

**POLITECNICO**  
MILANO 1863

# Fisica Tecnica

Alberto Saloni

Si ringrazia Andrea Ciarallo per la stesura  
e la revisione della presente  
raccolta di slides

# Contatti

## **Prof. Alberto Salioni**

- *tel.* Segreteria dipartimento energetica: 02-2399 3803
- *email:* [alberto.salioni@polimi.it](mailto:alberto.salioni@polimi.it)

I lucidi proiettati a lezioni, le informazioni sul corso, i risultati delle prove intermedie sono disponibili sul sito:

<https://webeep.polimi.it/login/index.php>

# Programma del corso

- **Termodinamica**
  - Termodinamica degli stati di equilibrio
  - Termodinamica dei processi
- **Termocinetica dei processi energetici**
  - Conduzione
  - Convezione
  - (Irraggiamento)
  - (Scambiatori)
- **Energia e sviluppo**

# Libri di testo

## **Teoria:**

Yunus A. Çengel

Termodinamica e trasmissione del calore

McGraw-Hill

G. Dassù F. Inzoli

Lezioni di fisica tecnica

(Vol I Termodinamica Vol II Trasmissione del calore)

Edizioni Cusl

## **Eserciziari:**

E. Colombo F. Inzoli

Termodinamica e trasmissione del calore

Ed Schonenfeld & Ziegler

Casagrande G., Lanzarone E., Marocco L.D., Miglietta F.

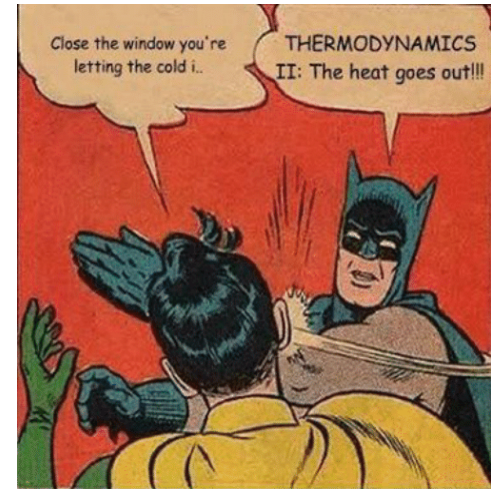
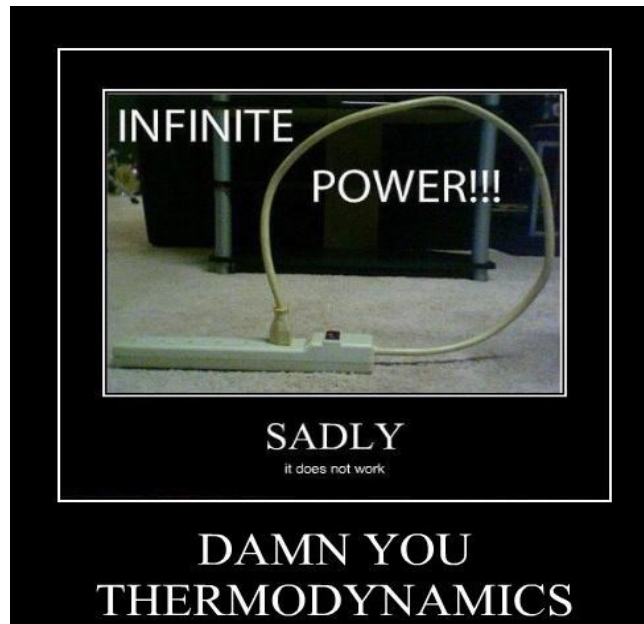
Esercizi di fisica tecnica

