o cambiamenti nello stato termodinamico.
- Un corpo ad alta temperatura non ha più calore di uno a bassa temperatura perché il calore non è intrinseco a un corpo ma esiste solo come **scambio di energia** tra due sistemi
- Il **corpo umano** non è in grado di percepire la temperatura assoluta di un corpo ma solo la trasmissione di calore

Principio zero della termodinamica:

- due sistemi in equilibrio termico con un terzo, sono in equilibrio termico tra di loro.



CAPACITÀ TERMICA e CALORE SPECIFICO

Capacità termica (C): quantità di calore necessaria per aumentare di 1 K la temperatura di un corpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Calore specifico (c): capacità termica riferita all'unità di massa (o di mole).

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Nei **gas ideali** i valori di c dipendono dal tipo di trasformazione:

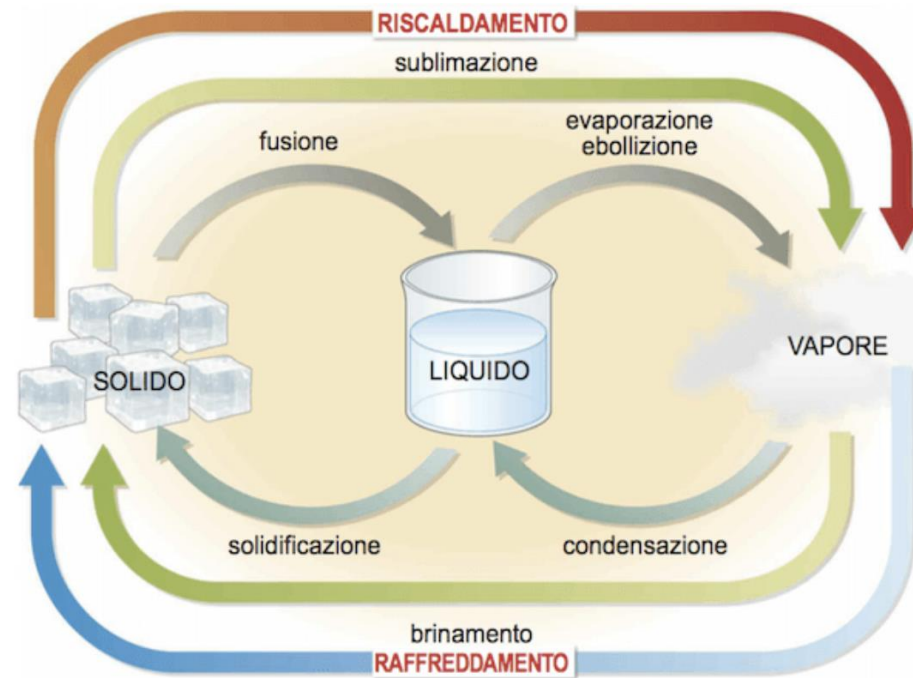
- c_v : a volume costante
- c_p : a pressione costante, con $c_p > c_v$.



19.CAMBIAMENTI DI STATO E CALORE LATENTE



- Un **cambiamento di stato** avviene quando una sostanza passa da una fase (solido, liquido, gas) a un'altra.
- Principali fenomeni: **fusione** (da solido a liquido), **solidificazione** (da liquido a solido), **evaporazione / ebollizione** (da liquido a vapore), **condensazione** (da vapore a liquido), **sublimazione** (da solido a gas) e **brinamento** (da gas a solido).
- Durante il cambiamento di stato la **temperatura rimane costante**, anche se viene fornito o sottratto calore.

