



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TERAMO

Fisica

Medicina Veterinaria — Semestre
Aperto 2026

Prof. Francesco de Pasquale

Lezioni 40, 41 e 42

Outline

Lezione 40

- Onde acustiche: propagazione del suono nei diversi mezzi materiali, con particolare attenzione alla velocità del suono.
- Relazione tra intensità acustica e percezione sonora. Definizione di livello di intensità sonora in decibel.
- Esempi onde acustiche ed Effetto Doppler: descrizione qualitativa.

Lezione 41

- Concetti fondamentali: definizione di sistema e ambiente.
- Variabili termodinamiche (pressione, volume, temperatura) e stato termodinamico.
- Funzioni di stato. Temperatura e sue scale di misura.

Lezione 42

- Gas perfetti ed equazione di stato.
- Esercizi

Onde Acustiche

Il suono: propagazione, velocità e percezione

Propagazione del Suono nei Materiali

Il suono è un'onda longitudinale meccanica: richiede un mezzo materiale per propagarsi. La velocità dipende dall'**elasticità** e dalla **densità** del mezzo. I delfini comunicano sott'acqua perché a 1480 m/s il suono percorre chilometri con minima attenuazione.



Velocità del Suono nei Diversi Mezzi

343

Aria (20°C)

m/s — varia con temperatura: +0.6 m/s per ogni °C

1480

Acqua (25°C)

m/s — ~4× più veloce che in aria

3500

Osso compatto

m/s — usato in densitometria ossea veterinaria

1540

Tessuti molli

m/s — valore usato nell'ecografia diagnostica

Percezione Sonora in dB

L'orecchio dei mammiferi non risponde linearmente all'intensità sonora, ma in modo **logaritmico**. Per questo si usa la scala in **decibel (dB)**:

$$\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Dove $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ è la **soglia di udibilità** del giovane adulto umano a 1 kHz.

0 dB

Soglia uditiva (
 10^{-12} W/m^2)

+10 dB

Intensità $\times 10$

+20 dB

Intensità $\times 100$

+30 dB

Intensità $\times 1000$

Riepilogo: Come Calcolare $\log_{10}$

Definizione

Il logaritmo in base 10 di un numero x risponde alla domanda:

"A quale esponente devo elevare 10 per ottenere x ?"

$$\log_{10}(x) = y \iff 10^y = x$$

📌 **Regola d'oro:** Se il numero è già una potenza di 10, il logaritmo è semplicemente l'esponente.

Esempio: $\log_{10}(1000) = \log_{10}(10^3) = 3$

Esempi con potenze di 10

$$\log_{10}(1) = 0$$

$$10^0 = 1$$

$$\log_{10}(10) = 1$$

$$10^1 = 10$$

$$\log_{10}(100) = 2$$

$$10^2 = 100$$

$$\log_{10}(1000) = 3$$

$$10^3 = 1000$$

$$\log_{10}(0,1) = -1$$

$$10^{-1} = 0,1$$

$$\log_{10}(0,01) = -2$$

$$10^{-2} = 0,01$$

Esercizi (Tommasi)

Esercizio # 1121

$$I = 1 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

A) 7 dB

B) 10 dB

C) 20 dB

D) 70 dB

E) 50 dB ←

$$\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{-7}}{10^{-12}} \right)$$

$$= 10 \log_{10} \left(\cancel{10^{-7}} \cancel{10^{12}} 10^5 \right)$$

$$= 10 \log_{10} (10^{\textcircled{5}}) = 10 \cdot 5 = 50 \text{ dB}$$

$$\beta = 50 \text{ dB} \quad \text{E) } \checkmark$$

$$\log_{10} (10^x) = x$$

Scala dei Livelli Sonori



0–30 dB

Foglie al vento, sussurro, ambiente silenzioso



40–60 dB

Conversazione normale, ambulatorio veterinario tranquillo



70–90 dB

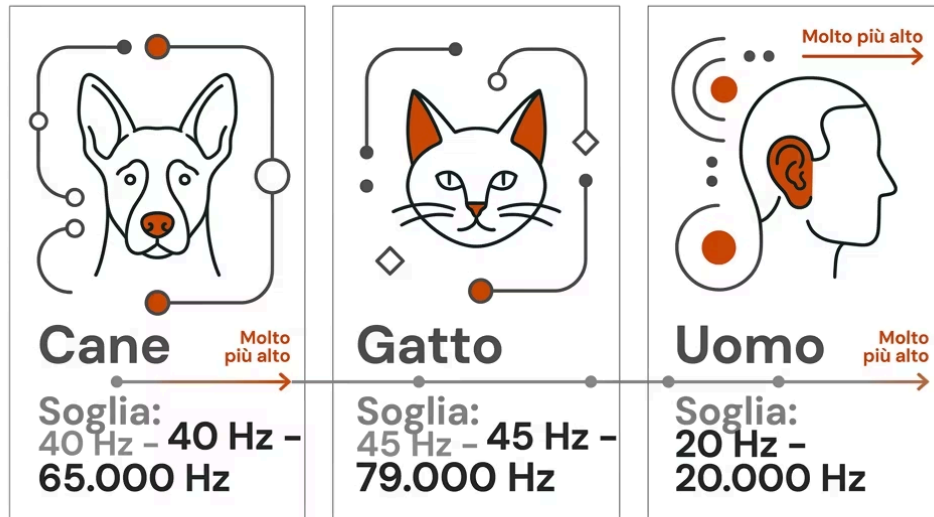
Cane che abbaia, traffico urbano, aspirapolvere



100–120 dB

Soglia del dolore, macchinari industriali, concerto

Soglia Uditiva e Udibilità



L'orecchio umano percepisce suoni tra **20 Hz e 20.000 Hz**.
Cani e gatti sentono fino a 65–79 kHz: possono udire gli ultrasuoni emessi da roditori e insetti, invisibili alla nostra percezione.

I **fischietti per cani** emettono frequenze ultrasoniche (>20 kHz): inudibili per l'uomo, chiaramente percepibili dal cane.

La Curva Isofoniche

La sensibilità dell'orecchio non è uniforme su tutte le frequenze. Il sistema uditivo dei mammiferi è **più sensibile** attorno alle frequenze delle vocalizzazioni della propria specie.

Per il cane, la massima sensibilità è intorno a **4 kHz** — la frequenza dei guaiti di cuccioli in pericolo.





Ultrasuoni in Medicina Veterinaria

Le frequenze ultrasoniche (2–15 MHz) non sono udibili ma trasportano energia e informazioni. L'**ecografia** sfrutta la riflessione degli ultrasuoni alle interfacce tra tessuti di diversa impedenza acustica per ricostruire immagini interne senza radiazioni ionizzanti.

Ecografia: Principi di Base

Una lezione introduttiva per studenti di medicina veterinaria sui fondamenti fisici e clinici dell'ecografia, dalla natura degli ultrasuoni alla formazione dell'immagine, fino all'eco-Doppler.

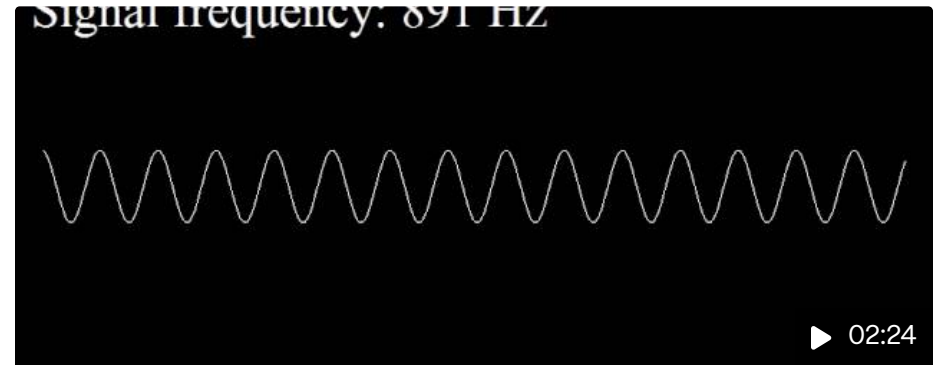


Cosa Sono gli Ultrasuoni?

L'ecografia si basa su **onde acustiche** — non elettromagnetiche — che si propagano come suoni attraverso i tessuti biologici. Il suono udibile dall'uomo arriva fino a circa 20.000 Hz. Gli **ultrasuoni** sono onde acustiche con frequenza ≥ 20.000 Hz, al di sopra della soglia uditiva umana.

In diagnostica ecografica si utilizzano tipicamente frequenze comprese tra **2 e 15 MHz**. Frequenze più alte offrono maggiore risoluzione ma minore penetrazione nei tessuti.

❏ Ultrasuoni $\neq$ onde elettromagnetiche: non comportano radiazioni ionizzanti, rendendoli sicuri per uso ripetuto.

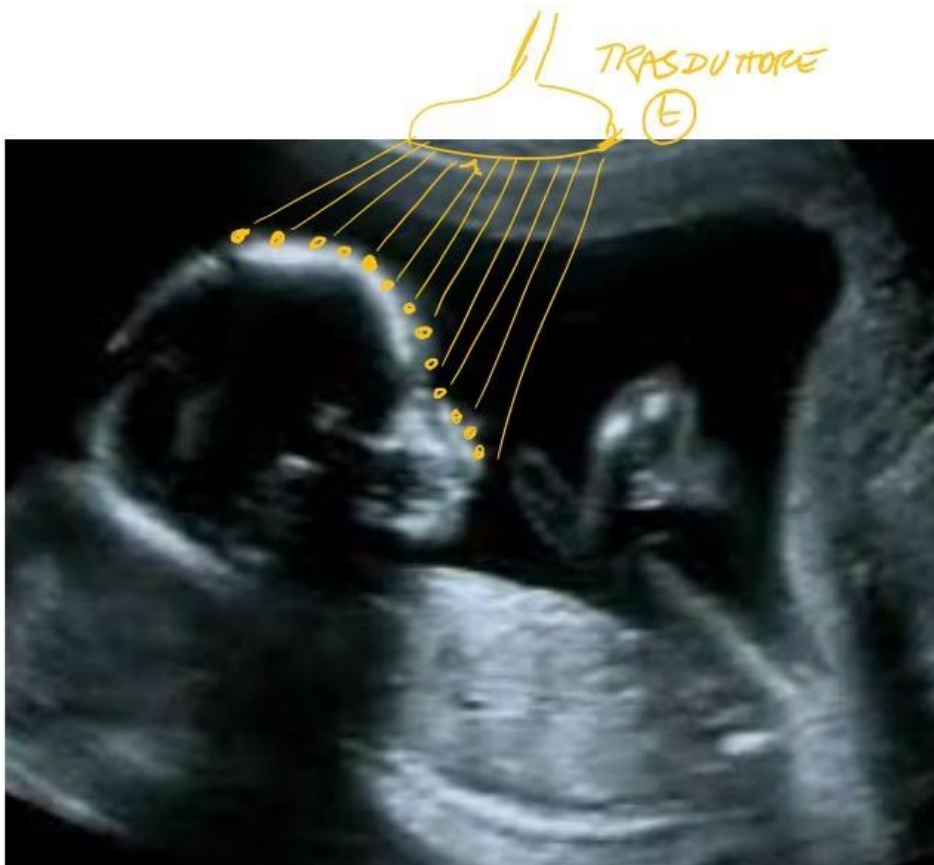


 YouTube



20Hz to 20kHz (Human Audio Spectrum)

Sinusoidal wave going through entire human audio spectrum, starting at 20Hz and ending at 20kHz. Note...



