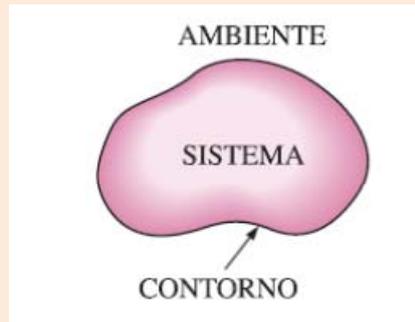


# CONTROLLO TERMICO DEI SISTEMI DI CALCOLO – A.A. 2011/2012

## U.01 – *Fondamenti*



1/29

CONTROLLO TERMICO DEI SISTEMI DI CALCOLO – A.A. 2011/2012

**SISTEMI TERMODINAMICI E  
LORO PROPRIETA'**

U.01 – *Fondamenti*

2/29

**CONCETTI FONDAMENTALI DELLA TERMODINAMICA**

**Termodinamica**

Scienza che studia l'energia (meccanica, termica, ecc.) ed i suoi cambiamenti.

**Termodinamica classica**

Studio macroscopico della materia.

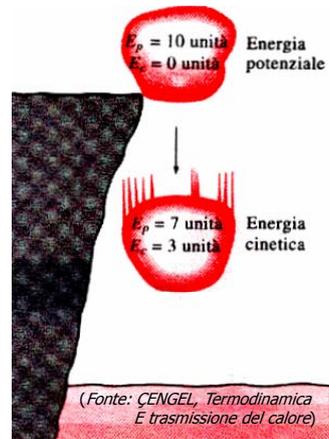
**Conservazione dell'energia**

Durante un'interazione l'energia si può trasformare da una forma ad un'altra, rimanendo nel suo complesso costante.

L'energia ha tuttavia qualità oltre che quantità.

**Misura**

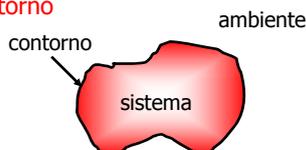
Numero + Simbolo (Unità di Misura) ( $\pm$  Incertezza)



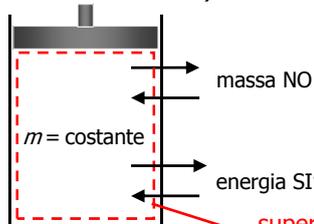
(Fonte: ÇENGEL, Termodinamica E trasmissione del calore)

**SISTEMA APERTO E SISTEMA CHIUSO**

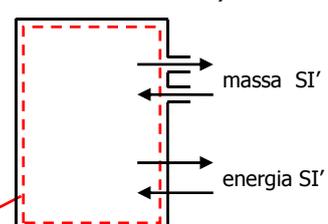
**Sistema, ambiente e contorno**



**Sistema chiuso**  
(o massa di controllo)



**Sistema aperto**  
(o volume di controllo)



superficie di controllo

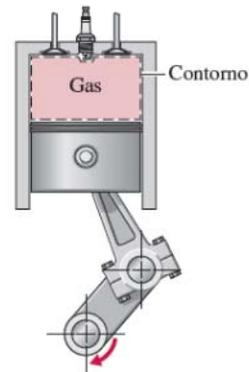
### SISTEMA APERTO E SISTEMA CHIUSO

- **Sistema:** regione di spazio o quantità di materia che è oggetto del nostro studio
- **Ambiente:** regione o materia esterna al sistema
- **Contorno:** superficie reale o immaginaria che separa il sistema dall'ambiente
- Il contorno può essere **fisso** o **mobile**
- Il sistema può essere **chiuso** o **aperto**



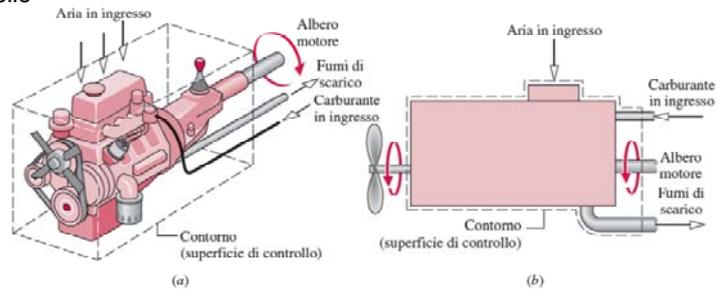
### SISTEMA CHIUSO

- **Sistema chiuso**
- Massa invariante
- Non vi è flusso di materia attraverso il contorno
- Può essere soggetto a scambi di energia sotto forma **lavoro** o sotto forma **calore**