Pitagora editrice



# Prima lezione

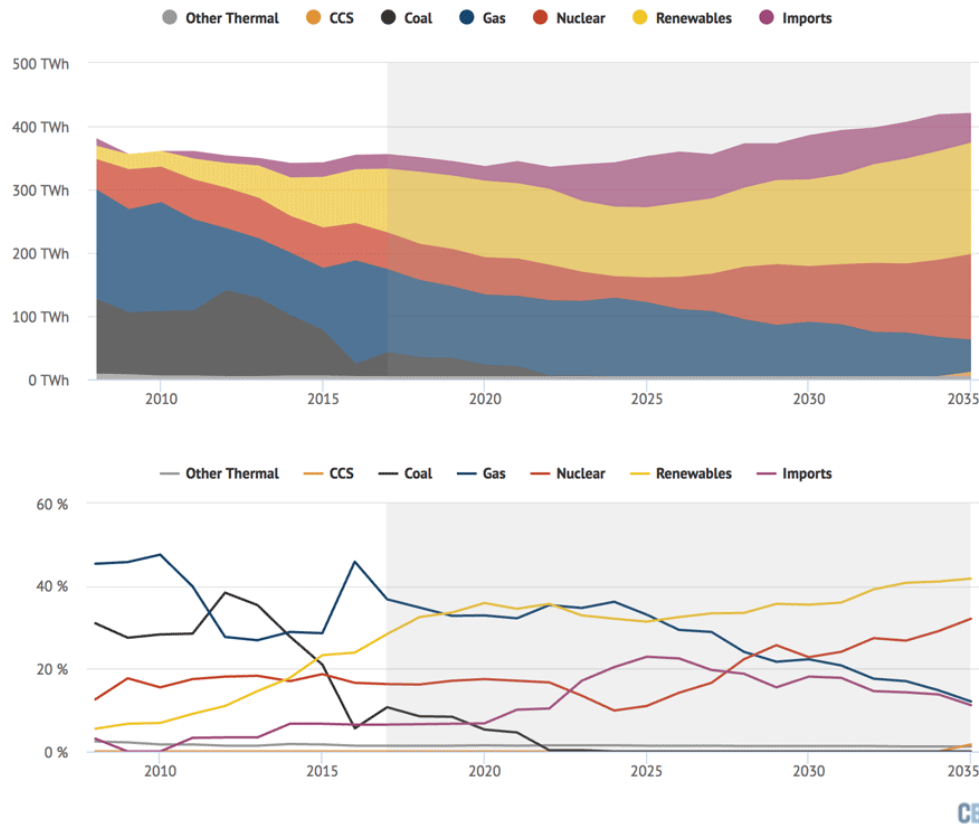
La **Termodinamica** è la scienza che studia  
l'*energia*, la *materia* e le *leggi* che  
governano  
le loro *interazioni*.