Il Trasduttore

Il trasduttore è il cuore del sistema ecografico invia e riceve ultrasuoni ed è alla base della formazione delle immagini

Il trasduttore converte energia elettrica in onde ultrasonore e viceversa, grazie all'effetto **piezoelettrico**. Un campo elettrico oscillante deforma il cristallo piezoelettrico, generando onde acustiche.



Emissione

Solo l'**1%** del tempo il trasduttore emette ultrasuoni.

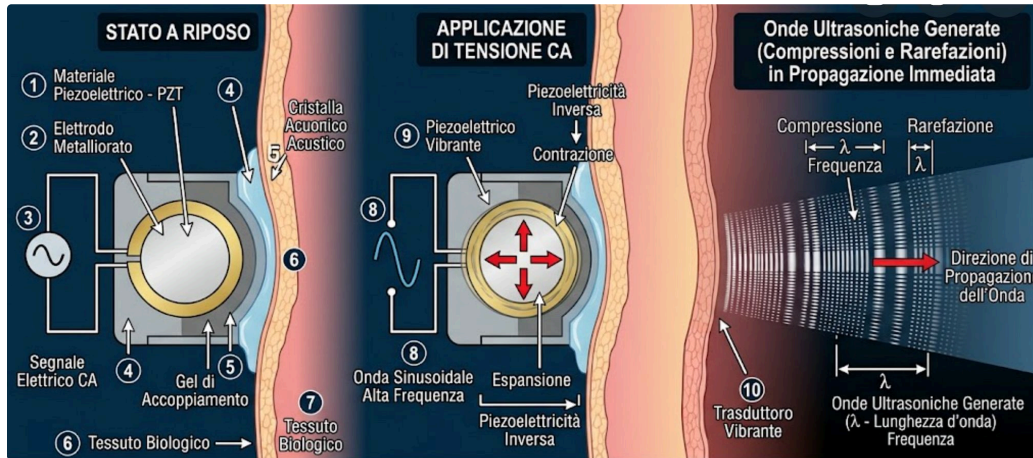
Ricezione

Il **99%** del tempo il trasduttore "ascolta" gli echi di ritorno.

Efficienza

In aria: ~10% di trasmissione. Nel tessuto biologico: ~99%.

Il Cristallo Piezoelettrico

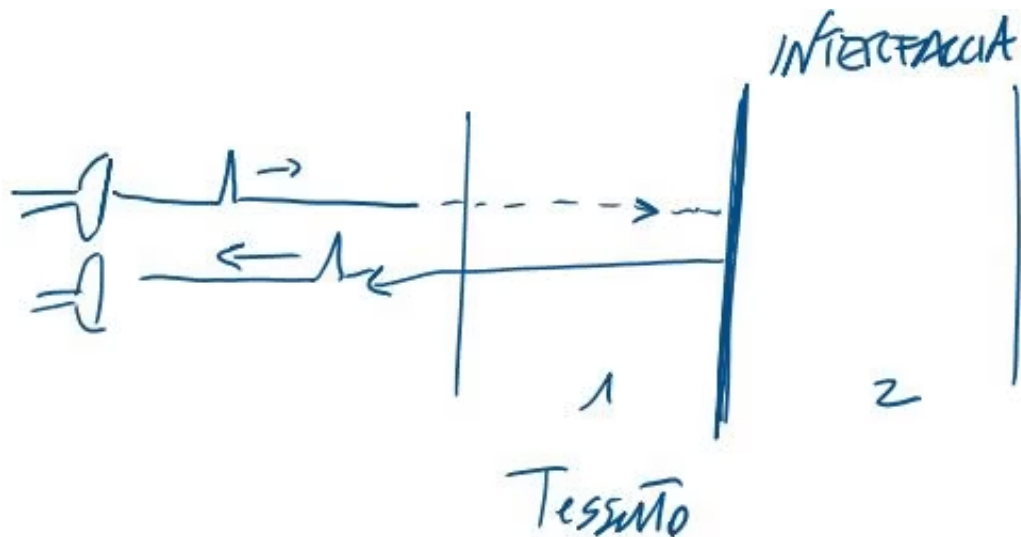


Come funziona?

Il cristallo **piezoelettrico** all'interno del trasduttore si deforma meccanicamente quando sottoposto a un campo elettrico oscillante. Questa deformazione genera onde di pressione — gli ultrasuoni — che si propagano nel mezzo.

Il processo è **reversibile**: quando un'onda di ritorno (eco) colpisce il cristallo, genera un segnale elettrico che viene elaborato per formare l'immagine.

Formazione dell'Eco

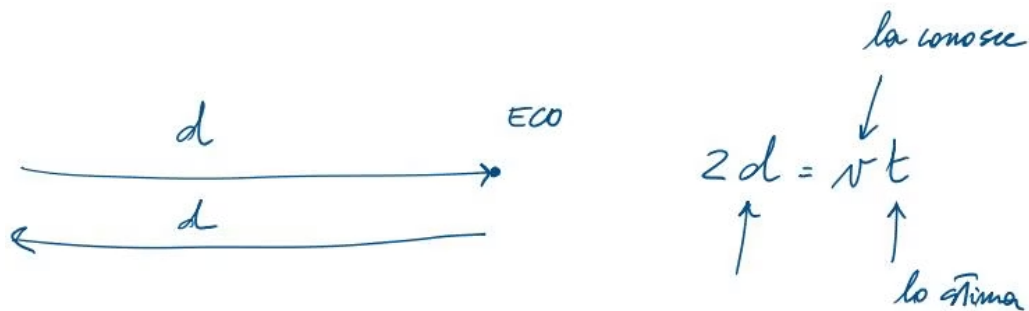


Calcolo della Distanza

Quando l'onda incontra un'**interfaccia** tra due tessuti, parte dell'energia viene riflessa come eco. La distanza dell'interfaccia si calcola con:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

Il sistema **conosce** la velocità del suono nei tessuti ($v \approx 1540$ m/s) e **stima** il tempo di ritorno (t) dell'eco. Da questi dati calcola la posizione e forma l'immagine.



Impedenza Acustica e Contrasto

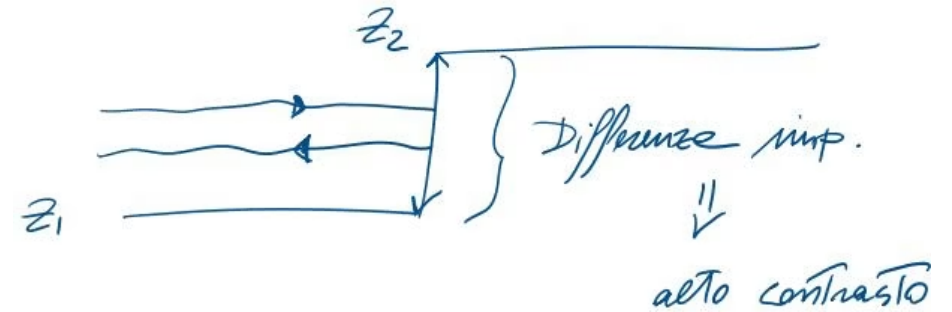
Il **contrasto** dell'immagine ecografica dipende dall'**impedenza acustica** dei tessuti, definita come:

$$Z = \rho \cdot v$$

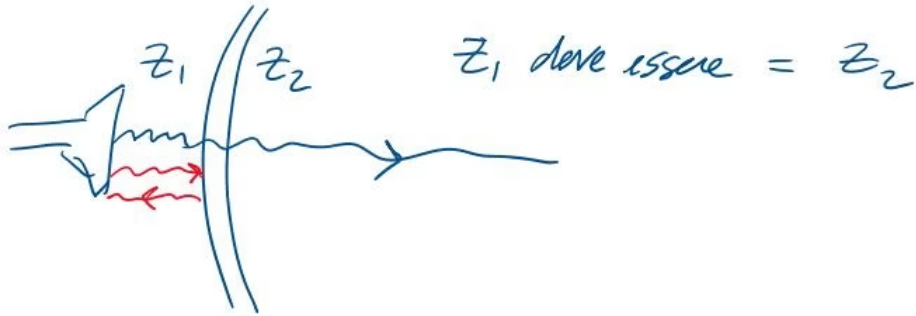
dove ρ è la densità del tessuto e v la velocità del suono.

Un'**interfaccia** è un "salto" nei valori di Z tra due tessuti adiacenti.

Maggiore è la differenza di impedenza, maggiore è il contrasto nell'immagine. Se due tessuti hanno impedenza molto simile, **non si forma eco** e non è possibile distinguerli.



Perché si Usa il Gel?



Tra il trasduttore e la cute esiste normalmente uno strato d'aria. Poiché l'aria ha un'impedenza acustica **molto diversa** da quella dei tessuti biologici, si formerebbe un'eco fortissima all'uscita del trasduttore, impedendo la penetrazione degli ultrasuoni.

Il **gel ecografico** è un mezzo "tessuto-equivalente": la sua impedenza acustica è praticamente uguale a quella dei tessuti molli ($Z_1 \approx Z_2$). In questo modo si elimina l'interfaccia aria-cute e gli ultrasuoni penetrano liberamente.

- ❏ In veterinaria è spesso necessario radere il pelo prima dell'esame per garantire un buon contatto con il gel.

