

Gas perfetti e calori specifici dei gas

Prof. Francesco Di Capua

a.a. 2022/23

Lavoro in trasformazioni termodinamiche

$$dL = \vec{F}_{est} \cdot \vec{dr}$$

$$dL = -pA\hat{j} \cdot dy\hat{j} = -pA dy \quad dV = A dy$$

$$dL = -pdV$$

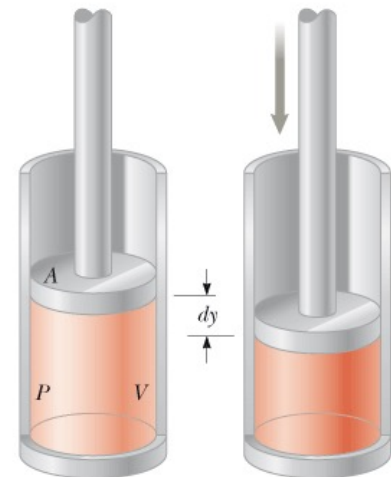
Se il gas è compresso dV è negativo ed il lavoro fatto sul gas è positivo

Se il gas si espande dV è positivo ed il lavoro fatto sul gas è negativo

Il lavoro totale fatto sul gas quando il volume viene variato da V_i a V_f è

$$L = -\int_{V_i}^{V_f} p dV$$

La pressione P non è (in generale) costante durante la trasformazione. Per determinare il lavoro è importante conoscere la relazione $p=p(V)$



Primo Principio della Termodinamica

- In una trasformazione termodinamica L e Q dipendono dal tipo di trasformazione
- Sperimentalmente si osserva che la quantità $Q-L$ è la stessa qualunque sia il percorso seguito tra lo stato iniziale e finale
- $Q-L$ è costante ed è indipendente dal tipo di trasformazione
- La differenza $Q-L$ rappresenta una proprietà intrinseca di un sistema termodinamica e viene definita **energia interna**

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

Primo principio della termodinamica

- Il termine energia interna indica l'energia legata a proprietà interne del sistema, come il moto molecolare o le forze intermolecolari
- L'energia interna dipende dalla temperatura del sistema
- Lavoro e Calore separatamente non si conservano in una trasformazione termodinamica
- L'energia interna E è invece una funzione di stato

Calori specifici molari per un gas perfetto

- Consideriamo un gas monoatomico (elio, neon, argon)
- L'energia interna di un gas è la somma delle energie cinetica traslazionale

$$E_{\text{int}} = (nN_A) \langle K \rangle = (nN_A) \left(\frac{3}{2} k_B T \right)$$

$$N_A k_B = R \qquad E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nRT$$

$$\Delta E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nR\Delta T = Q - L$$

Calori specifici molari per un gas perfetto

- Il calore specifico indica la capacità di variare la temperatura rispetto alla quantità di calore fornita
- Nei gas si deve tenere conto che sono possibili variazioni di temperatura tramite trasformazioni a volume costante oppure a pressione costante
- Si definiscono dunque due tipi di calore specifico: C_V e C_p , rispettivamente

$$Q = nC_V\Delta T \quad Q = nC_p\Delta T$$

Calore specifico a volume costante

- Supponiamo di fornire calore ad un gas aumentando la fiamma della sorgente di calore sotto ad un recipiente che contiene un gas in cui il volume non puo' variare
- Passando dallo stato iniziale i allo stato finale f si ha un'aumento di temperatura ed un aumento di pressione
- Vale per la quantità di calore l'espressione:

$$Q = nC_V \Delta T = \Delta E_{INT} + L$$

- Essendo la trasformazione a volume costante

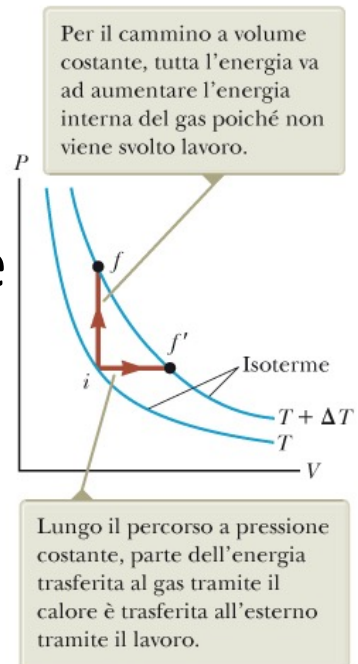
$$L = -\int P dV = 0$$

$$Q = nC_V \Delta T = \Delta E_{INT} = \frac{3}{2} nR \Delta T$$



$$C_V = \frac{3}{2} R = 12.47 J/mol \cdot K$$

$$E_{int} = \frac{3}{2} nRT \rightarrow \Delta E_{int} = \frac{3}{2} nR \Delta T$$



Gas monoatomici

- L'energia trasferita sotto forma di calore in un gas monoatomico è uguale alla variazione di energia interna
- I valori previsti per C_V concordano con quelli sperimentalmente osservati nei gas monoatomici
- In generale per qualsiasi gas perfetto vale
$$\Delta E_{INT} = nC_V \Delta T$$
- La variazione di energia di un gas ideale confinato non dipende dal tipo di trasformazione che ha prodotto la variazione di temperatura del gas, ma solo dall'entità di tale variazione