# Prima lezione

## 2016

Projected sources of UK electricity

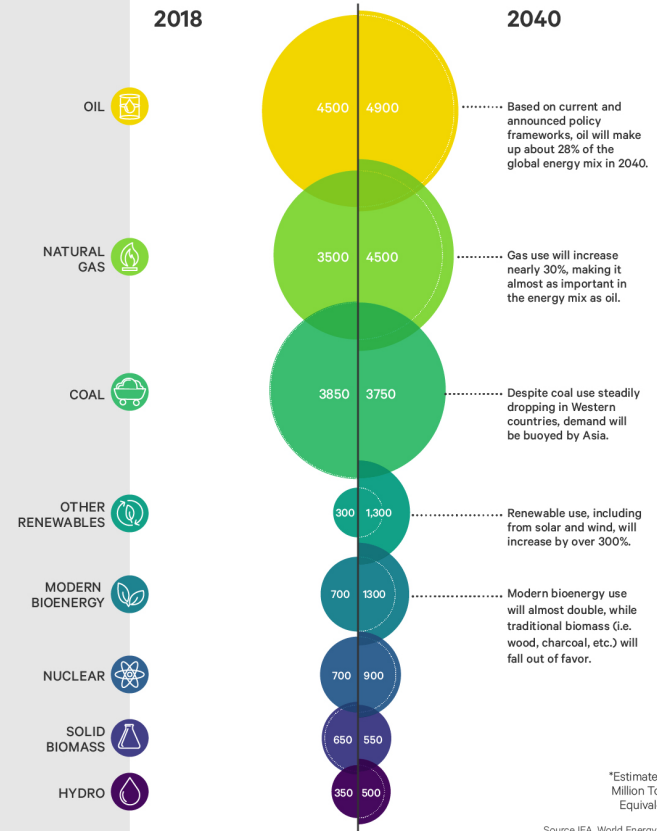


## Changes in the Global Energy Mix 2018 vs Stated Policies 2040

Measured in MTOE\*

2018

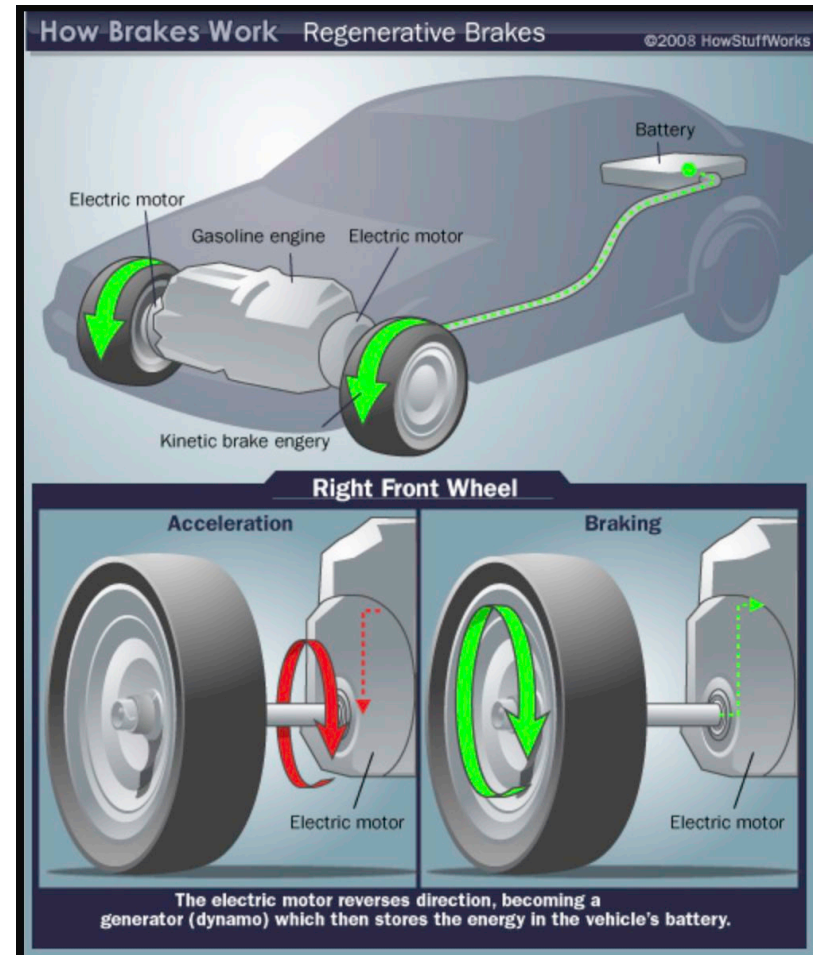
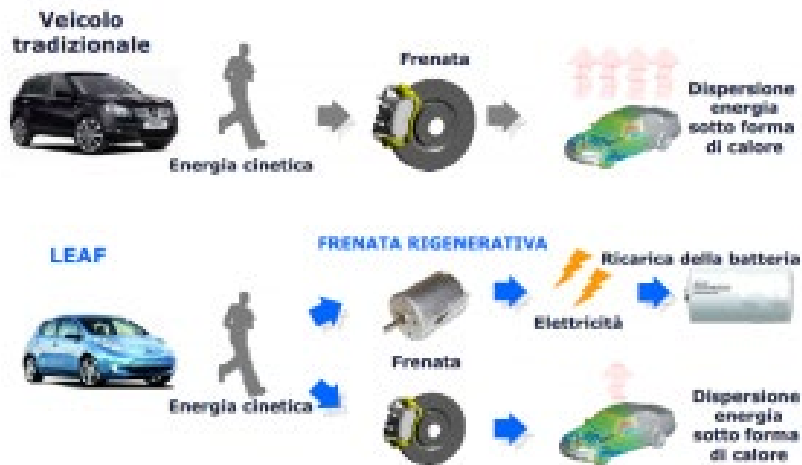
2040



\*Estimated figures in Million Tonnes of Oil Equivalent (MTOE)