Vantaggi e Limiti dell'Ecografia

✓ Vantaggi

- **Non invasiva:** nessuna radiazione elettromagnetica
- **Economica** rispetto ad altre tecniche (TC, RM)
- **Veloce:** eseguibile in tempo reale
- **Portatile:** utilizzabile in campo o in ambulatorio

⚠ Limiti

- **Risoluzione spaziale** inferiore rispetto a TC e RM
- **Operatore-dipendente:** la qualità dipende fortemente dall'esperienza del radiologo
- Scarsa penetrazione in presenza di **gas** o **osso**



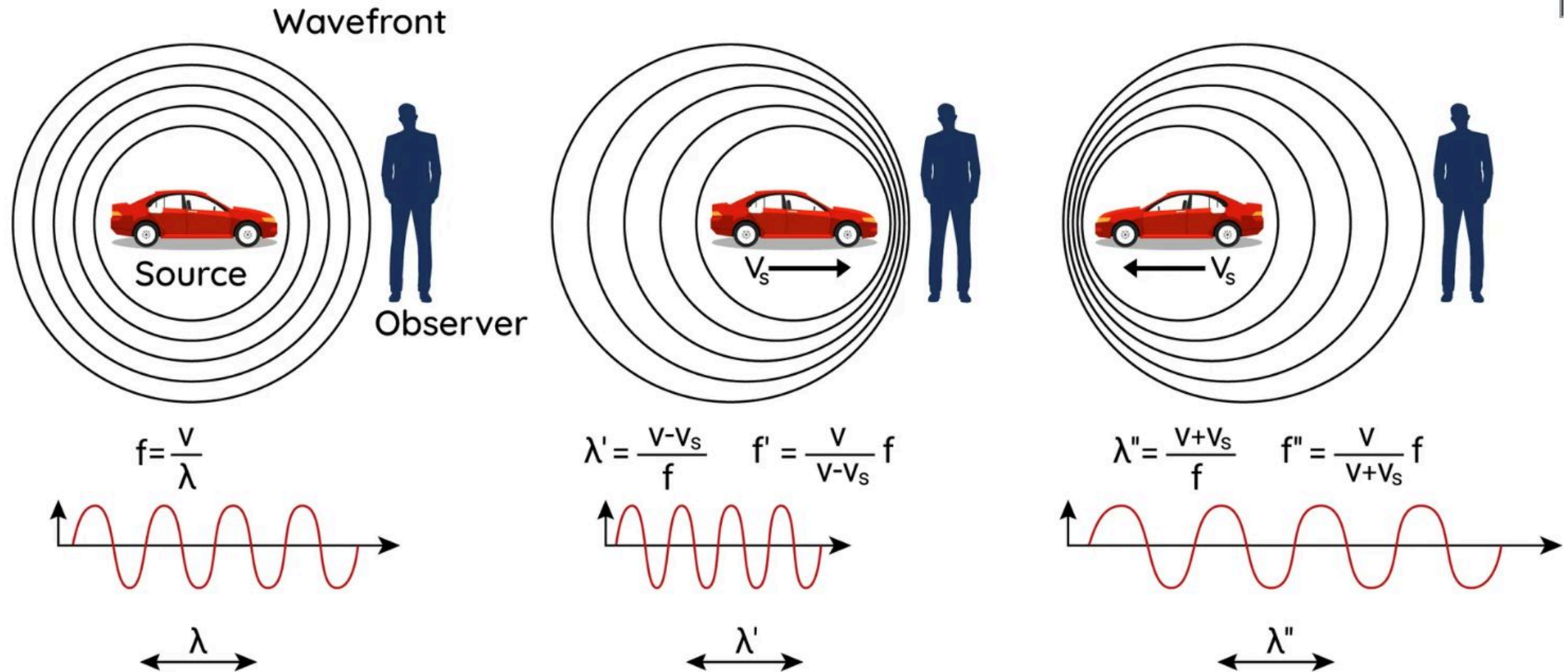
Cos'è l'Effetto Doppler?



L'**effetto Doppler** è la variazione apparente della frequenza di un'onda percepita da un osservatore quando sorgente e osservatore sono in **moto relativo**.

Avvicinarsi alla sorgente → frequenza percepita **più alta**. Allontanarsi → frequenza **più bassa**. La sirena di un'ambulanza suona acuta quando si avvicina e grave quando si allontana.

Interpretazione Fisica



La sorgente in moto altera la distribuzione spaziale dei fronti d'onda: li comprime nella direzione del moto e li dilata nella direzione opposta.

Formule dell'Effetto Doppler

La frequenza percepita dall'osservatore è:

$$f' = f_0 \cdot \frac{v \pm v_O}{v \mp v_S}$$

f_0

Frequenza emessa dalla sorgente

v

Velocità del suono nel mezzo

v_O

Velocità dell'osservatore (+se si avvicina, -se si allontana)

v_S

Velocità della sorgente (-se si avvicina, +se si allontana)

Casi Particolari

Solo sorgente in moto verso l'osservatore

$$f' = f_0 \cdot \frac{v}{v - v_S}$$

$f' > f_0$ — frequenza più alta

Solo osservatore in moto verso la sorgente

$$f' = f_0 \cdot \frac{v + v_O}{v}$$

$f' > f_0$ — frequenza più alta

Entrambi fermi

$$f' = f_0$$

Nessun effetto Doppler — si sente la frequenza reale

Doppler Veterinario: Ecocardiografia

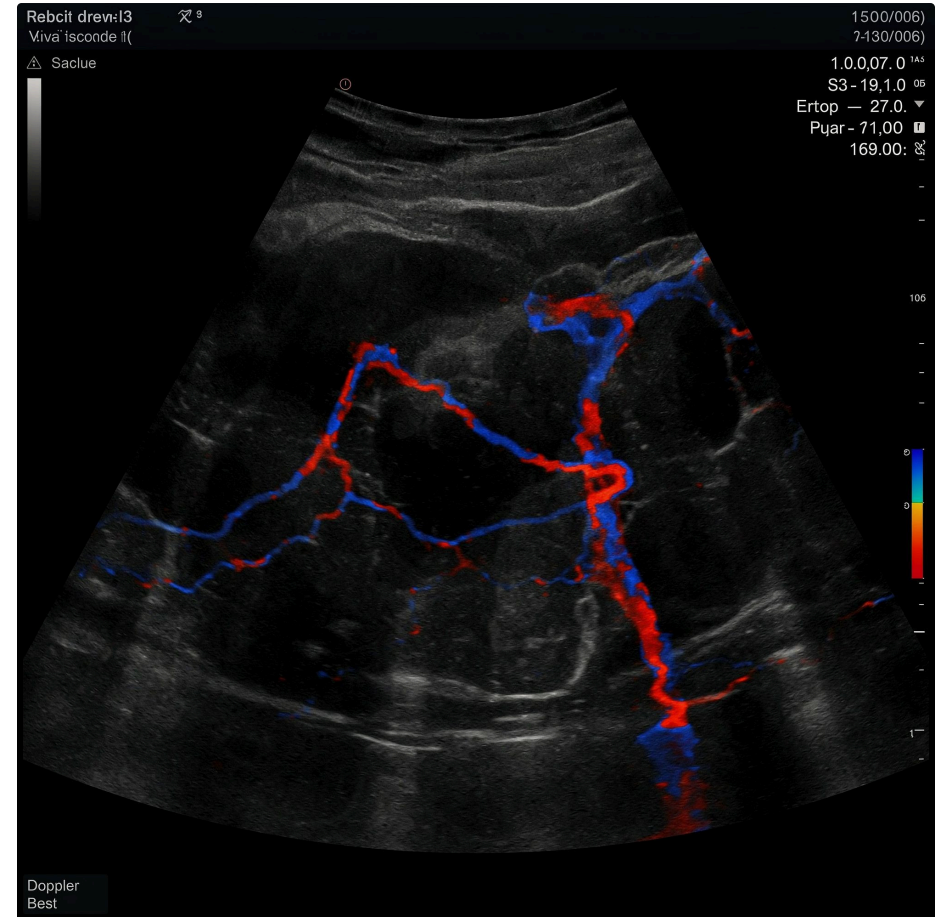


L'**ecocardiografia Doppler** sfrutta l'effetto Doppler degli ultrasuoni riflessi dai globuli rossi in movimento nel cuore.

Misurando lo spostamento di frequenza, lo strumento calcola la **velocità del flusso ematico** — fondamentale per diagnosticare stenosi valvolari, rigurgiti e cardiomiopatie nei piccoli animali.

Eco-Doppler: Principi

L'**eco-Doppler** combina l'ecografia tradizionale con l'**effetto Doppler** per valutare il flusso ematico in tempo reale. Quando gli ultrasuoni colpiscono globuli rossi in movimento, la frequenza dell'eco riflesso cambia rispetto a quella emessa- Lo **shift Doppler** (Δf) permette di calcolare velocità e direzione del flusso.



Doppler nella Fauna Selvatica

I **pipistrelli** usano l'ecolocazione: emettono ultrasuoni (40–100 kHz) e analizzano l'effetto Doppler dell'eco riflesso dagli insetti in volo per determinarne la posizione e la **velocità**.

Il cervello del pipistrello è specializzato nel rilevare differenze di frequenza di pochi Hz — una capacità evolutiva straordinaria con applicazioni ispiratrici per i sonar artificiali.