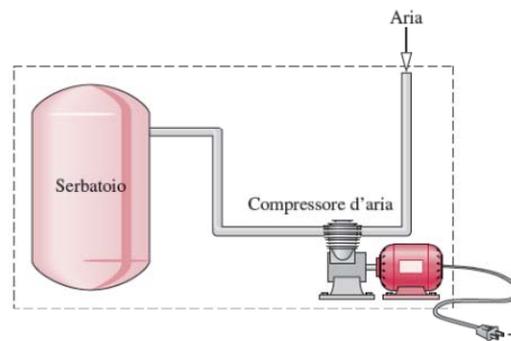


### SISTEMA APERTO

- **Sistema aperto o volume di controllo:** regione di spazio definita nello spazio attraverso il cui contorno fluisce materia
- Di solito il volume di controllo racchiude un dispositivo a scambio di massa (compressore, turbina, ugello ecc)
- Il contorno del VC può essere interessato a flussi energia oltre che di massa
- **Superficie di controllo:** contorno, reale o immaginario, del volume di controllo



### SISTEMA APERTO



Compressore d'aria con serbatoio di stoccaggio

**SISTEMI TERMODINAMICI E LORO COMPORTAMENTO**

**DESCRIZIONE DEL SISTEMA**

1. **Definizione del confine:** come è delimitato il sistema
2. **Definizione del contenuto materiale:** che cosa contiene
3. **Definizione dello stato:** descrizione della situazione del sistema
4. **Fasi:** identificazione delle fasi presenti entro il sistema
5. **Proprietà termodinamiche:** identificazione delle quantità necessarie e sufficienti a definire lo stato

**SISTEMI TERMODINAMICI E LORO COMPORTAMENTO**

**DESCRIZIONE DEL SISTEMA**

**Stato del sistema:** descrizione del sistema eseguita mediante i valori di quantità macroscopiche misurabili = proprietà

- **Proprietà:** una qualsiasi caratteristica macroscopica del sistema
- Alcune proprietà note sono: pressione  $p$ , temperatura  $T$ , volume  $V$ , massa  $m$
- Le proprietà si distinguono in *intensive*, *estensive*, *specifiche*
- **Proprietà intensiva:** proprietà indipendente dall'estensione del sistema (temperatura e pressione)
- **Proprietà estensiva:** il valore della proprietà dipende dalle dimensioni del sistema
- **Proprietà specifica:** rapporto tra proprietà estensive (densità, volume specifico)

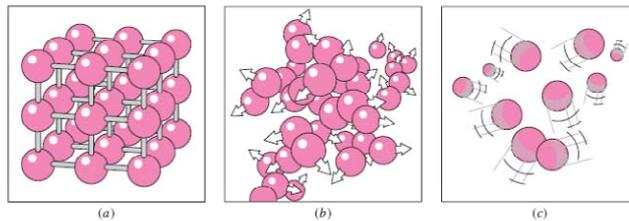
**SISTEMI TERMODINAMICI E LORO COMPORTAMENTO**

**DESCRIZIONE DEL SISTEMA**

**Fase:** frazione di sistema chimicamente e fisicamente omogenea

**Sostanza pura:** sostanza chimicamente omogenea

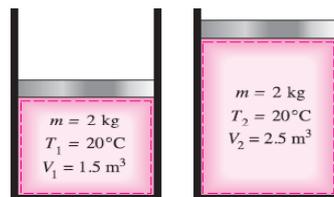
**Stati di aggregazione:** solido, liquido, gassoso



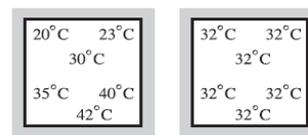
**FIGURA 4.5**  
La disposizione delle molecole nelle differenti fasi: (a) in fase solida le molecole sono in posizioni fisse l'una relativamente all'altra; (b) in fase liquida gruppi di molecole scorrono tra loro; (c) In fase aeriforme le molecole vanno e vengono in modo casuale.