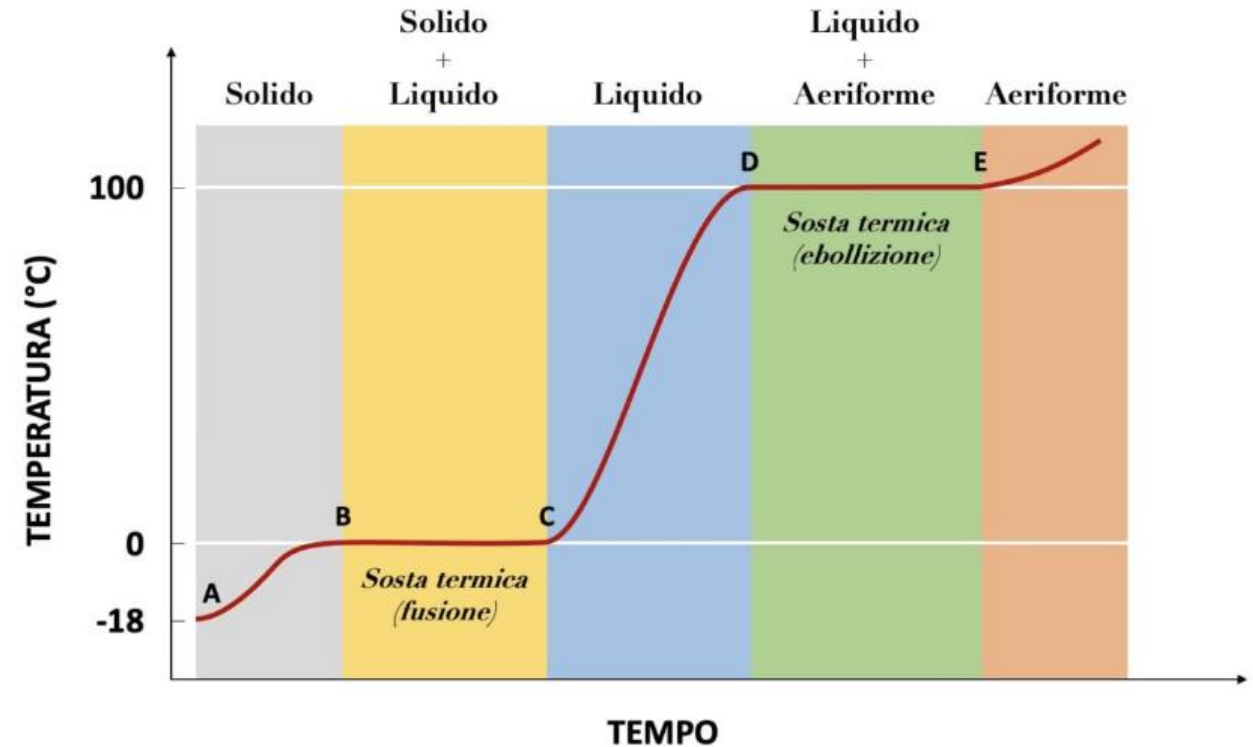


CAMBIAMENTI di STATO e CALORE LATENTE

Il calore latente è definito come la quantità di calore che un corpo assorbe o rilascia durante i cambiamenti di stato (soste termiche) e durante le quali la temperatura non varia, infatti l'energia è usata per cambiare lo stato, non la temperatura. La sua formula è: **$Q = mL$**

Dove:

- m è la massa
- L è il calore latente specifico, che dipende dal tipo di sostanza e dal cambiamento di stato in corso. es. H₂O fusione = 334 kJ/kg, H₂O vaporizzazione = 2260 kJ/kg



CALORIMETRIA

- La **calorimetria** è la disciplina che studia gli scambi di calore tra corpi o sistemi. Si basa sul principio di **conservazione dell'energia**: in un sistema isolato, il calore ceduto da un corpo è uguale a quello assorbito da un altro.

- Equazione della calorimetria**

$$Q = m c \Delta T$$

Q = calore scambiato (J)

m = massa della sostanza (kg o g)

c = calore specifico (J/(kg·K) oppure J/(g·°C))

ΔT = variazione di temperatura (T_{finale} – T_{iniziale})

- L'equazione vale quando non ci sono cambiamenti di stato.
- Se avviene un **cambiamento di stato**, si usa:

$$Q = m L$$

dove **L** è il calore latente specifico.



TRASMISSIONE DEL CALORE

- **Conduzione termica**

Trasferimento di calore attraverso un materiale solido per contatto diretto tra le particelle.