TABELLA 17.3 | Calori specifici molari di vari gas

Calore specifico molare ^a (J/mol · K)				
Gas	C_p	C_V	$C_p - C_V$	$\gamma = C_p/C_V$
Gas monoatomici				
He	20.8	12.5	8.33	1.67
Ar	20.8	12.5	8.33	1.67
Ne	20.8	12.7	8.12	1.64
Kr	20.8	12.3	8.49	1.69
Gas biatomici				
H ₂	28.8	20.4	8.33	1.41
N ₂	29.1	20.8	8.33	1.40
O ₂	29.4	21.1	8.33	1.40
CO	29.3	21.0	8.33	1.40
Cl ₂	34.7	25.7	8.96	1.35
Gas poliatomici				
CO ₂	37.0	28.5	8.50	1.30
SO ₂	40.4	31.4	9.00	1.29
H ₂ O	35.4	27.0	8.37	1.30
CH ₄	35.5	27.1	8.41	1.31

^aTutti i valori eccetto quelli dell'acqua sono stati ottenuti a 300 K.

Calore specifico a pressione costante

- Supponiamo ora che la temperatura di un gas sia aumentata della quantità ΔT in seguito a trasferimento di calore quando il gas si trova a pressione costante
- In questa trasformazione il volume varia
- Si ha allora:

$$Q = nC_p\Delta T$$

$$\Delta E_{INT} = Q - L = nC_p\Delta T - P\Delta V$$

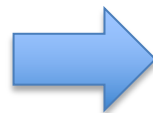
Utilizzando le due uguaglianze che sono sempre valide

$$\Delta E_{INT} = nC_v\Delta T \quad P\Delta V = nR\Delta T$$

$$nC_v\Delta T = nC_p\Delta T - nR\Delta T$$



$$C_v = C_p - R$$



$$C_p = C_v + R$$

Questa relazione concorda con l'esperienza per tutti i gas in generale, essa mostra che il calore specifico di un gas perfetto a pressione costante è maggiore di quello a volume costante

Calori specifici gas monoatomici

$$C_V = \frac{3}{2}R = 12.47 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$C_P = C_V + R$$

$$C_P = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R = 20.78 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

TABELLA 17.3 | Calori specifici molari di vari gas

Calore specifico molare ^a (J/mol · K)				
Gas	C_p	C_V	$C_p - C_V$	$\gamma = C_p/C_V$
Gas monoatomici				
He	20.8	12.5	8.33	1.67
Ar	20.8	12.5	8.33	1.67
Ne	20.8	12.7	8.12	1.64
Kr	20.8	12.3	8.49	1.69
Gas biatomici				
H ₂	28.8	20.4	8.33	1.41
N ₂	29.1	20.8	8.33	1.40
O ₂	29.4	21.1	8.33	1.40
CO	29.3	21.0	8.33	1.40
Cl ₂	34.7	25.7	8.96	1.35
Gas poliatomici				
CO ₂	37.0	28.5	8.50	1.30
SO ₂	40.4	31.4	9.00	1.29
H ₂ O	35.4	27.0	8.37	1.30
CH ₄	35.5	27.1	8.41	1.31

^aTutti i valori eccetto quelli dell'acqua sono stati ottenuti a 300 K.

Calori specifici nei gas

Nei gas monoatomici

$$C_V = \frac{3}{2}R$$

$$C_P = \frac{5}{2}R$$

Nei gas biatomici

$$C_V = \frac{5}{2}R$$

$$C_P = \frac{7}{2}R$$

TABELLA 17.3 | Calori specifici molari di vari gas

Calore specifico molare ^a (J/mol · K)				
Gas	C_p	C_v	$C_p - C_v$	$\gamma = C_p/C_v$
Gas monoatomici				
He	20.8	12.5	8.33	1.67
Ar	20.8	12.5	8.33	1.67
Ne	20.8	12.7	8.12	1.64
Kr	20.8	12.3	8.49	1.69
Gas biatomici				
H ₂	28.8	20.4	8.33	1.41
N ₂	29.1	20.8	8.33	1.40
O ₂	29.4	21.1	8.33	1.40
CO	29.3	21.0	8.33	1.40
Cl ₂	34.7	25.7	8.96	1.35
Gas poliatomici				
CO ₂	37.0	28.5	8.50	1.30
SO ₂	40.4	31.4	9.00	1.29
H ₂ O	35.4	27.0	8.37	1.30
CH ₄	35.5	27.1	8.41	1.31

^aTutti i valori eccetto quelli dell'acqua sono stati ottenuti a 300 K.