**SISTEMI TERMODINAMICI E LORO COMPORTAMENTO**

- **Stato di equilibrio:** stato per il quale non vi sono potenziali (forze motrici) non equilibrati all'interno del sistema
- **Equilibrio termico:** la temperatura è uniforme entro il sistema
- **Equilibrio meccanico:** in ogni punto del sistema la pressione non cambia nel tempo
- **Equilibrio di fase:** se il sistema presenta più fasi, la massa di ciascuna fase non cambia nel tempo
- **Equilibrio chimico:** la composizione chimica del sistema non cambia nel tempo (assenza di reazioni chimiche)
- **Equilibrio elettrico:** il potenziale elettrico è uniforme e non cambia nel tempo (assenza di correnti elettriche)



(a) Stato 1 (b) Stato 2  
**Sistema in due diversi stati di equilibrio**



(a) Prima (b) Dopo  
**Sistema chiuso che tende all'equilibrio**

## SISTEMI TERMODINAMICI E LORO COMPORTAMENTO

### PROCESSO

**Processo (Trasformazione):** una qualsiasi modificazione dello stato del sistema

**Percorso del processo:** la serie di stati attraverso i quali il sistema passa nel corso del processo. La descrizione completa del processo prevede che sia possibile identificare gli stati iniziale e finale, il percorso e le interazioni con il contorno

**Processo quasi-statico o di quasi-equilibrio:** processo lungo il quale gli stati sono sempre infinitamente prossimi a condizioni di equilibrio

**Processo ciclico (Ciclo):** processo per il quale stato iniziale e finale coincidono

## GRANDEZZE FISICHE E UNITA' DI MISURA

**UNITA' DI MISURA E DIMENSIONI**

**SISTEMA INTERNAZIONALE (SI)  
DI UNITA' DI MISURA**

- E' completo e coerente
- Definisce:
  - sette unità fondamentali

*massa, lunghezza, tempo, temperatura,  
intensità di corrente elettrica, intensità luminosa,  
quantità di materia*

- le relazioni di definizione delle unità derivate
- multipli e sottomultipli di ordine 3 delle unità fondamentali

**GRANDEZZE FISICHE E UNITA' DI MISURA S.I.**

<i>Grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>
Lunghezza	metro [m]
Massa	kilogrammo [kg]
Tempo	secondo [s]
Temperatura	grado kelvin [K]
Intensità di corrente	ampere [A]
Intensità luminosa	candela [cd]
Quantità di materia	mole [mol]

<i>Grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>
Forza	newton [N]
Energia	joule [J]
Potenza	watt [W]
Pressione	pascal [Pa]

**ALTRE UNITA' DI MISURA E CONVERSIONI**

<i>Grandezza</i>	<i>Unità di misura</i>
Energia: kilowattora [kWh]	1 kWh = 3.6·10 <sup>6</sup> J
Energia: kilocaloria* [kcal]	1 kcal = 4.186 kJ
Energia: british thermal unit* [BTU]	1 BTU = 1055 J
Potenza: kilocaloria/ora* [kcal/h]	1 kcal/h = 1.16 W
Potenza: british thermal unit/ora* [BTU/h]	1'000 BTU/h = 293 W
Potenza: ton of refrigeration* [ton]	1 ton = 12'000 BTU/h
Potenza: cavallo vapore* [CV]	1 CV = 746 W
Potenza: horse power* [HP]	1 HP = 1.014 CV
Pressione: bar [bar]	1 bar = 100'000 Pa
Pressione: atmosfera* [atm]	1 atm = 101'325 Pa
Pressione: mm Hg* [torr]	1 torr = 133 Pa
Pressione: mm H <sub>2</sub> O* [mm H <sub>2</sub> O]	1 mm H <sub>2</sub> O = 9.81 Pa