Governata dalla **legge di Fourier**:

$$\frac{Q}{t} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

dove k = conducibilità termica, A = area, ΔT = differenza di temperatura, Δx = spessore.

- **Convezione**

Avviene nei fluidi (liquidi e gas).

Il calore si trasferisce grazie al **moto delle particelle** del fluido.

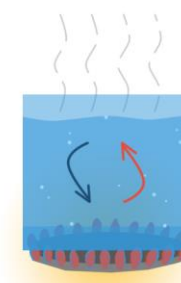
Può essere **naturale** (per differenze di densità) o **forzata** (per effetto di pompe o ventilatori).

- **Irraggiamento**

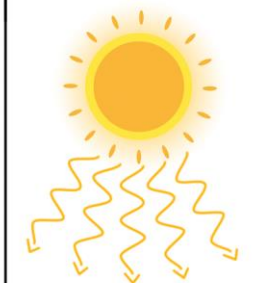
Trasferimento di calore tramite **onde elettromagnetiche** (infrarosso), non richiede un mezzo materiale.



CONDUZIONE



CONVEZIONE



IRRAGGIAMENTO

FLUSSO DI CALORE

// **flusso di calore** è la quantità di calore che attraversa una superficie per unità di tempo e di area, espresso in **W/m²**

$$\frac{Q}{t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$\frac{Q}{t}$: calore trasferito nell'unità di tempo (W)

k : conducibilità termica del materiale (W/m · K)

A : area della sezione (m²)

ΔT : differenza di temperatura (K o °C)

Δx : spessore del materiale (m)

Il **flusso di calore** (per unità di area) si scrive:

$$\phi = \frac{1}{A} \frac{Q}{t} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



20.PRINCIPI TERMODINAMICI E TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE



LEGGI FONDAMENTALI DELL'IRRAGGIAMENTO

- **Legge di Stefan-Boltzmann:**

$$P = \sigma AT^4$$

Potenza totale irraggiata $\propto T^4$ (σ = costante di Stefan-Boltzmann).

- **Legge di Wien:**

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

La lunghezza d'onda della massima emissione è inversamente proporzionale alla temperatura (corpo più caldo $\rightarrow$ radiazione più "blu").

- **Esempi di trasmissione del calore**
 - **Conduzione:** cucchiaino di metallo che si scalda in una tazza di tè.
 - **Convezione:** circolazione dell'aria calda in una stanza con termosifone.
 - **Irraggiamento:** calore percepito al sole o vicino a un fuoco.



PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

- Il **primo principio della termodinamica** stabilisce che la variazione di **energia interna** di un sistema (ΔU) è uguale al calore assorbito (Q) meno il lavoro compiuto (L):

$$\Delta U = Q - L$$

- **Significato fisico**
 - L'**energia interna** di un sistema rappresenta l'energia microscopica totale (cinetica + potenziale delle particelle).
 - Se un sistema assorbe calore ($Q > 0$), la sua energia interna può aumentare o essere in parte trasformata in lavoro.
 - Se il sistema compie lavoro ($L > 0$), cede energia all'esterno e la sua energia interna può diminuire.
 - Il primo principio stabilisce che **non si può creare né distruggere energia**, ma solo trasformarla tra calore, lavoro e altre forme.



PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Concetti implicati nel primo principio della termodinamica

- 1. **conservazione dell'energia**
- 2. esiste una funzione (di stato) che si chiama **energia interna**
- 3. il **calore è energia trasferita**

L'energia interna (U) è una funzione di stato esclusivamente delle coordinate termodinamiche, quindi ogni sua variazione dipenderà solo dal punto iniziale e dal punto finale delle coordinate termodinamiche



TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

Il primo principio si applica a tutte le **trasformazioni termodinamiche**, legando calore, lavoro ed energia interna.