Trasformazione Isobara

- Una mole di gas perfetto monoatomico occupa il volume di 4.92 l alla pressione di 1 atm. Se il gas dimezza il suo Volume in una trasformazione isobara. Calcolare il calore scambiato durante la trasformazione

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} \qquad T_1 = \frac{(1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa})(4.92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{1 \text{ mol} \cdot 8.31 \text{ J/mK}} \approx 60 \text{ K}$$

Se V dimezza ($V_2 = V_1/2$) in una trasformazione isobara ($P_1 = P_2$)

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{P_1 V_1 / 2}{nR} = T_1 / 2 \approx 30 \text{ K}$$

Il sistema gassoso dimezza la sua temperatura per cui (diminuendo la temperatura) cede calore Q all'ambiente

Il calore scambiato durante la trasformazione è

$$Q = nC_p\Delta T$$

$$C_p = \frac{5}{2}R \quad \Delta T = T_2 - T_1 = (30 - 60)K = -30K$$

$$Q = -1mol \cdot \frac{5}{2}(8.31J(molK)) \cdot 30K = -623J$$

Il Lavoro scambiato durante la trasformazione isobara è

$$L = P(V_2 - V_1) = (1.01 \cdot 10^5 Pa)(2.46 \cdot 10^{-3} m^3 - 4.92 \cdot 10^{-3} m^3) = -248J$$

La variazione di energia interna

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - L = (-623 + 248)J = -375J$$

Trasformazione Isocora

- Una mole di gas perfetto monoatomico occupa il volume di 4.92 l alla pressione di 1 atm. Il gas raddoppia la pressione da 1 atm a 2 atm in una trasformazione a Volume costante. Calcolare il calore scambiato e la variazione di energia interna durante la trasformazione

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} \qquad T_1 = \frac{(1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa})(4.92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{1 \text{ mol} \cdot 8.31 \text{ J/mK}} \approx 60 \text{ K}$$

Se P raddoppia ($P_2=2P_1$) in una trasformazione isocora ($V_1=V_2$)

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{2P_1 V_1}{nR} = 2T_1 \approx 120 \text{ K}$$

In questo caso il sistema acquista calore (la temperatura aumenta)

Il calore scambiato durante la trasformazione è

$$Q = nC_V\Delta T$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (120 - 60)K = 60K$$

$$C_V = \frac{3}{2}R \quad Q = 1\text{mol} \cdot \frac{3}{2}(8.31\text{J}(\text{molK}) \cdot 60\text{K} = 748\text{J}$$

Il Lavoro scambiato durante una trasformazione isocora è zero

$$L = 0$$

La variazione di energia interna è

$$\Delta E_{\text{int}} = Q = 748\text{J}$$

Lavoro svolto da un gas ideale a temperatura costante (trasformazione isoterma)

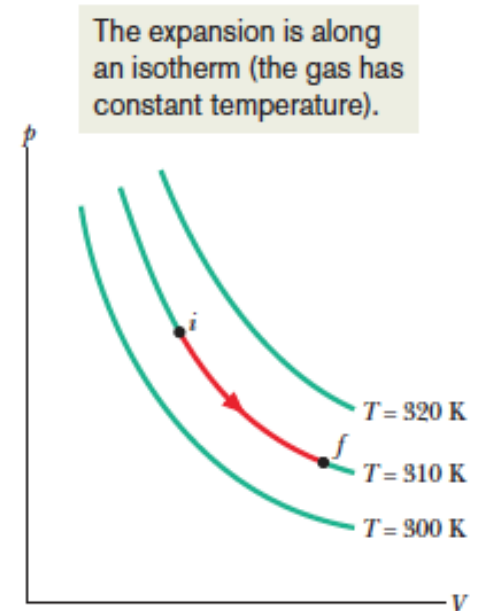


- Un gas ideale in un recipiente cilindrico con un pistone libero di muoversi
- Si mantenga la temperatura del gas costante per tutto il processo

$$P = nRT \frac{1}{V} = \text{costante} \times \frac{1}{V}$$

- Determiniamo il lavoro:

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



Lavoro svolto da un gas ideale in una trasformazione isoterma

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



$$L = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV$$



$$L = nRT \left[\ln V \right]_{V_i}^{V_f} = nRT (\ln V_f - \ln V_i) = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

Esempio su Trasn. Isoterma

- Due moli di gas perfetto monoatomico occupano il volume di 40 l alla pressione di 4 atm. Se il gas dimezza la sua pressione in una trasformazione Isoterma. Calcolare il calore scambiato ed il lavoro svolto durante la trasformazione.

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} \qquad T_1 = \frac{(4 \cdot 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa})(40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{2 \text{ mol} \cdot 8.31 \text{ J/mK}} \approx 963 \text{ K}$$

In una trasformazione isoterma si ha $\Delta E_{\text{int}} = 0$

quindi $Q = L$ dove

$$L = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Occorre determinare V_2

In una trasformazione isoterma (essendo T costante) si ha:

$$PV = \text{cost}$$

Vale a dire che se il gas dimezza la sua pressione, raddoppia il volume

$$V_2 = 2V_1$$

$$Q = L = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = 2 \text{ mol} \cdot 8.31 \text{ J / (molK)} \cdot 963 \text{ K} \cdot \ln 2 = 11093 \text{ J}$$

Trasformazioni adiabatiche

- Molti processi avvengono in maniera talmente rapida da poter trascurare la quantità di calore scambiata nel processo
- Si possono considerare adiabatici:
 - Processi che avvengono in tempi rapidi
 - Trasformazioni all'interno di sistemi isolati termicamente dall'ambiente circostante
 - Trasformazioni in sistemi ad alta capacità termica (l'elevata dimensione o l'elevato calore specifico rendono il calore scambiato trascurabile)