Riepilogo Integrato

Le Onde nei Sistemi Biologici



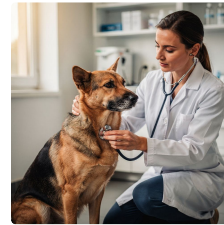
Ecocardiografia

Effetto Doppler + riflessione ultrasuoni per misurare flusso ematico



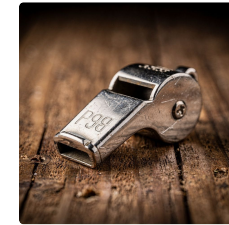
Ecolocazione

Analisi Doppler dell'eco per determinare posizione e velocità delle prede



Auscultazione

Onde longitudinali nei tessuti trasmesse alle orecchie attraverso lo stetoscopio

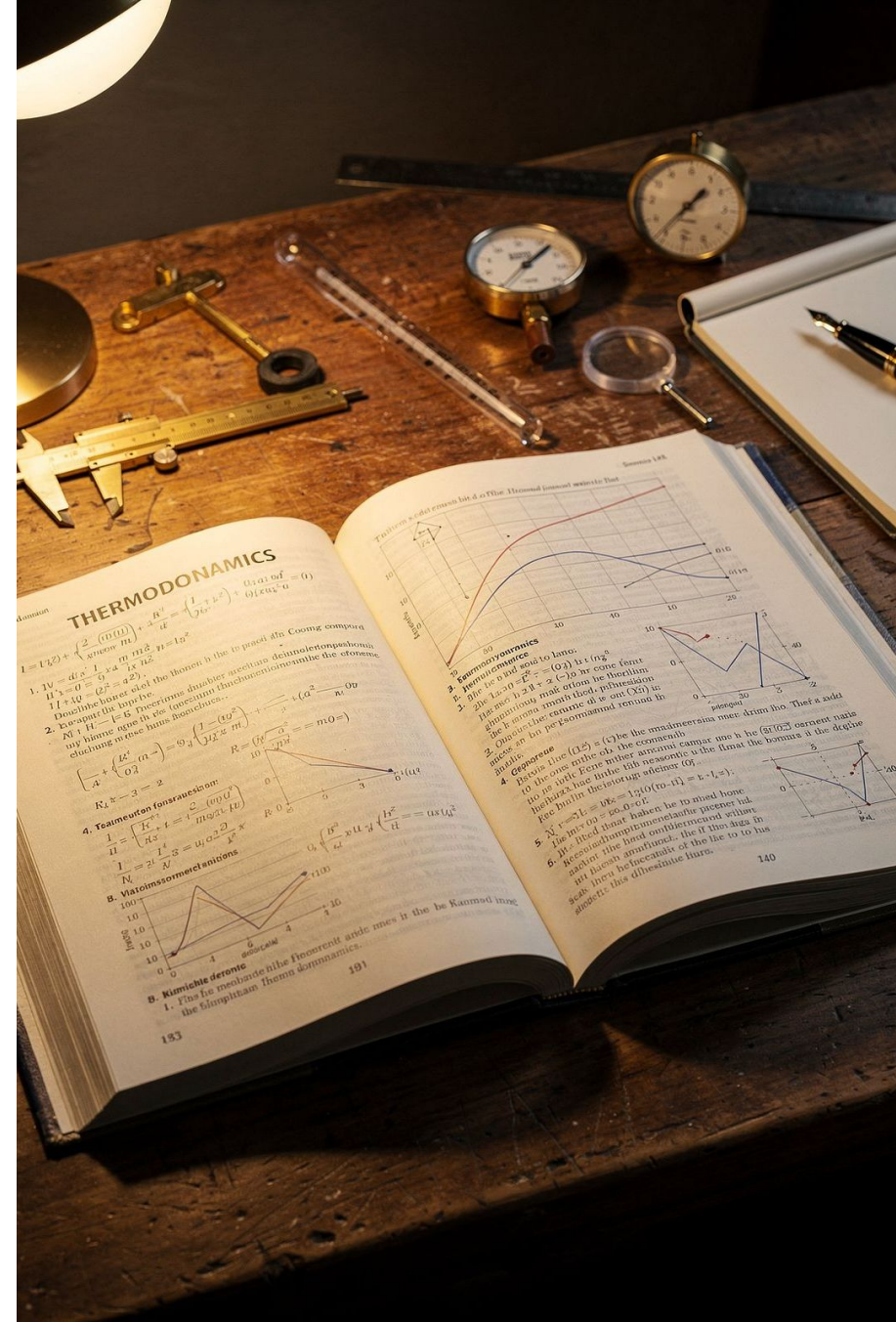


Fischietto ultrasonico

Frequenze > 20 kHz: inudibili all'uomo, percepibili da cani fino a 65 kHz

Termodinamica

Scambi, trasferimenti di calore. La termodinamica studia gli **scambi e trasferimenti di energia** tra sistemi. Il concetto centrale è il **calore**, inteso come forma di energia (meccanica e non solo), che si trasferisce tra corpi a temperature diverse.



Approcci alla Termodinamica

Fenomenologica

Descrive i fenomeni termici a livello macroscopico, basandosi su grandezze osservabili come temperatura, pressione e volume.

Statistica

Interpreta i fenomeni termici a livello microscopico, collegando il comportamento delle singole particelle alle proprietà macroscopiche del sistema.

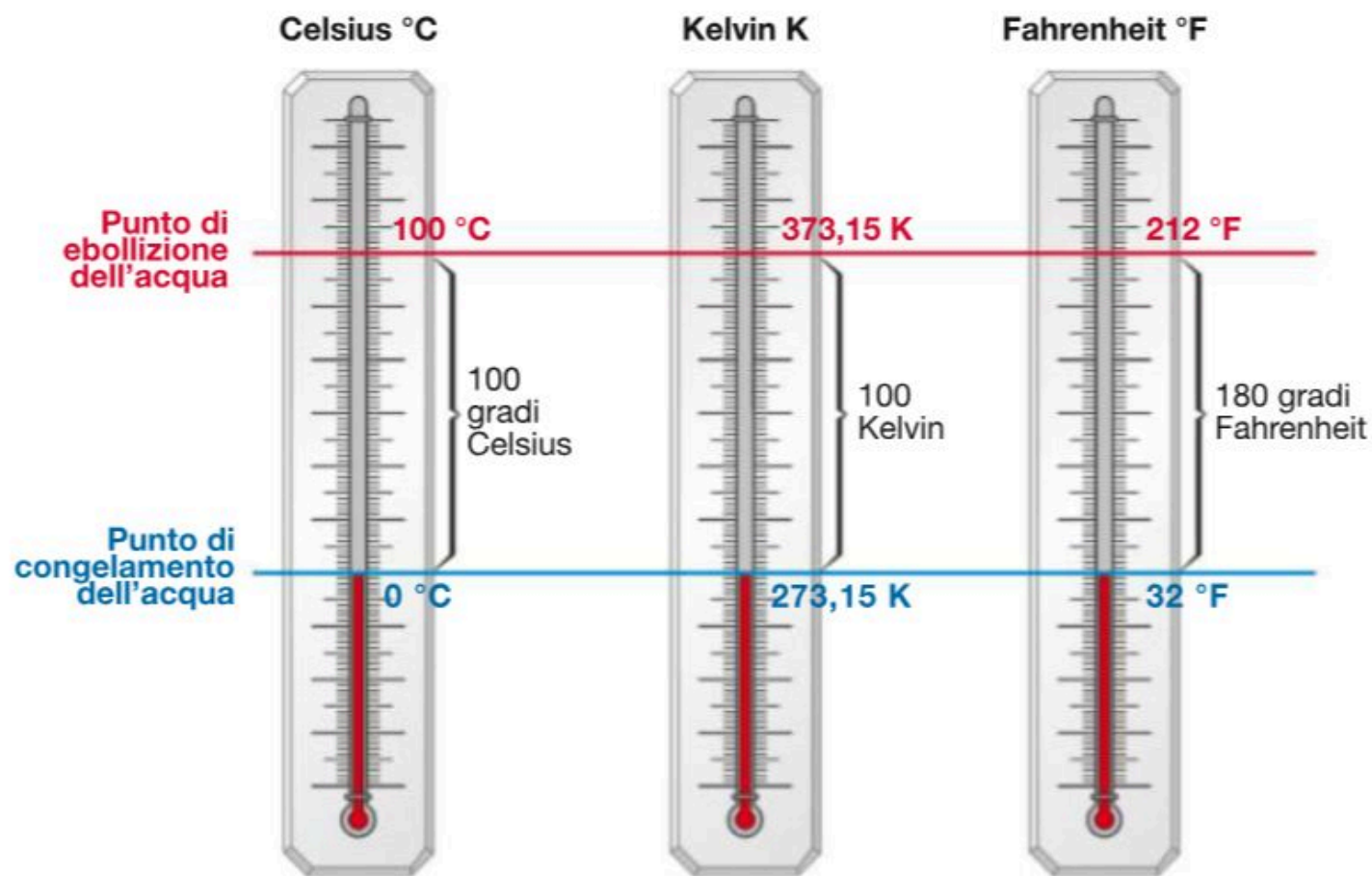


La Temperatura

La **temperatura** T è una grandezza scalare fondamentale della termodinamica. La sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il **Kelvin** (K).

La Scala Kelvin e il Sistema SI

La temperatura può crescere teoricamente verso l'infinito ($T \rightarrow \infty$), ma ha un limite inferiore assoluto: lo **zero assoluto**, $T \rightarrow 0$ K.



Temperature Estreme dell'Universo

10^{39}K

Prima del Big Bang

Temperatura stimata dell'universo prima
del Big Bang.

3K

Fondo Cosmico

Temperatura attuale della radiazione
cosmica di fondo.

$273,15^{\circ}$

Conversione Celsius

$$T_{\text{Celsius}} = T_{\text{Kelvin}} - 273,15^{\circ}$$

Conversione tra Scale di Temperatura

La relazione tra la scala Celsius e la scala Kelvin è:

$$T_{\text{Celsius}} = T_{\text{Kelvin}} - 273,15^{\circ}$$

Lo zero assoluto (0 K) corrisponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$. Al di sotto di questa temperatura non è fisicamente possibile scendere.



Principio Zero della Termodinamica

"Se due corpi A e B si trovano in equilibrio termico con un terzo corpo C, allora sono in equilibrio termico tra loro."

Lo scambio di energia termica (calore) avviene **solo se i corpi hanno temperature diverse**. Quando $T_A = T_B$ si raggiunge l'**equilibrio termico**.

Sistema e Ambiente: Definizioni

Caso 1: $T_S > T_A$

Il calore fluisce dal sistema all'ambiente: $Q_S \rightarrow Q_A$. Il calore è **ceduto** dal sistema: $Q < 0$. Il trasferimento avviene fino a $T_S = T_A$.

Caso 2: $T_S < T_A$

Il calore fluisce dall'ambiente al sistema: $Q_A \rightarrow Q_S$. Il calore è **assorbito** dal sistema: $Q > 0$.

Caso 3: $T_A = T_S$

Nessuno scambio di calore: $Q = 0$. Il sistema è in equilibrio termico con l'ambiente.

Variabili di Stato

Un sistema termodinamico, tra cui gas, è un sistema fisico descritto unicamente da grandezze macroscopiche dette **variabili di stato**, che assumono un valore definito quando il sistema è in equilibrio. Le principali variabili di stato sono:

Pressione, Volume e Stato Termico

Per descrivere un gas è necessario definire il suo **stato termodinamico** attraverso grandezze macroscopiche misurabili. Queste variabili di stato permettono di caratterizzare completamente il comportamento del gas.

Pressione (P)

Forza esercitata dalle molecole per unità di superficie.

Unità SI: **Pascal (Pa)**

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

Volume (V)

Spazio occupato dal gas nel contenitore.

Unità SI: **metro cubo (m³)**

V = spazio occupato

Temperatura (T)

Misura dell'energia cinetica media delle molecole.