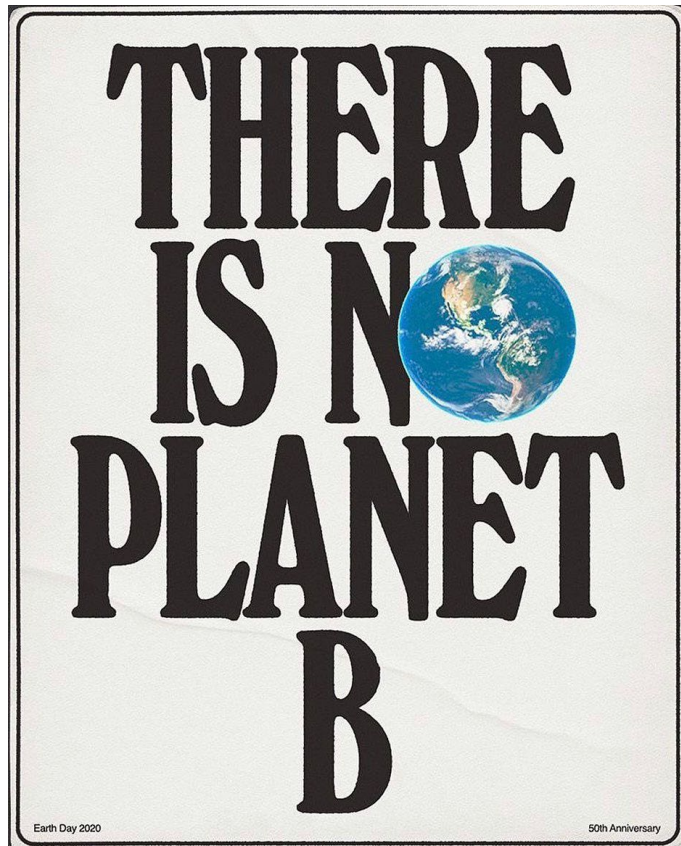
Source IEA, World Energy Outlook 2019

# Prima lezione



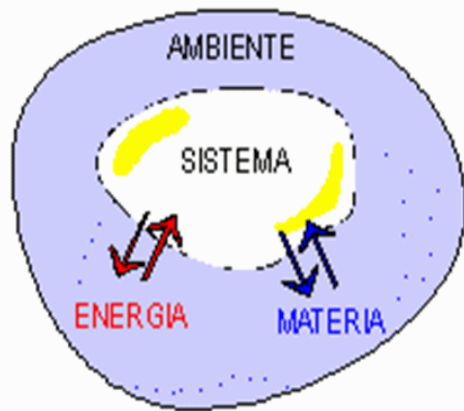


# Problema ambientale

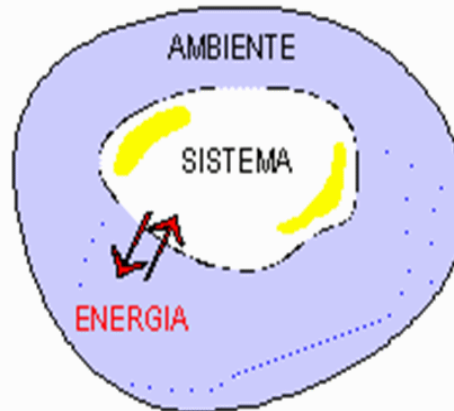


# Sistema Termodinamico

*Sistema aperto*



*Sistema chiuso*



*Sistema isolato*



# Sistema semplice

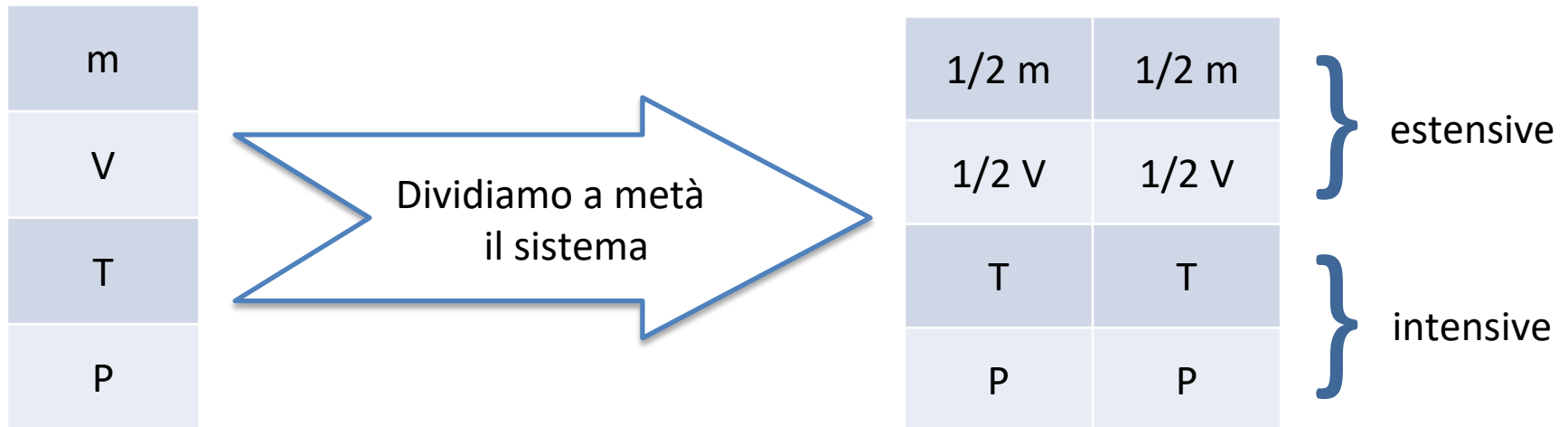


- Chimicamente e fisicamente omogeneo ed isotropo
- Non soggetto a campi gravitazionali, elettrici o magnetici
- Chimicamente inerte
- Esente da effetti di superficie



# Stato di equilibrio

**Esistono grandezze intensive ed estensive:**



## Legge di Duhem :

Nel caso di sistema *monocomponente* il numero di *parametri* termodinamici intensivi o estensivi specifici *indipendenti* atti a descrivere compiutamente lo stato interno di *equilibrio* è *due*.



# Regola di Gibbs

Stabilisce una relazione fra:

- numero di componenti  $C$