Trasformazioni adiabatiche

- Per trovare la legge termodinamica valida in questo tipo di processo si considerino passi infinitesimi ed applichiamo il primo principio

$$dQ = 0 = dE + L = dE + pdV$$

$$dE = nC_V dT \quad nC_V dT + pdV = 0$$

$$dT = -\frac{pdV}{nC_V}$$

Trasformazioni adiabatiche

Dall'equazione dei gas perfetti

$$pV = nRT$$

$$d(pV) = nRdT$$

In termini di trasformazioni infinitesime

$$pdV + Vdp = nRdT$$

$$dT = \frac{pdV + Vdp}{nR}$$

Eguagliando le due espressioni in dT

$$\frac{pdV + Vdp}{nR} = -\frac{pdV}{nC_V}$$

Trasformazioni adiabatiche

$$pdV + Vdp = -\frac{R}{C_V} pdV \quad R = C_P - C_V$$

$$pdV + Vdp = -\frac{C_P - C_V}{C_V} pdV$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$pdV + Vdp = -(\gamma - 1)pdV$$

$$Vdp = -\gamma pdV + pdV - pdV$$

$$Vdp = -\gamma pdV$$

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V}$$

Integrando l'ultima espressione

$$\ln p + \gamma \ln V = \text{costante}$$

$$\ln pV^\gamma = \text{costante}$$



$$pV^\gamma = \text{costante}$$

Trasformazioni adiabatiche

$$pV^\gamma = \text{costante}$$



$$\frac{nRT}{V} V^\gamma = \text{costante}$$



$$TV^{\gamma-1} = \text{costante}$$

Trasformazioni adiabatiche

Nei gas monoatomici

$$C_P = \frac{5}{2}R \quad C_V = \frac{3}{2}R$$
$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3} = 1.667$$

Nei gas biatomici

$$C_P = \frac{7}{2}R \quad C_V = \frac{5}{2}R$$
$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{7}{5} = 1.4$$

Trasformazioni adiabatiche (esempio)

- Due moli di gas perfetto monoatomico occupano il volume di 40 l alla pressione di 4 atm. Se avviene una trasformazione adiabatica nella quale il volume dimezza, si determini la temperatura finale ed il lavoro

$$pV^\gamma = \text{costante}$$

$$T_1 = \frac{(4 \cdot 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa})(40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{2 \text{ mol} \cdot 8.31 \text{ J/mK}} \approx 963 \text{ K}$$

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

$$p_2 = (4 \cdot 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa})(0.5)^{1.667} = 1.3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 963 \text{ K} (0.5)^{0.667} = 606 \text{ K}$$

Trasformazioni adiabatiche (esempio)

Possiamo ora determinare il lavoro

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

$$\Delta E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nR\Delta T \quad L = -\Delta E_{\text{int}}$$

$$L = -2\text{mol} \frac{3}{2} R(606 - 963)\text{K} = -3\text{mol} \cdot (8.31\text{J/molK}) \cdot (-357\text{K})$$

$$L = 8900\text{J}$$

Trasf. adiabatiche: un altro esempio

- In un cilindro di un motore diesel l'aria che si trova inizialmente alla pressione atmosferica a $T=310K$ ed occupa un volume di 0.42 l . L'aria viene compressa in una trasformazione adiabatica fino a raggiungere un volume di 0.028 l . Si determini i valori finali della temperatura e della pressione

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

N.B. L'aria è fatta di molecole biatomiche (N_2 , O_2), per cui vale

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1.4$$

$$p_2 = (1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \left(\frac{0.42\text{ l}}{0.028\text{ l}} \right)^{1.4} = 4.5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

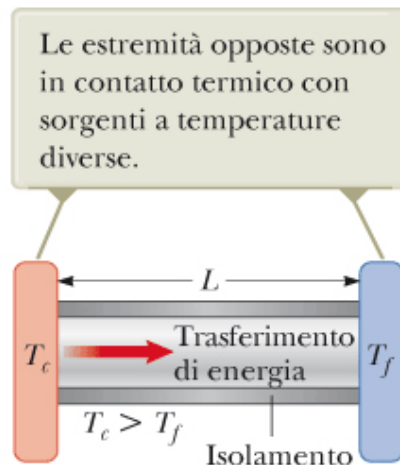
$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 310\text{ K} (15)^{0.4} = 916\text{ K}$$

Trasmissione del calore

- Abbiamo visto che il calore è l'energia scambiata tra un sistema ed il suo ambiente unicamente a causa di una differenza di temperatura tra il sistema e l'ambiente
- La trasmissione del calore da un sistema all'ambiente può avvenire in diversi modi
- Conduzione, Convezione, Irraggiamento

Conduzione

- In questo processo l'energia viene trasferita negli urti delle molecole di una sostanza che si muovono casualmente
- Si consideri una sbarra con le estremità a temperature diverse, le molecole con temperatura maggiore si muovono più rapidamente e negli urti trasferiscono energia alle molecole più lente
- Mediando su tutti gli urti si ha un trasferimento netto di energia dovuto alla differenza di temperatura