Unità SI: **Kelvin (K)**

$$T \propto \bar{E}_k$$

❏ Lo stato termico di un gas è completamente determinato dalla terna di variabili **(P, V, T)**. Questa è la base per la descrizione dei **gas perfetti**, o ideali

Definizione di gas ideale (perfetto)

Si definisce gas ideale un insieme di particelle puntiformi, siano esse atomi o molecole, in continuo movimento disordinato, che interagiscono tra loro unicamente attraverso urti elastici, sia reciproci sia con le pareti del recipiente che le contiene. In questo modello non si considerano né forze attrattive né forze repulsive tra le particelle al di fuori degli urti, e il loro volume proprio è trascurabile rispetto al volume complessivo occupato dal gas.

- **Molecole puntiformi:** Il volume proprio delle singole particelle è nullo se confrontato con lo spazio totale occupato dal gas.
- **Assenza di interazioni:** Non ci sono forze attrattive o repulsive tra le molecole a distanza.
- **Urti elastici:** Gli urti tra le particelle e contro le pareti del contenitore sono perfettamente elastici (senza perdita di energia cinetica).
- **Moto casuale:** Le molecole si muovono in modo disordinato e continuo in tutte le direzioni

Particelle puntiformi

Il volume proprio delle molecole è trascurabile rispetto al volume del contenitore.

Urti elastici

Nessuna forza attrattiva o repulsiva tra le molecole al di fuori degli urti; l'energia cinetica totale si conserva.

Moto disordinato

Le velocità sono distribuite casualmente in tutte le direzioni (distribuzione di Maxwell-Boltzmann).

Equazione di Stato dei Gas Ideali (Legge di Clapeyron)

$$PV = nRT$$

P: pressione del gas [Pa]

V: volume occupato [m³]

n: numero di moli [mol]

R: costante universale dei gas

T: temperatura assoluta [K]

Definizione di mole

La **mole** n (mol) è l'unità di misura della quantità di materia in SI. Una mole contiene esattamente $6,022 \times 10^{23}$ **entità elementari** (atomi, molecole, ioni, ecc.) — questo numero è detto **Numero di Avogadro** N_A ; se N è il numero di molecole, una mole è definita come:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Definizione storica: 1 mol è la quantità di sostanza che contiene tanti atomi quanti ne sono contenuti in **12 grammi di ^{12}C** (Carbonio-12). Il Carbonio-12 è l'isotopo del carbonio con 6 protoni e 6 neutroni; la sua massa atomica è esattamente 12 u (unità di massa atomica).

La Costante dei Gas R

La costante universale dei gas R compare nell'equazione di stato $PV = nRT$. I suoi valori nelle diverse unità di misura:

8,314 J/(mol·K)

Unità SI — la più usata in fisica

0,08206 L·atm/(mol·K)

Utile in chimica (litri e atmosfere)

1,987 cal/(mol·K)

Utile in termochimica

La Legge dei Gas Ideali in ambito biomedico

In anestesia veterinaria, questa equazione descrive il comportamento dei gas anestetici (es. isoflurano, sevoflurano) nei circuiti respiratori. Conoscere P , V e T permette di calcolare la quantità di gas inalata dall'animale durante la procedura.



Vi ricordate le 7 grandezze fondamentali in SI?

Ci manca solo intensità luminosa...



Lunghezza

metro (m)



Massa

kilogrammo (kg)



Tempo

secondo (s)



Corrente
elettrica

ampere (A)



Temperatura

kelvin (K)



Quantità di sostanza

mole (mol) ← unità chiave



Intensità luminosa

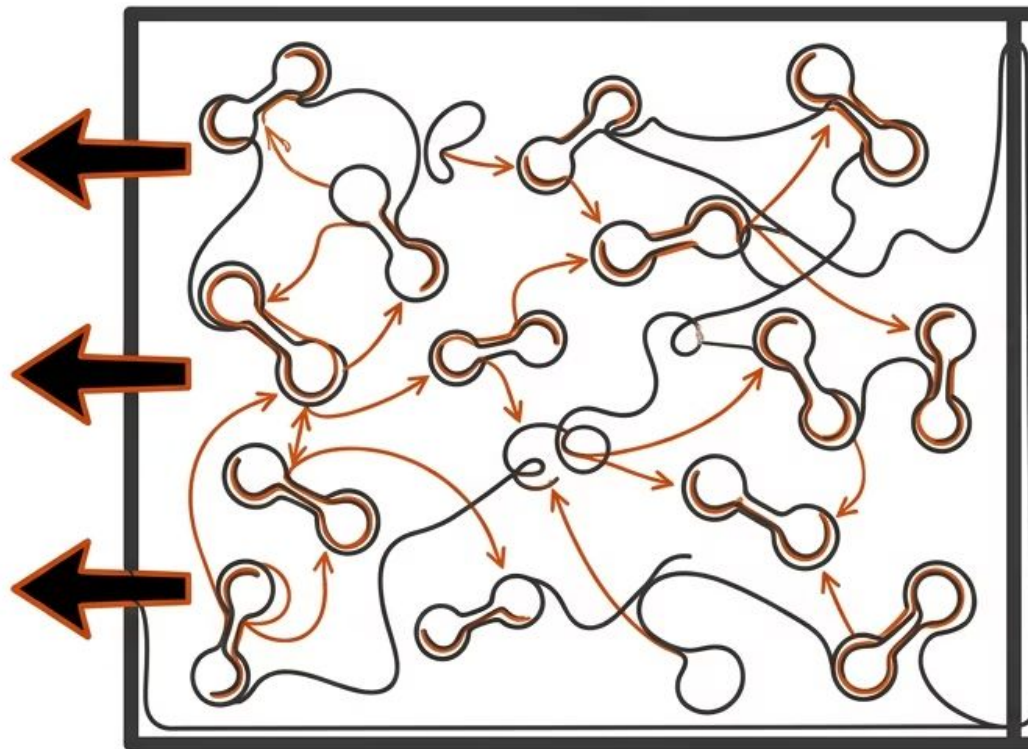
candela (cd)

Gas Reali e Gas Ideali

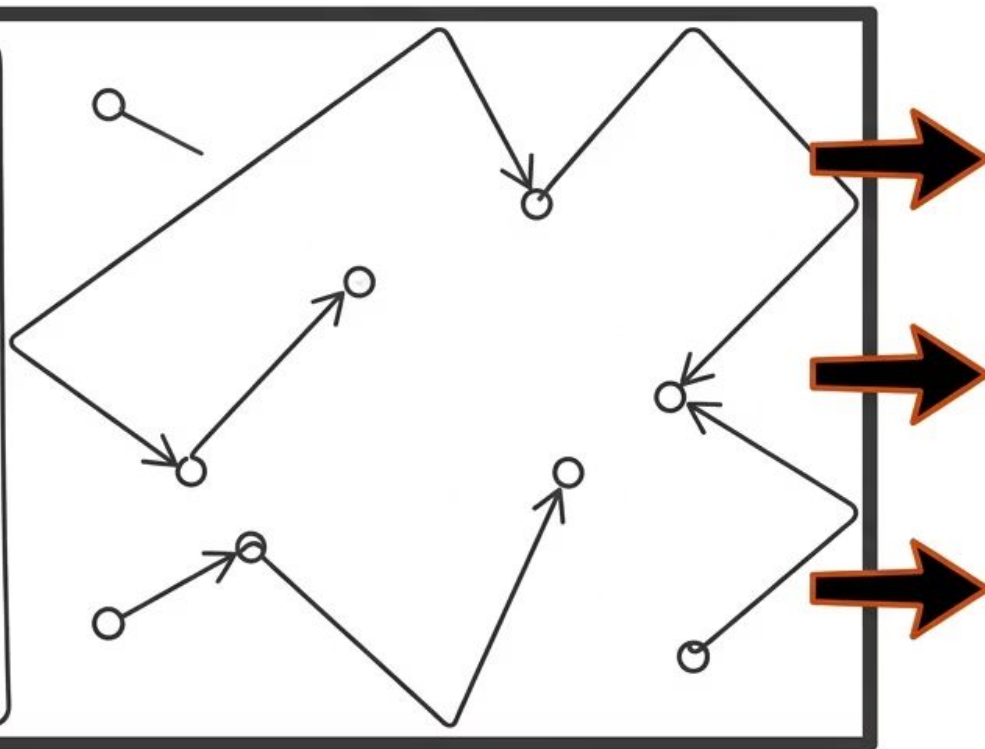
Nella realtà, un **gas reale** si comporta come un gas ideale solo in condizioni molto particolari: basse pressioni e alte temperature, dove le molecole si trovano molto distanti tra loro e le interazioni intermolecolari diventano trascurabili. In queste condizioni limite, il gas reale si avvicina al modello ideale.



Gas Reale



Gas Ideale



GAS IDALE vs GAS REALE: Particelle puntiformi, solo urti elastici, nessuna forza (Ideale). Molecole complesse, forze di attrazione, urti non ideali (Reale).

Esercizi (Tommasi)

Esercizio # 1200

$$1L \quad P = 1 \text{ atm} \quad 0^\circ C$$

Quante sono le molecole che compongono il gas

- A) $6,02 \cdot 10^{23}$
- B) $2,69 \cdot 10^{22}$ B)
- C) $6,02 \cdot 10^{21}$
- D) $2,69 \cdot 10^{20}$
- E) $6,02 \cdot 10^{19}$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$\begin{matrix} \text{atm} & & L \\ \downarrow & & \downarrow \\ PV & & \\ \hline RT & & \\ \downarrow & & \\ 2^\circ C & & \end{matrix}$

$R \begin{cases} \nearrow 8,314 \text{ J/mol K} \\ \searrow 0,08214 \text{ L atm/mol K} \end{cases}$

$$0^\circ C = 273,15 \text{ K}$$

$$n = \frac{1 \cdot 1}{0,08214 \cdot 273,15} \approx \frac{1}{3 \cdot 10^2 \cdot 8 \cdot 10^2}$$

$\underbrace{0,08214}_{24} \cdot \underbrace{273,15}_{300}$

$$n = \frac{1}{24} \quad \# = n N_A$$

$$= \frac{1}{24} 6 \cdot 10^{+23}$$

$$\approx 0,25 \cdot 10^{+23} \rightarrow 2,5 \cdot 10^{22} \rightarrow 2,69 \cdot 10^{22} \quad \text{B}$$

$$\frac{N}{N_A} = n$$

$$N = \# \text{ di molecole}$$

Le Leggi Empiriche dei Gas Ideali

L'equazione $PV = nRT$ generalizza quattro leggi empiriche scoperte tra il XVII e il XVIII secolo, ciascuna valida quando una variabile di stato è tenuta costante.