- numero di fasi  $F$
- numero di variabili intensive indipendenti  $V$

$$V = C + 2 - F$$

Per un sistema *monocomponente* ( $C=1$ ) e *monofase* ( $F=1$ ),  $V=2$  (il sistema può essere descritto ad esempio da  $P$  e  $T$ ).

Per un sistema *monocomponente* e *bifase*,  $V=1$  (il sistema dovrà essere descritto da un'intensiva e da un'estensiva).

# Equazione di stato

Dalla legge di Duhem, discende anche l'esistenza  
dell'**equazione di stato**:

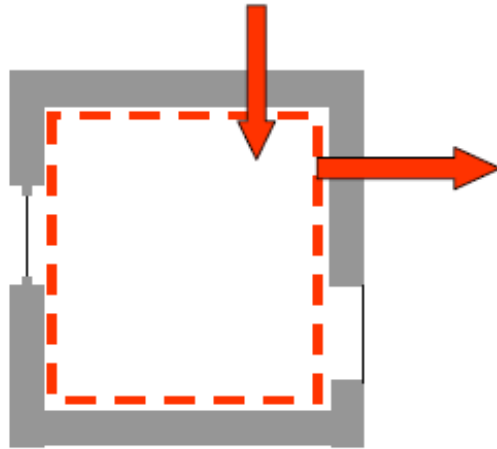
$$f(P,V,T) = 0$$

Molto spesso l'equazione di stato è *ignota*, però la sola  
consapevolezza della sua esistenza è talvolta molto importante

# Tipologie di sistemi termodinamici

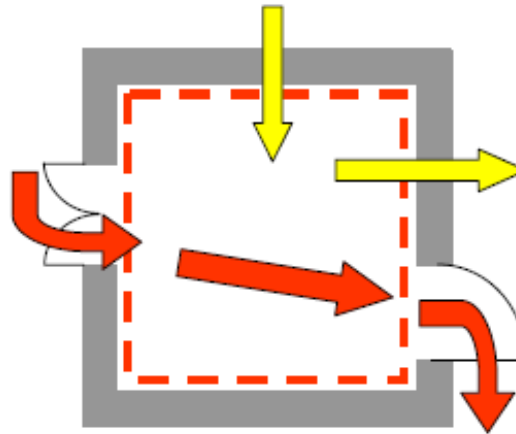
	Calore	Lavoro	Massa
Adiabatico	no		
Diatermano	si		
Rigido		no	
Deformabile		si	
Chiuso (impermeabile)			no
Aperto (permeabile)			si
Isolato	no	no	no