Le trasformazioni termodinamiche possono essere:

- **Isocora**: volume costante, quindi il sistema non compie lavoro ($L=0 \Rightarrow Q=\Delta U$).
- **Isobara**: pressione costante, il calore scambiato si divide tra variazione di energia interna e lavoro ($Q = \Delta U + L$)
- **Isotherma**: temperatura costante, l'energia interna non varia ($\Delta U = 0 \Rightarrow Q = L$).
- **Adiabatica**: nessuno scambio di calore, variazione di energia interna solo tramite lavoro ($\Delta U = - L$).



TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

Trasformazioni reversibili e irreversibili

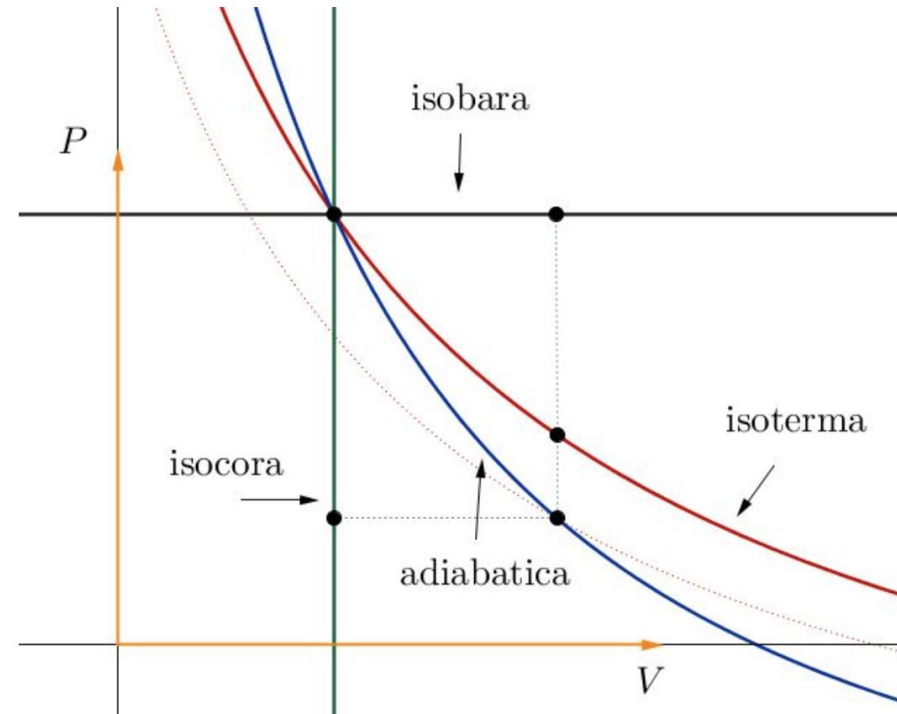
- **Reversibili:** avvengono in modo infinitamente lento, il sistema resta sempre in equilibrio con l'ambiente. Sono processi ideali e teorici.
- **Irreversibili:** avvengono realmente, con attriti, dissipazioni o gradienti finiti di temperatura/pressione.

Nei processi irreversibili, parte dell'energia si disperde, e non tutto il calore può essere convertito in lavoro utile.



COMPORTAMENTO QUALITATIVO DELLE TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

- **ISOTERMA** → se il volume aumenta, la pressione diminuisce; calore assorbito = lavoro fatto; energia interna non cambia.
- **ISOCORA** → pressione e temperatura variano insieme; se si aggiunge calore, la pressione aumenta; se si toglie, la pressione diminuisce.
- **ISOBARA** → all'aumentare della temperatura, il gas si espande; serve calore sia per aumentare l'energia interna che per fare lavoro espandendosi.
- **ADIABATICA** → Se il gas si espande adiabaticamente, la temperatura scende (perché fa lavoro attingendo dall'energia interna); se si comprime, la temperatura sale. È un processo "più rigido" di isoterme o isobare.



SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Enunciabile con varie formulazioni:

- **Enunciato di Clausius:** è impossibile trasferire calore spontaneamente da un corpo freddo a uno più caldo senza compiere lavoro.
- **Enunciato di Kelvin-Planck:** è impossibile realizzare una macchina termica che trasformi tutto il calore ricevuto in lavoro, senza altre conseguenze.
- **Enunciato moderno:** in un sistema isolato l'entropia è una funzione non decrescente nel tempo

In tutti i casi il principio introduce il concetto di **irreversibilità**:

- I processi reali hanno sempre dissipazioni (attrito, attriti viscosi, resistenze, gradienti di T e P).
- Le trasformazioni naturali avvengono in una direzione privilegiata (dal caldo al freddo, da ordini a stati più disordinati).
- L'irreversibilità è collegata all'aumento di **entropia**, grandezza che misura il "grado di disordine" o la probabilità di uno stato.



21.CICLI E DEFINIZIONE DI RENDIMENTO



- Un **ciclo termodinamico** è una sequenza di trasformazioni che riportano un sistema allo **stato iniziale**.
- Alla fine del ciclo, le **variabili di stato** (P , V , T , U) tornano ai valori iniziali, ma il sistema ha **scambiato calore e lavoro** con l'esterno.

Funzionamento:

- Se il ciclo produce **lavoro netto positivo**, si ha una **macchina termica** (es. motore).
- Se il ciclo consuma lavoro per trasferire calore da freddo a caldo, si ha una **macchina frigorifera** o una **pompa di calore**.
- Nei diagrammi P - V , il lavoro netto corrisponde all'**area racchiusa** dal ciclo.



MACCHINE TERMICHE E RENDIMENTO

- Una **macchina termica** è un dispositivo che trasforma parte del calore assorbito da una sorgente calda in **lavoro utile**, cedendo il resto a una sorgente fredda.
- Funziona quindi in un **ciclo termodinamico**:
Assorbe calore Q_1 da una sorgente calda a temperatura T_1 .
Produce lavoro L .
Cede calore Q_2 a una sorgente fredda a temperatura T_2 .

Rendimento (η)

Il **rendimento** è una grandezza che misura l'**efficienza di una macchina termica**: indica quanta parte del calore assorbito dalla sorgente calda viene trasformata in **lavoro utile**.

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

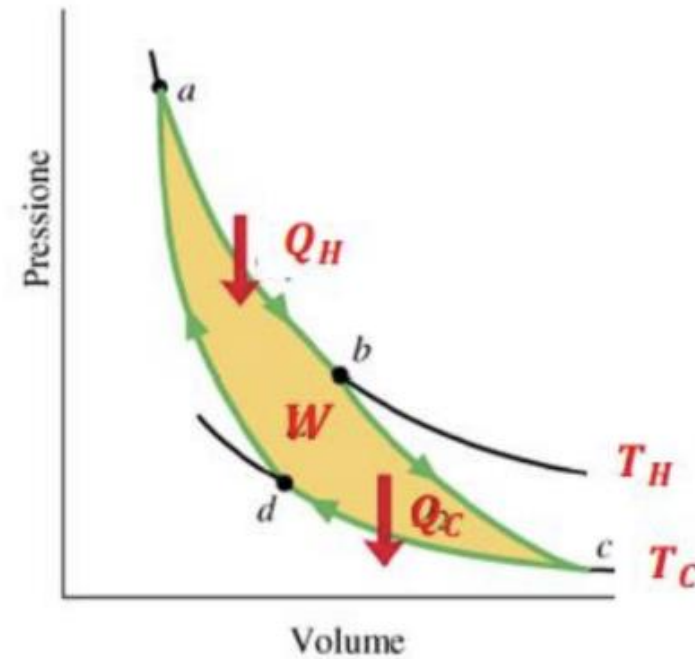


CICLO DI CARNOT

- È un **ciclo ideale** formato da due trasformazioni isoterme e due adiabatiche.
- Rappresenta la **macchina termica teorica più efficiente** possibile tra due sorgenti a temperature T_1 e T_2 .
- Il suo rendimento dipende solo dalle temperature:

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

1. espansione isoterma da a a b
2. espansione adiabatica da b a c
3. compressione isoterma da c a d
4. compressione adiabatica da d ad a



22. ENTROPIA



- L'**entropia (S)** è una **funzione di stato**: dipende solo dallo stato iniziale e finale del sistema, non dal percorso seguito.
- Definizione termodinamica:

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

dove δQ_{rev} è il calore scambiato in una trasformazione reversibile a temperatura T .