Legge di Boyle-Mariotte ($T = \text{cost.}$)

$$PV = \text{costante}$$

oppure $P_1V_1 = P_2V_2$

A temperatura costante, la pressione e il volume di un gas sono inversamente proporzionali. Le curve isoterme nel piano P-V sono iperboli equilateri.

Legge di Charles ($P = \text{cost.}$)

$$\frac{V}{T} = \text{costante}$$

oppure $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

A pressione costante, il volume è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta. Le isobare nel piano V-T sono rette passanti per l'origine.

Legge di Gay-Lussac ($V = \text{cost.}$)

$$\frac{P}{T} = \text{costante}$$

oppure $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

A volume costante, la pressione è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta. Le isocore nel piano P-T sono rette passanti per l'origine.

Legge di Avogadro ($P, T = \text{cost.}$)

$$\frac{V}{n} = \text{costante}$$

A pressione e temperatura costanti, il volume è proporzionale al numero di moli. A STP ($T=273,15 \text{ K}$, $P=1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$), 1 mole occupa $V_m = 22,4 \text{ L}$.

Questo grafico illustra come, in condizioni standard di temperatura e pressione (STP), gas differenti mostrano volumi molari quasi identici, in accordo con la legge di Avogadro.

Legge di Dalton

Una miscela di gas ideali si comporta come un unico gas ideale. La pressione totale è la somma delle pressioni parziali di ciascun componente.

$$P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + \dots + P_N = \sum P_i$$

dove $P_i = x_i \cdot P_{\text{tot}}$ e $x_i = n_i/n_{\text{tot}}$.

P_i: pressione parziale del gas i-esimo
[Pa]

x_i: frazione molare del gas i-esimo
(adimensionale, $0 \leq x_i \leq 1$)

n_i: numero di moli del gas i-esimo
[mol]

Trasformazione Isoterma

Fissando la temperatura costante (**T = cost.**), si ottiene una **trasformazione isoterma**. Per un gas ideale con n moli, la relazione diventa:

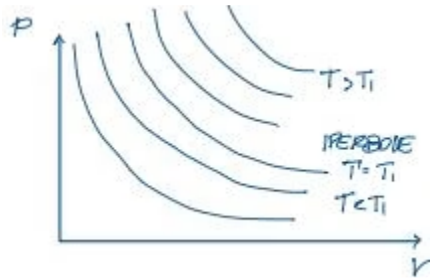
$$PV = nRT = \text{costante}$$

Quindi la pressione varia inversamente con il volume:

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{\text{cost}}{V}$$

Questa è un'**iperbole** nel piano P-V. Al variare della temperatura, si ottengono curve iperboliche diverse, dette **isoterme**: più alta è la temperatura, più la curva è spostata verso l'alto e verso destra.

Diagramma P-V: Isoterme del Gas Ideale



Il diagramma mostra le isoterme di un gas ideale: ogni curva corrisponde a una temperatura fissa. Le curve più alte corrispondono a temperature maggiori ($T > T_1$). La forma iperbolica conferma la relazione inversa tra P e V a temperatura costante.

Deviazioni dal Comportamento Ideale

Quando la temperatura scende al di sotto della **temperatura critica T_c** , il gas reale si discosta significativamente dal modello ideale. Le isoterme non sono più semplici iperboli: compaiono zone di coesistenza di fase dove gas e liquido esistono contemporaneamente.

$$T > T_c$$

Il gas si comporta **approssimativamente** come un gas ideale. Non è possibile liquefarlo, qualunque sia la pressione applicata.

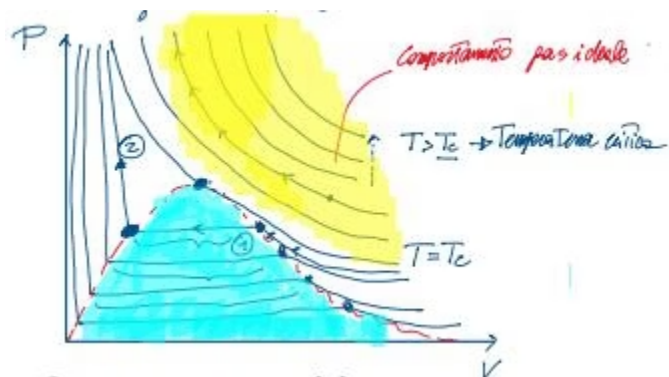
$$T = T_c$$

Temperatura critica: punto di demarcazione. Al di sopra non si può liquefare il gas per sola compressione.

$$T < T_c$$

Il gas può liquefarsi. Comprimendolo, si entra nella zona di coesistenza gas-liquido, con deviazioni marcate dalla legge ideale.

Diagramma P-V: Gas Reale



Il diagramma mostra il comportamento di un gas reale nel piano P-V. La zona colorata in blu rappresenta la **regione di coesistenza liquido-gas**. La curva a $T = T_c$ segna il confine oltre il quale il gas non può essere liquefatto per sola compressione isoterma.

Il Calore come Forma di Energia

Unità di misura

Il calore si misura in **Joule (J)** nel SI, ma si usa spesso anche la **caloria (cal)**.

Definizione di caloria

1 cal = quantità di calore necessaria ad innalzare la temperatura di 1 g d'acqua di 1°C nel range 14,5° → 15,5°.

$$1 \text{ cal} = 4,185 \text{ J}$$

Relazione tra Calore e Temperatura

La quantità di calore scambiata da un corpo dipende dalla variazione di temperatura:

$$Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$$

dove C è la **Capacità Termica**, una proprietà intrinseca del corpo che misura la "facilità" di assorbire o cedere calore. A parità di ΔT : se C è grande, Q è grande; se C è piccola, Q è piccola.

Capacità Termica: Mare vs. Terra



Il mare ha una capacità termica **molto maggiore** della terra: $C_M \gg C_T$. Questo spiega perché il mare si scalda e si raffredda molto più lentamente rispetto alla terraferma.



Esempio: Mare e Terra di Giorno

Il sole fornisce la stessa quantità di calore Q al mare e alla terra. Poiché $C_M \gg C_T$:

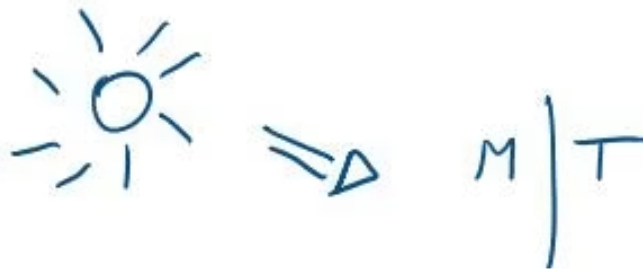
Mare

$Q = C_M \Delta T_M$: con C_M grande, $\Delta T_M \ll 0$. Il mare **non cambia temperatura** apprezzabilmente.

Terra

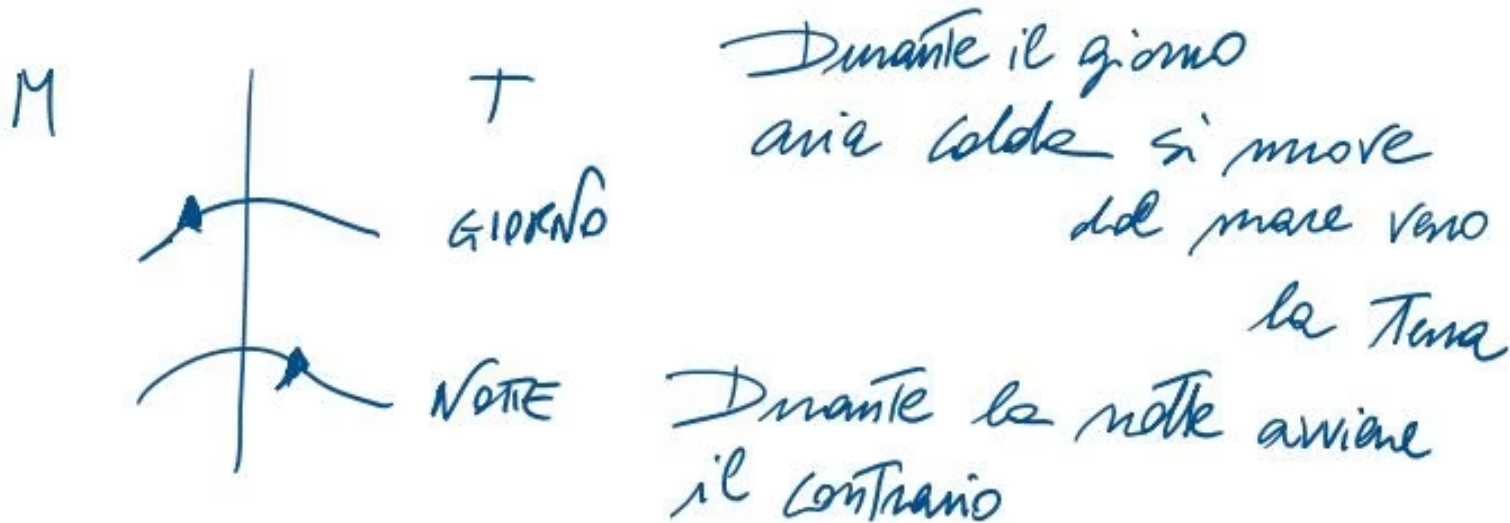
$Q = C_T \Delta T_T$: con C_T piccola, $\Delta T_T \gg 0$. La terra **si scalda molto di più**.

Esempio: Mare e Terra di Notte



Di notte il calore assorbito viene ceduto. Il mare, con C_M grande, cede molto calore ma con un piccolo ΔT : rimane "flegmatico". La terra, con C_T piccola, si raffredda **molto più rapidamente** e diventa più fredda del mare.

Brezza Marina: Giorno e Notte



Durante il giorno

L'aria calda si muove dal mare verso la terra (brezza di mare).

Durante la notte

Avviene il contrario: l'aria si muove dalla terra verso il mare (brezza di terra).

Calore Specifico e Capacità Termica

La capacità termica di un corpo dipende dalla sua massa e dal materiale di cui è composto:

$$C = mc$$

dove m è la massa e c è il **calore specifico** (proprietà del materiale). La formula completa per il calore scambiato diventa:

$$Q = C\Delta T = mc\Delta T$$

Il Lavoro in Meccanica

Il lavoro è definito come il prodotto scalare tra forza e spostamento:

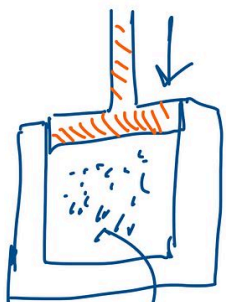
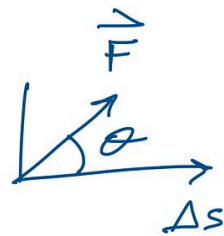
$$L = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos \theta$$

dove θ è l'angolo tra la forza e lo spostamento. L'unità di misura è il **Joule (J)**.