Conduzione del Calore

- Nel processo di conduzione, il calore viene trasferito tra due sistemi tramite un mezzo che li mette in comunicazione
- Il mezzo può essere un solido rigido oppure un fluido
- Nel caso della barretta di metallo le vibrazioni più frequenti degli atomi nella parte più calda trasferiscono energia agli altri atomi che vibrano più lentamente
- La conduzione termica avviene oltre che con le vibrazioni degli atomi anche attraverso il moto degli elettroni
- I metalli sono buoni conduttori perchè in essi gli elettroni sono liberi di muoversi in tutto il metallo e trasportare energia da una regione all'altra

Conduttori

- Metalli come il rame sono ottimi conduttori,
- Amianto, sughero carta sono cattivi conduttori
- I gas sono anch'essi cattivi conduttori a causa della maggiore distanza delle molecole

Legge della conduzione

- Si consideri una lastra con le due facce a temperatura diversa: attraverso la lastra l'energia si trasferisce dalla regione ad alta temperatura verso quella con più bassa temperatura
- La velocità di trasferimento del calore (Potenza) è data da

$$\text{Potenza} = \frac{Q}{\Delta t} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

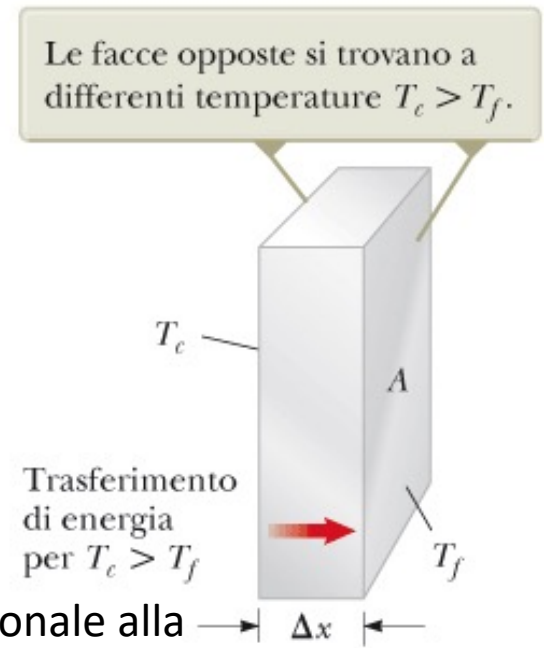
Direttamente proporzionale alla differenza di temperatura

Inversamente proporzionale allo spessore della lastra

- Per una lastra di spessore infinitesimo

$$P = kA \left| \frac{dT}{dx} \right|$$

Costante k: conducibilità termica



Legge della conduzione

Conducibilità termiche

Sostanza	Conducibilità termica (W/m · °C)
----------	-------------------------------------

Metalli (a 25°C)

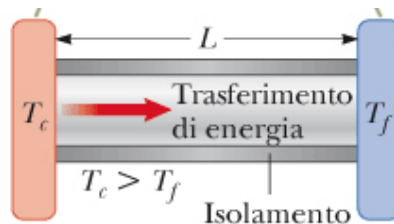
Alluminio	238
Argento	427
Ferro	79.5
Oro	314
Piombo	34.7
Rame	397

Non metalli (valori approssimati)

Acqua	0.6
Amianto	0.08
Cemento	0.8
Diamante	2 300
Ghiaccio	2
Gomma	0.2
Legno	0.08
Vetro	0.8

Gas (a 20°C)

Aria	0.023 4
Azoto	0.023 4
Elio	0.138
Idrogeno	0.172
Ossigeno	0.023 8



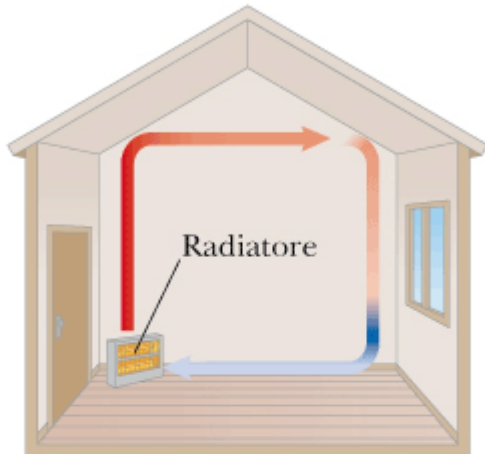
Per una barretta metallica uniforme

$$\left| \frac{dT}{dx} \right| = \frac{T_c - T_f}{L}$$

$$P = kA \left| \frac{dT}{dx} \right| = kA \frac{T_c - T_f}{L}$$

Convezione

- Quando con una fonte di calore si riscalda l'aria, questa si espande (la densità diminuisce) per cui l'aria calda sale e trasporta con se energia (mani che si riscaldano attraverso il calore trasportato dall'aria su una fiamma)
- L'energia trasferita dal moto di un fluido è detto processo di convezione
- Convezione naturale (variazione di densità) o Convezione forzata (per mezzo di ventilatori o da una pompa)
- Le correnti di convezione in un fluido consentono un più rapido trasferimento di calore (processo di ebollizione dell'acqua)