# Tipologie di sistemi termodinamici



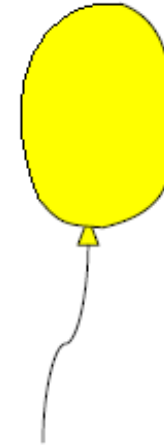
## Caratteristiche:

- Contorno reale
- Contorno rigido chiuso diatermano
- Scambia con l'esterno energia sotto forma di calore



## Caratteristiche:

- Contorno reale
- Contorno rigido aperto diatermano
- Scambia con l'esterno energia sotto forma di calore e materia

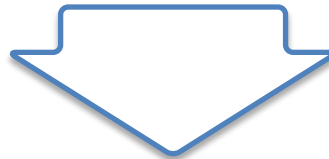


## Caratteristiche:

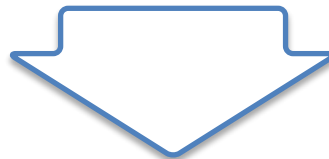
- Contorno reale
- Contorno deformabile chiuso diatermano
- Scambia con l'esterno energia sotto forma di calore e lavoro

# Trasformazioni

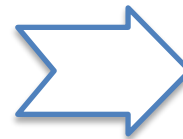
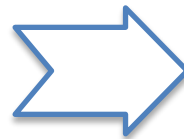
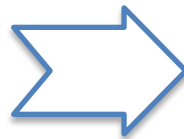
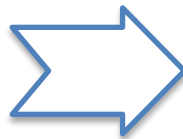
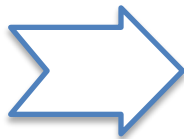
Rimozione dei vincoli al contorno



Il sistema scambia con l'ambiente calore e/o lavoro



Equilibrio  
iniziale



Nuovo  
equilibrio

Gli stati intermedi successivi sono detti nel loro insieme  
**trasformazione termodinamica**



# Trasformazioni

TRASFORMAZIONE	CARATTERISTICHE
<b>Quasi statica (internamente reversibile)</b>	È una trasformazione costituita da una successione di stati di equilibrio. Può non essere reversibile.
<b>Reversibile</b>	Può essere percorsa in senso inverso in modo tale da riportare sia il sistema, sia l'ambiente esterno, allo stato di partenza.
<b>Irreversibile</b>	Trasformazione totalmente o in parte non reversibile. Non rappresentabile su un diagramma di stato.
<b>Chiusa (ciclica)</b>	I due estremi della trasformazione coincidono
<b>Elementare</b>	Una delle grandezze di stato è costante durante tutta la trasformazione

# Analisi di un sistema termodinamico

*Punto di vista:*

## Macroscopico

Per definire lo stato del sistema le grandezze rilevate utilizzando normali strumenti di misura [pressione, temperatura, volume] hanno in comune che:

- Non implicano *alcuna ipotesi sulla struttura della materia*
- Sono in numero relativamente *piccolo*
- Sono suggerite più o meno dai nostri *sensi*
- Possono essere *misurate direttamente*

## Microscopico

Descrive il sistema, fornendo le coordinate per ciascuna delle molecole che lo costituiscono.