Definizione di lavoro Termodinamico:

$$\angle = \vec{F} \cdot \Delta \vec{s} = F \Delta s \cos \theta$$

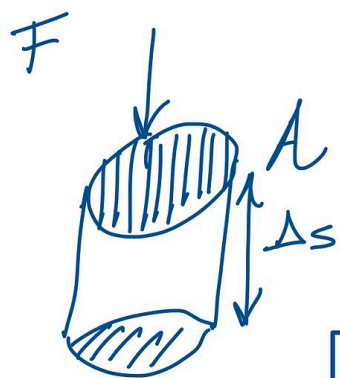


$$\angle = F \Delta s \cos \theta$$

$$\begin{array}{l} \downarrow \Delta s \\ \downarrow F \end{array} \quad \begin{array}{l} \theta = 0 \\ \cos \theta = 1 \end{array}$$

$$= F \Delta s = P A \Delta s$$

$$\left[P = \frac{F}{A} \right]$$



$$= P \Delta V$$

$$\angle = P \Delta V$$

$$\angle = \int P dV \quad \text{nel caso in } T = \text{cost.}$$

$$\angle = P \Delta V$$

Lavoro Termodinamico: Formula Generale

A pressione costante

$$L_G = P_G(V_f - V_i)$$

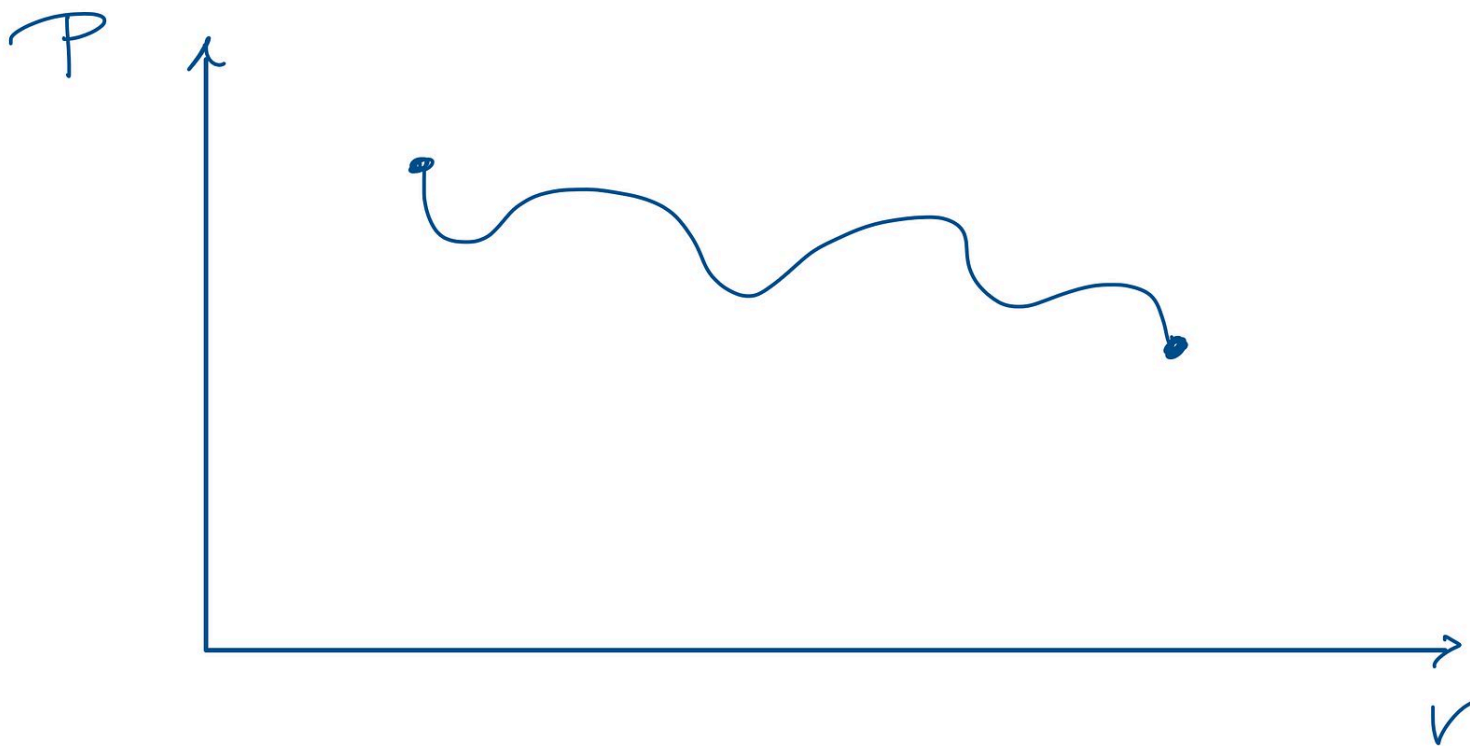
Caso generale

$$L = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Più forze

$$L_{\text{tot}} = P_1 \Delta V_1 + P_2 \Delta V_2 + \dots$$

Piano di Clapeyron



Trasformazione Termodinamica $\rightarrow$ Traiettorie (P, V)