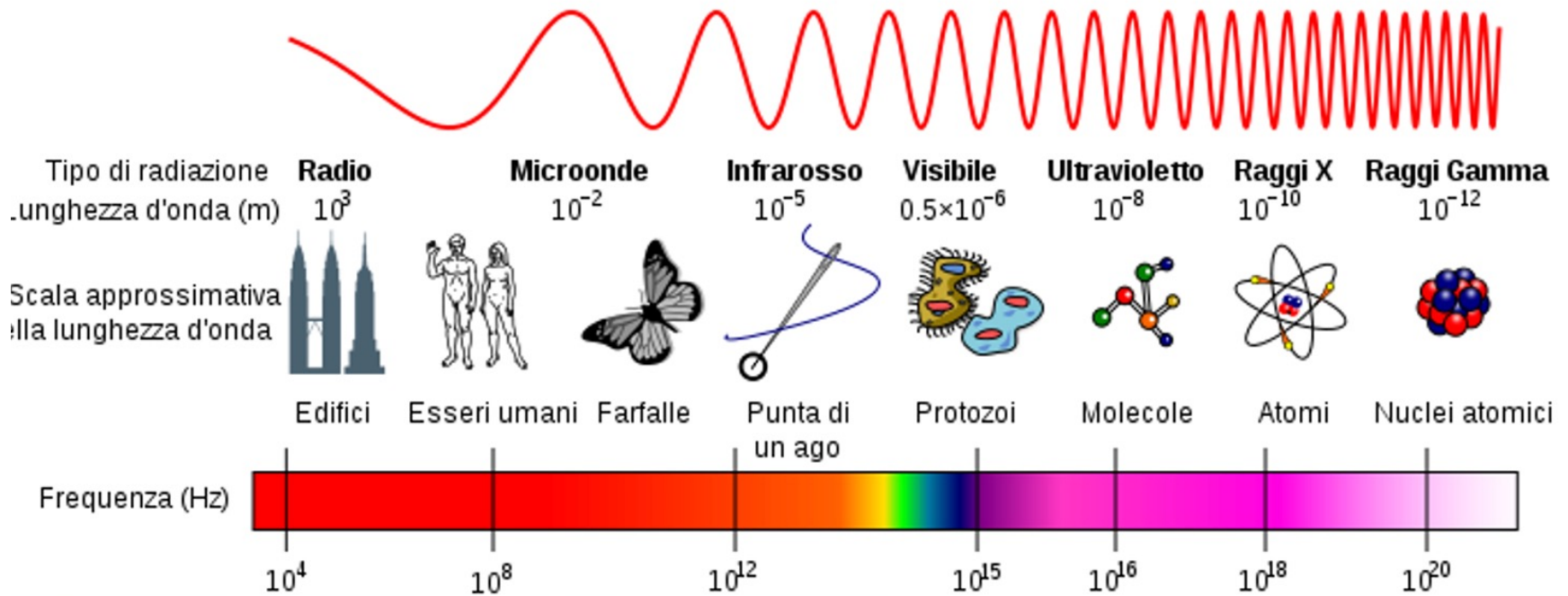


Correnti di convezione prodotte in una stanza riscaldata da un radiatore

Irraggiamento

- Tutti gli oggetti irradiano continuamente energia sotto forma di radiazione elettromagnetica
- Questa radiazione è generata dal moto delle cariche elettriche presenti nelle molecole
- Questa forma di energia si propaga anche nel vuoto in assenza di un mezzo
- Attraverso l'irraggiamento elettromagnetico il Sole riscalda l'atmosfera terrestre: ogni secondo un metro quadro riceve 1370 J
- Il sole fornisce un'energia 100 volte il fabbisogno di tutto il pianeta