*\*Unità di misura non facenti parte del Sistema Internazionale (S.I.)*

**MODALITA' DI SCRITTURA DELLE MISURE (1)**

- L'indicazione dell'unità di misura deve obbligatoriamente seguire ogni misura numerica, in **simbolo** e non per esteso (ad es. 1 m, 10 kg, 100 W)
- Se non segue un'indicazione numerica, il **nome** dell'unità di misura va invece riportato per esteso e con iniziale sempre minuscola, anche se deriva da un nome proprio (come, ad esempio, all'interno della frase: "l'unità di misura della potenza è il watt")
- Dopo il simbolo dell'unità di misura non va **mai il puntino** (neanche dopo min o atm)
- Per **separatore decimale** si può usare un punto in basso o, solo in Italia, una virgola (che altrove è generalmente il separatore delle migliaia)
- Occorre utilizzare, quando possibile, le **unità di misura derivate** (N, J, W, Pa)
- Se si impiegano a denominatore due o più simboli, è opportuno raggrupparli entro parentesi; ad esempio, W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> si può anche scrivere W/(m·K), che è perfettamente equivalente, mentre scrivere W/m·K può ingenerare confusione poiché può essere inteso come (W/m)·K
- Sono consentiti **multipli e sottomultipli** delle unità fondamentali solo per un fattore 1000; tuttavia, è ammesso l'uso di alcune grandezze come il centimetro (1 cm = 0.01 m) o il bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa)

**MODALITA' DI SCRITTURA DELLE MISURE (2)**

- I **prefissi** da anteporre al simbolo dell'unità di misura per indicare i principali multipli e sottomultipli sono: tera (T  $\Leftrightarrow \cdot 10^{12}$ ), giga (G  $\Leftrightarrow \cdot 10^9$ ), mega (M  $\Leftrightarrow \cdot 10^6$ ), kilo (k  $\Leftrightarrow \cdot 10^3$ , con la k sempre minuscola), milli (m  $\Leftrightarrow \cdot 10^{-3}$ ), micro ( $\mu$   $\Leftrightarrow \cdot 10^{-6}$ ), nano (n  $\Leftrightarrow \cdot 10^{-9}$ ), pico (p  $\Leftrightarrow \cdot 10^{-12}$ )
- È ammesso per i fluidi l'uso del **litro** (1 L = 1 dm<sup>3</sup>), con possibilità di utilizzare per il simbolo dell'unità di misura sia L che l (maiuscola o minuscola)
- È spesso opportuno scandire a gruppi di 3 le cifre di un numero molto lungo, sia prima che dopo il separatore decimale, impiegando uno spazio, un puntino in alto o un apostrofo in alto per separare i vari gruppi (ad esempio, 1'234.567'89)
- Si considerano **cifre significative** la prima (da sinistra a destra) diversa da zero e tutte quelle che la seguono, compresi gli zeri (ad esempio, in 0.001'234 m le cifre significative sono solo quattro, e la misura può essere più convenientemente espressa nella forma 1.234 mm);
- Il numero di cifre significative di una misura numerica può essere sfruttato per fornire un'informazione sulla **precisione** con cui si conosce la grandezza fisica misurata (ad esempio, 10'000 W può significare che la misura ha precisione dell'ordine di 1 W, ma se la precisione reale è dell'ordine di 100 W, è più conveniente scrivere 10.0 kW o  $1.00 \cdot 10^4$  W)

**PROPRIETA' TERMODINAMICHE  
FONDAMENTALI**

**DENSITA', VOLUME SPECIFICO E PESO SPECIFICO**

**Ipotesi di continuità materiale:** il mezzo materiale (solido, liquido o gassoso) è assunto continuo. Le proprietà sono quindi **definite al punto**

**Densità ( $\rho$ )**

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V'} \left( \frac{m}{V} \right) \quad (\text{kg/m}^3)$$

**Volume specifico ( $\nu$ )**

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

**Peso specifico ( $\gamma$ ):** peso dell'unità di volume

$$\gamma = \frac{F_p}{V} = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

**MASSA E QUANTITA' DI SOSTANZA**

**Relazione massa-densità/volume specifico**

$$m = \int_V \rho dV = \int_V \frac{1}{\nu} dV$$

**Quantità di sostanza (kmol)**

- $n$  numero di moli di sostanza (kmol)
- $M$  massa molare della sostanza (kg/kmol)