Implicazioni macroscopiche

- L'entropia misura il grado di **irreversibilità** dei processi naturali.
- Nei processi spontanei l'entropia **aumenta o resta costante** ($\Delta S \geq 0$).
- È alla base del secondo principio: non tutto il calore può essere trasformato in lavoro.



Legame tra entropia e direzione naturale dei processi

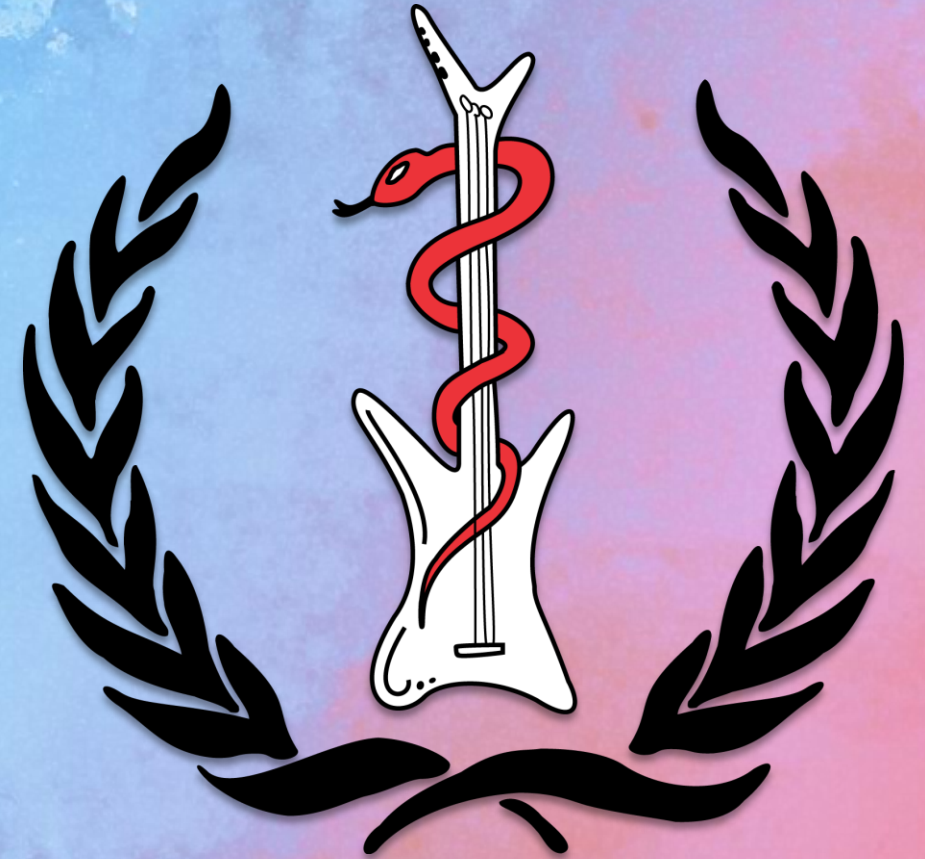
- In un **sistema isolato**, ogni processo spontaneo porta a un **aumento dell'entropia totale** (sistema + ambiente).
- Se il processo fosse reversibile, l'entropia resterebbe costante; ma i processi reali sono **irreversibili**, comportano dissipazioni, attriti, gradienti di temperatura.
- L'aumento di entropia determina la **direzione naturale** dei processi: ad esempio, il calore fluisce spontaneamente dal corpo più caldo a quello più freddo, non viceversa.
- Quando un sistema evolve, tende verso lo stato di **equilibrio termodinamico**, ovvero lo stato in cui l'entropia è massima alle condizioni date.



Associazione Studenti e Prof di Medicina Uniti Per

**Grazie per
l'attenzione!**

Alla prossima!



Studenti e Prof Uniti Per



@studentieprofunitiper



info@studentieprofunitiper.it