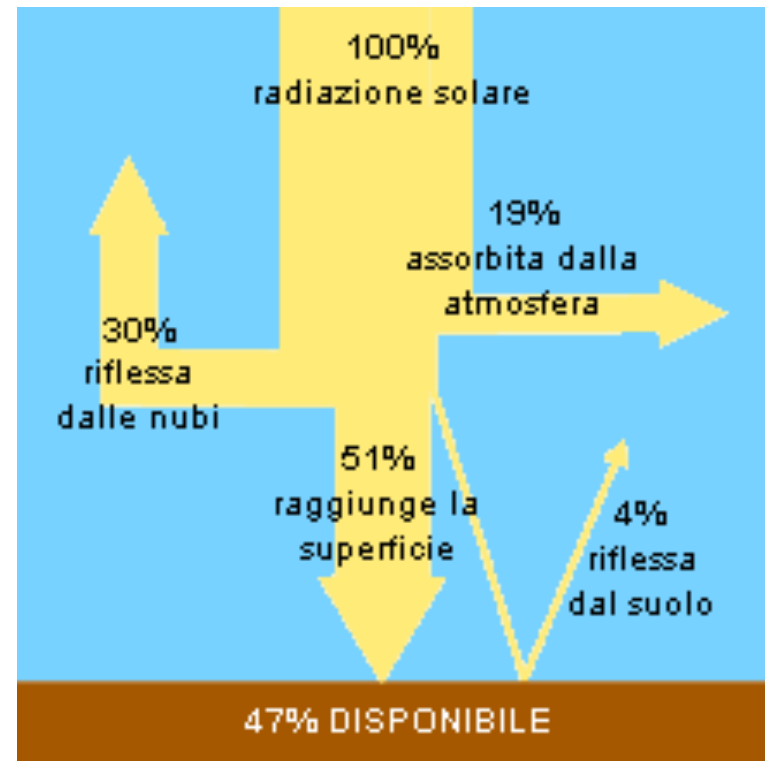
Radiazione elettromagnetica



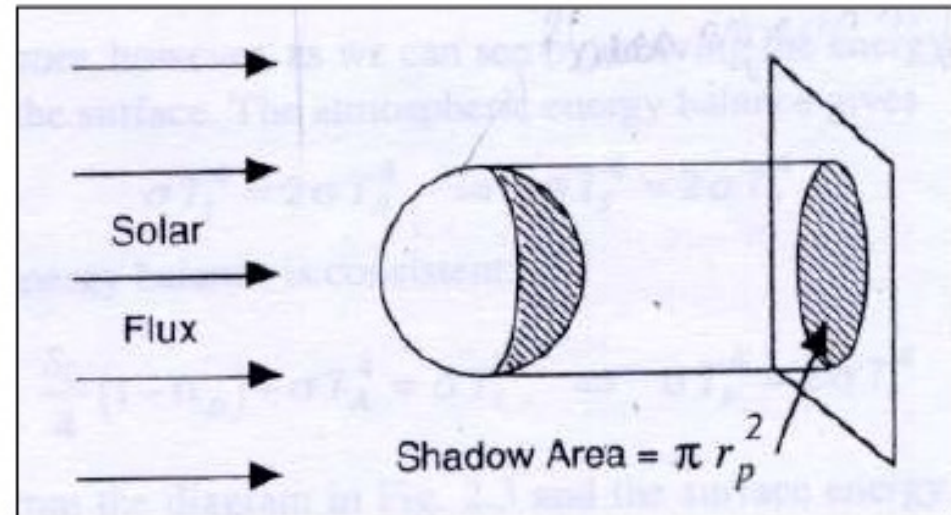
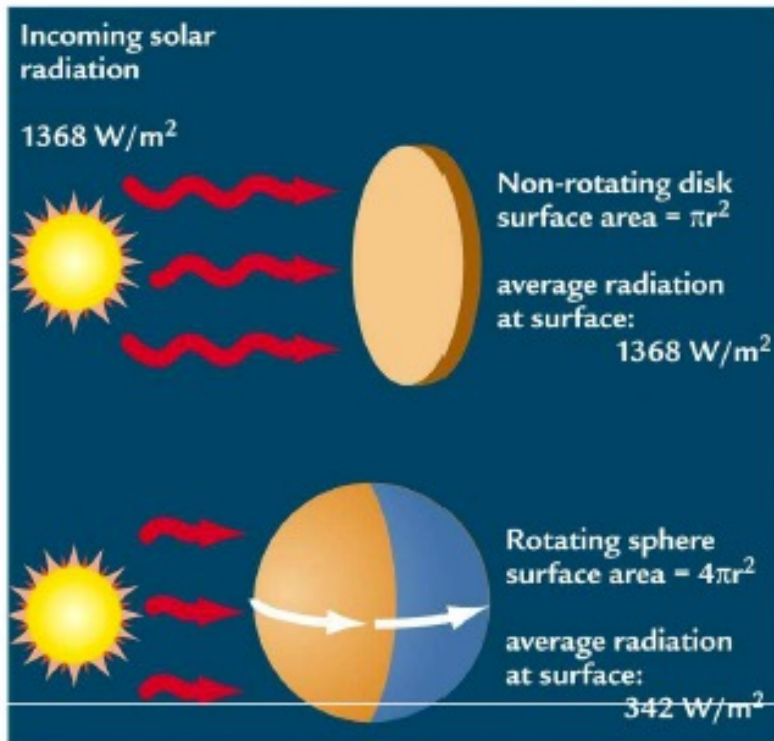
- Raggi X e gamma: sono radiazione di alta energia e cortissima lunghezza d'onda, vengono assorbiti dai gas negli strati alti dell'atmosfera
- Radiazione UV: onde corte assorbite nell'ozonofera
- Luce visibile: ciò che percepiamo come colori, attraversano l'atmosfera
- Radiazione infrarossa: onde lunghe a bassa energia, non visibili e percepite come calore (onde termiche)
- Onde Radio e microonde: onde molto lunghe a bassa energia

Che succede alla radiazione emessa dal sole?