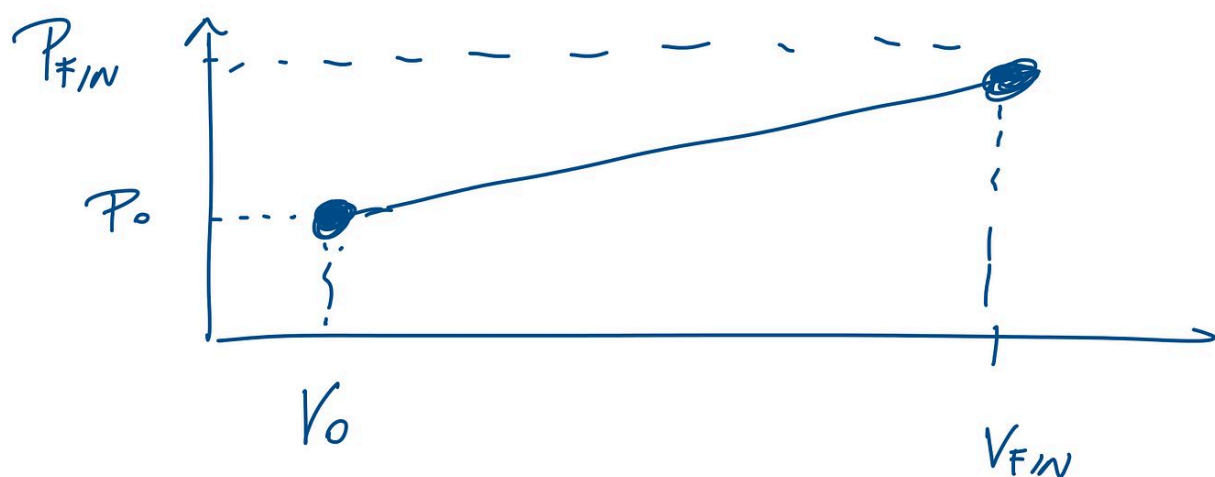


REVERSIBILE



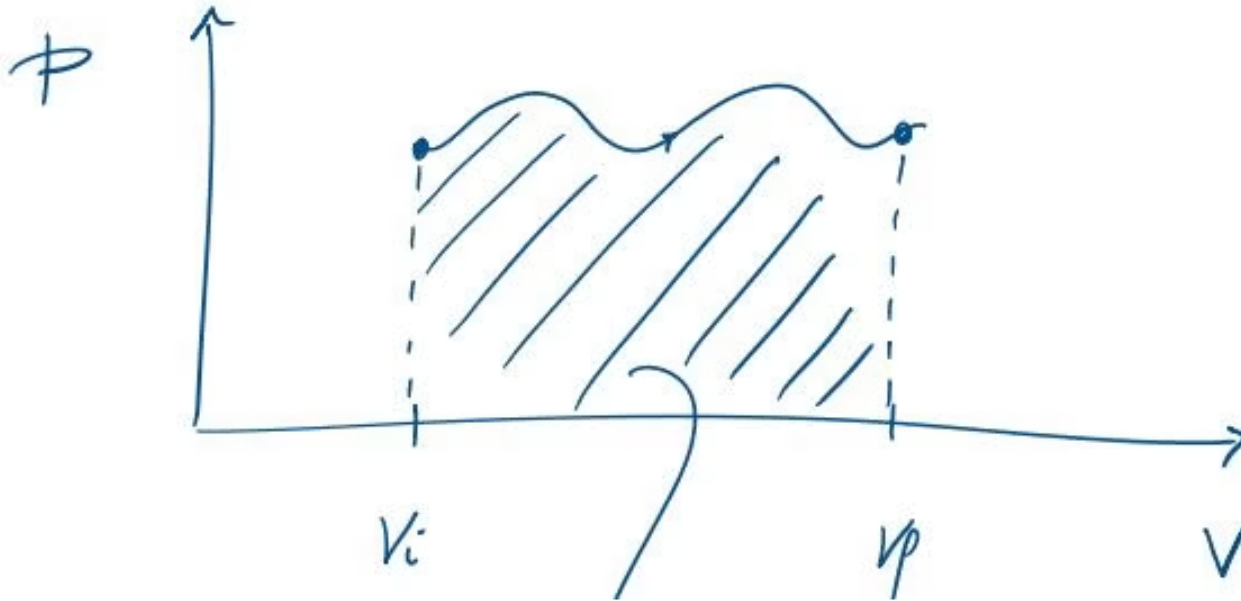
Successione di stati di equilibrio

Stato: $(P_0, V_0, T_0) \longrightarrow (P_{FIN}, V_{FIN}, T_{FIN})$



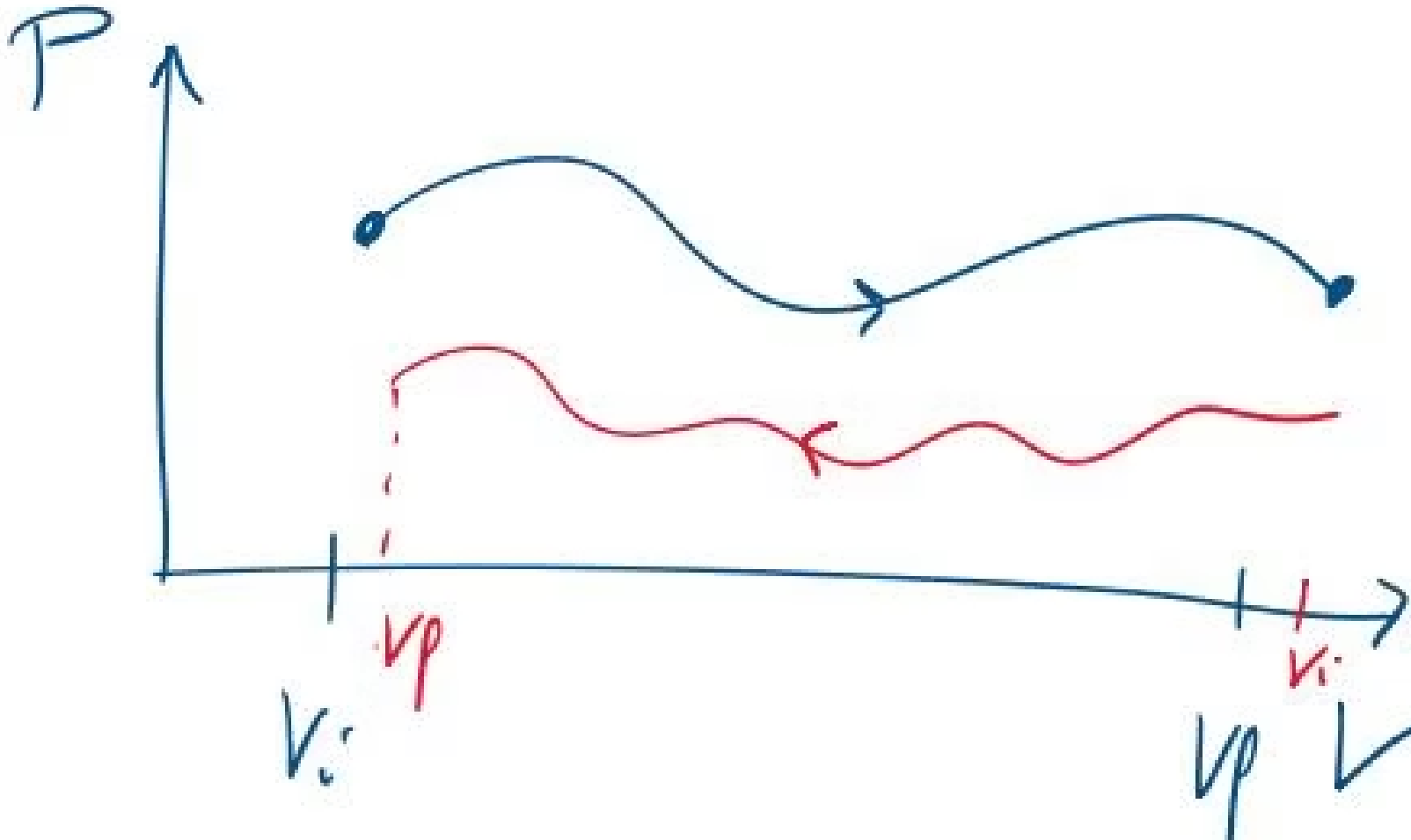
In (P, V) il lavoro è rappresentato dall'area sottesa dalla curva delle trasformazioni

Piano di Clapeyron



Nel **piano di Clapeyron** (P, V), il lavoro termodinamico corrisponde all'**area sottesa dalla curva**. Se il sistema **svolge** lavoro: $L > 0$; se il lavoro è **subito** dal sistema: $L < 0$.

Segno del Lavoro nel Piano P-V



$$V_f > V_i$$

Espansione $\rightarrow L > 0$ (lavoro svolto dal sistema)

$$V_f < V_i$$

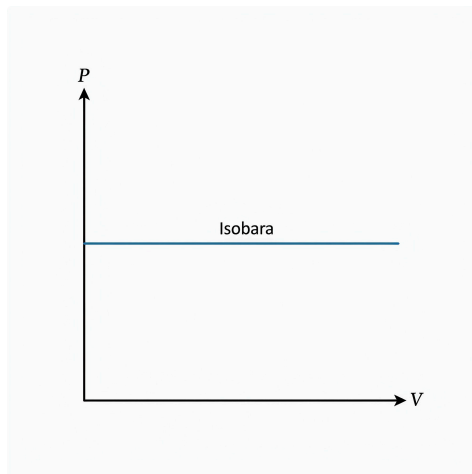
Compressione $\rightarrow L < 0$ (lavoro subito dal sistema)

Trasformazioni Termodinamiche

Una **trasformazione termodinamica** è il passaggio di un sistema da uno stato di equilibrio a un altro, durante il quale almeno una variabile di stato (P , V , T) cambia. Si dice "**quasi-statica**" se avviene attraverso una successione continua di stati di equilibrio.

● Isobara

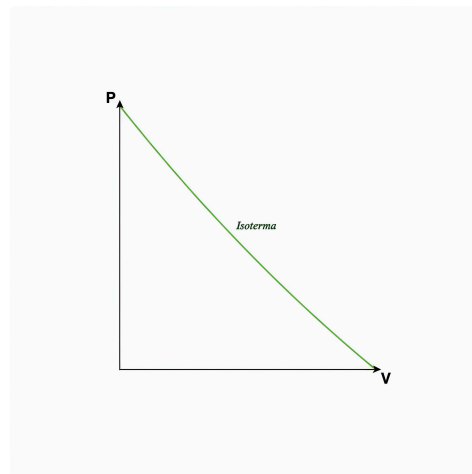
Pressione costante ($P = \text{cost.}$)



La pressione rimane fissa mentre il volume e la temperatura variano. Il gas si espande o si comprime a pressione uniforme.

● Isoterma

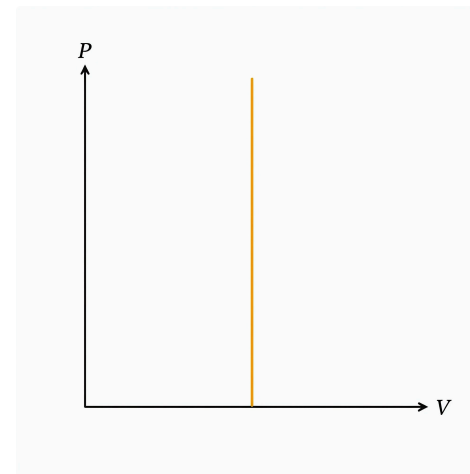
Temperatura costante ($T = \text{cost.}$)



La temperatura rimane costante. Pressione e volume variano in modo inversamente proporzionale: al crescere del volume, la pressione diminuisce.

● Isocora

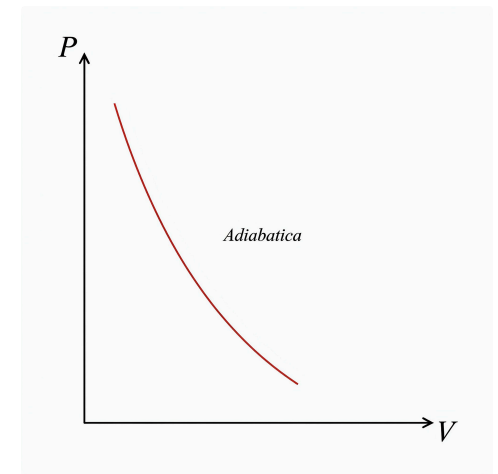
Volume costante ($V = \text{cost.}$)



Il volume rimane fisso. Variando il calore scambiato, cambia solo la pressione del gas, proporzionalmente alla temperatura.

● Adiabatica

Nessuno scambio di calore ($Q = 0$)



Nessun calore viene scambiato con l'esterno. In espansione il gas si raffredda, in compressione si scalda.

Riepilogo Generale

I concetti chiave della presentazione

Onde Acustiche

Il suono si propaga come **onda meccanica longitudinale**. La velocità dipende dal mezzo: 343 m/s in aria, 1480 m/s in acqua, ~5000 m/s nei solidi.

La percezione sonora è logaritmica: $\beta = 10 \cdot \log_{10}(I/I_0)$ in decibel (dB).

Ecografia e Ultrasuoni

Gli **ultrasuoni** (>20.000 Hz) si propagano nei tessuti. Il trasduttore piezoelettrico emette e riceve onde. Il contrasto dipende dall'impedenza acustica $Z = \rho \cdot v$. Il gel elimina l'aria tra sonda e cute.

Calore e Trasmissione

$Q = mc\Delta T$ (sensibile) oppure $Q = mL$ (latente). Si trasmette per:

- **Convezione:** $Q/t = K_{conv} \cdot S \cdot \Delta T$
- **Conduzione:** $Q/t = K_{cond} \cdot S/d \cdot \Delta T$
- **Irradiazione:** Leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien

Effetto Doppler

Una sorgente o osservatore in moto percepisce una **frequenza diversa** da quella emessa:

$$f' = f_0 \cdot \frac{v \pm v_O}{v \mp v_S}$$

Applicazioni: ecocardiografia Doppler, ecolocazione dei pipistrelli.

Gas e Temperatura

La temperatura si misura in **Kelvin** ($T[K] = T[^\circ C] + 273,15$). I gas ideali seguono $PV = nRT$ (Legge di Clapeyron). Le leggi di Boyle, Charles, Gay-Lussac e Avogadro sono casi particolari.

Trasformazioni e Primo Principio

$$\Delta E_{int} = Q - L$$

Le quattro trasformazioni fondamentali: **isobara** (P=cost.), **isoterma** (T=cost.), **isocora** (V=cost.), **adiabatica** (Q=0). Il lavoro corrisponde all'area nel piano P-V.

Domande di Autovalutazione



Onde Acustiche

In quale mezzo il suono viaggia più velocemente: aria, acqua o acciaio? Perché?



Decibel

Un suono ha intensità $I = 10^{-4} \text{ W/m}^2$. Sapendo che $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, calcola il livello sonoro β in dB.



Effetto Doppler

Un'ambulanza si avvicina a un osservatore fermo emettendo un suono a 440 Hz. La frequenza percepita è maggiore o minore di 440 Hz? Scrivi la formula applicabile.



Ecografia

Perché si usa il gel tra la sonda ecografica e la cute? Cosa succederebbe senza?



Gas Ideali

Un gas ideale a 27°C e 1 atm occupa 10 L. Se la temperatura sale a 127°C a volume costante, qual è la nuova pressione?



Trasformazioni Termodinamiche

In una trasformazione adiabatica un gas viene compresso. Cosa succede alla sua temperatura e perché? Applica il Primo Principio.