Con questo approccio:

- Si fanno delle *ipotesi sulla struttura della materia*, ad esempio che esistano le molecole
- Occorre precisare il valore di *molte grandezze*
- L'esistenza di queste grandezze non è suggerita dalle nostre *percezioni sensoriali*
- Queste grandezze non possono essere *misurate*

# Gas ideale

La **teoria cinetica dei gas** ci assicura che le coordinate di stato **(p,V,T)** sono legate da una equazione del tipo: **f (p,V,T) = 0**  
(Alla stessa conclusione si arriva per mezzo della legge di Duhem)

Per un gas ideale, in particolare, l'equazione di stato è del tipo:

$$\bar{v} = \frac{V}{n}$$
$$PV = nRT$$
$$P\bar{v} = RT$$

Dove P è la pressione [Pa]  
 $\bar{v}$  è il volume molare  $\left[\frac{m^3}{kmol}\right]$   
R è la costante universale dei gas  $= 8314 \left[\frac{J}{kmol \cdot K}\right]$   
T è la temperatura [K]  
 $v$  è il volume specifico  $\left[\frac{m^3}{kg}\right]$   
 $R^*$  è la costante specifica del gas  $\left[\frac{J}{kg K}\right]$

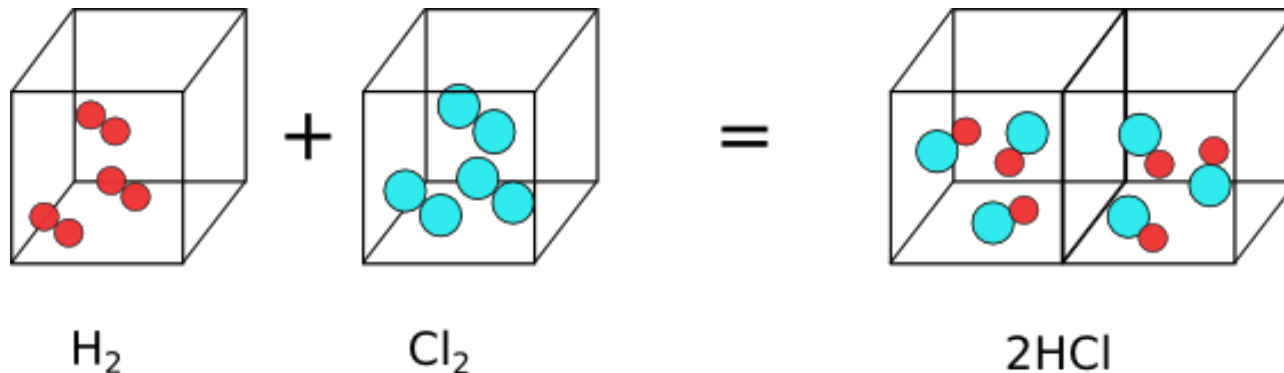
$$PV = mR^*T \quad R^* = \frac{R}{M_m}$$

$$Pv = R^*T \quad v = \frac{V}{m}$$

**Perché R è costante per tutti i gas?**

# Legge di Avogadro

*La legge di Avogadro ci assicura che una chilomole di un qualsiasi gas nelle stesse condizioni di pressione e temperatura occupa sempre lo stesso volume.*



Secondo la legge di Avogadro, per  $T = 273 \text{ K}$  e  $P = 1 \text{ atm}$ , risulta che  $\bar{v} = 22,41 \text{ m}^3/\text{kmole}$  (se indichiamo con  $\bar{v}$  il volume molare) ed esso, a parità di  $p$  e  $T$ , è uguale per tutti i gas, quindi **R è una costante universale.**

# Liquidi e solidi

Nel caso di liquidi e solidi non esistono equazioni atte ad approssimarne il comportamento termodinamico.

**La sola consapevolezza dell'esistenza dell'equazione di stato però permette utili deduzioni.**

$$v = v(T, P)$$

Differenziale dell'equazione di stato scritta in forma implicita

$$dv = \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial v}{\partial P} \right)_T dP$$

Coefficiente di dilatazione isobaro

$$\beta = \frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P$$

Coefficiente di comprimibilità isoterma

$$K_T = -\frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial P} \right)_T$$



# Liquidi e solidi

I due coefficienti introdotti, dipendenti debolmente da pressione e temperatura, sono misurabili sperimentalmente.

La precedente relazione differenziale risulta quindi:

$$dv = \beta v dT - K_T v dP$$

Considerando costanti i coefficienti per intervalli anche piuttosto ampi di temperatura e pressione, si rende possibile l'integrazione della relazione differenziale e il calcolo dello stato finale a partire da condizioni iniziali note.

# Note per lo studente



# Note per lo studente



# Note per lo studente



# Note per lo studente