- 30% viene riflessa indietro nello spazio
- 20% assorbita dall'ozono dell'ozonosfera
- 50% raggiunge la superficie terrestre che l'assorbe e la riemette sotto forma di radiazione infrarossa



Irraggiamento Sole



Al top dell'atmosfera giungono $S_0=1367 \text{ W/m}^2$ i quali vedono un'area di πR_p^2 ma vengono assorbiti, nell'arco del giorno, da una superficie di $4\pi R_p^2$
 $\rightarrow 1367 / 4 = 342 \text{ W/m}^2$

Irraggiamento

- La potenza termica emessa da qualsiasi corpo alla temperature T (quantità di calore nell'unità di tempo) è data dalla legge di Stefan

$$P = \sigma A e T^4$$

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ Wm}^2 \text{ K}^4$$

Costante di Stefan

A: emissività varia tra 0 e 1 (dipende dalle proprietà della superficie)

P varia con la potenza quarta della temperatura

Irraggiamento

- Un oggetto mentre irradia, assorbe anche radiazione elettromagnetica (se cio' non avvenisse, un oggetto irradiando energia, diminuirebbe la sua temperatura fino allo zero assoluto)
- Se un oggetto è a temperatura T e l'ambiente a temp T_0

$$P = \sigma A e (T^4 - T_0^4)$$

Effetto Serra

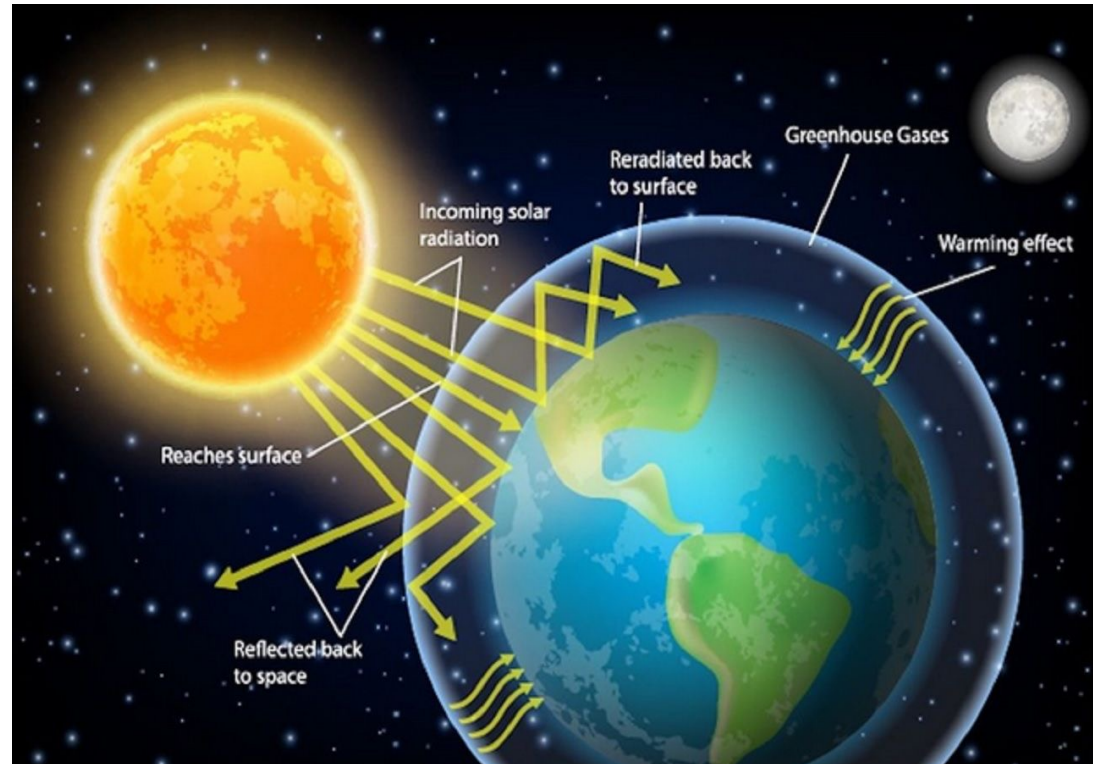
- Il sole ha una temperatura superficiale di circa 6000°C ed emette radiazione principalmente nelle frequenze del visibile e dell'ultravioletto
- La superficie terrestre emette a sua volta la radiazione che riceve dal sole sotto forma di radiazione infrarossa
- La Terra è riscaldata dalla radiazione solare e raffreddata dalla radiazione emessa che ritorna nello spazio
- Le molecole dei gas dell'atmosfera trasmettono ed assorbono la radiazione elettromagnetica in maniera diversa a seconda della lunghezza d'onda: sono trasparenti alla luce visibile ed assorbono in parte l'ultravioletto
- Le molecole di atmosfera assorbono la radiazione infrarossa emessa dalla terra (questo avviene principalmente per opera del vapore d'acqua ed il diossido di carbonio (CO_2))
- L'effetto serra è quel fenomeno per cui l'energia emessa dalla superficie terrestre verso lo spazio viene parzialmente assorbita da alcuni gas (detti gas serra) e da questi irradiata nuovamente verso la terra
- L'effetto serra è essenziale per avere una temperatura mite sulla terra (avremmo -18°C contro i $+15^{\circ}\text{C}$ in media che si osservano)

Effetto Serra

Le radiazioni infrarosse emesse dalla superficie terrestre vengono trattenute da alcuni gas atmosferici e rimandate verso la superficie atmosferica aumentando la temperatura e provocando «l'effetto serra».

I gas serra sono:

- vapore acqueo
- anidride carbonica
- ossido di azoto
- metano
- gas fluorurati



Re-emissione elettromagnetica