**Relazione quantità di sostanza-massa**

$$n = \frac{m}{M} \quad (\text{kmol})$$

**Volume molare**

$$\bar{\nu} = \frac{V}{n} = \nu M \quad (\text{m}^3/\text{kmol})$$

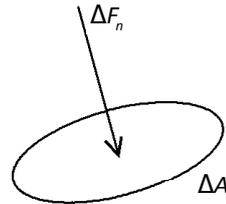
**PRESSIONE**

**Pressione:** forza normale esercitata da un fluido per unità di area

**Pressione al punto**

$\Delta F_n$ : forza normale agente sull'area  $\Delta A$

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow \Delta A'} \left( \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \right) \text{ (Pa)}$$



$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

**PRESSIONE**

**Conversioni** tra unità di misura della pressione



$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

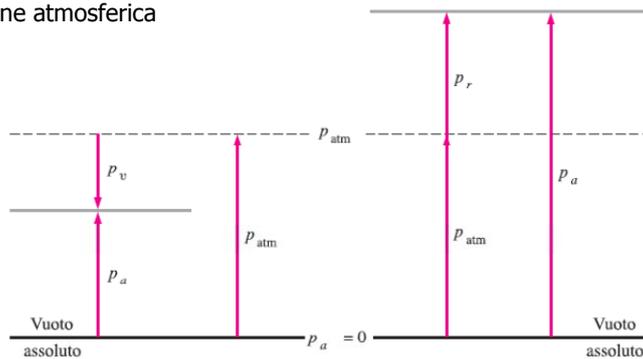
$$1 \text{ atm} = 101'325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.013'25 \text{ bar}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.807 \text{ N/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa} = 0.9807 \text{ bar} = 0.9679 \text{ atm}$$

$$1 \text{ psi} = 6895 \text{ Pa} = 6.895 \text{ kPa}$$

## PRESSIONE

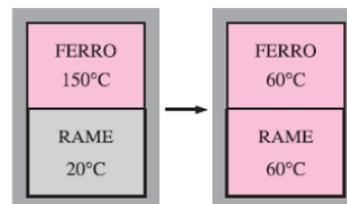
- **Pressione assoluta:** valore di pressione riferito al vuoto assoluto (cui corrisponde il valore zero di pressione assoluta)
- **Pressione relativa** (effettiva, al manometro): differenza tra pressione assoluta e valore locale della pressione atmosferica
- **Pressione di vuoto** (al vacuometro): valore di pressione inferiore alla pressione atmosferica



## TEMPERATURA

- **Principio Zero della termodinamica:** se due corpi sono in equilibrio termico con un terzo corpo essi sono anche in equilibrio termico tra loro
- Sostituendo il terzo corpo con un termometro, il principio zero si può riformulare come segue:

*due corpi sono in equilibrio termico se hanno la stessa temperatura anche se non si trovano a contatto*



Due corpi, inizialmente a temperature differenti, raggiungono l'equilibrio termico una volta in contatto in un contenitore termicamente isolato.

**TEMPERATURA**

**SCALE DI TEMPERATURA**

- Le scale di temperatura si basano su alcuni stati di una sostanza facilmente riproducibili, quali i punti di solidificazione e di ebollizione dell'acqua
- **Punto del ghiaccio:** miscela di acqua e ghiaccio in equilibrio con aria satura di vapore ad 1 atm (0°C o 32°F)
- **Punto di ebollizione:** miscela di acqua liquida e di vapor d'acqua (in assenza di aria) in equilibrio ad 1 atm (100°C o 212°F)
- **Scala Celsius:** in unità SI
- **Scala Fahrenheit:** in unità del sistema anglosassone
- **Scala Termodinamica delle temperature:** scala indipendente dalle proprietà di qualsiasi sostanza, **Scala Kelvin (SI)** e **Scala Rankine**
- Una scala coincidente con la scala Kelvin è la **scala del termometro a gas perfetto**

**TEMPERATURA**

**SCALE DI TEMPERATURA**

CELSIUS (° C) KELVIN (K) FAHRENHEIT (° F) RANKINE (R)

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15$$

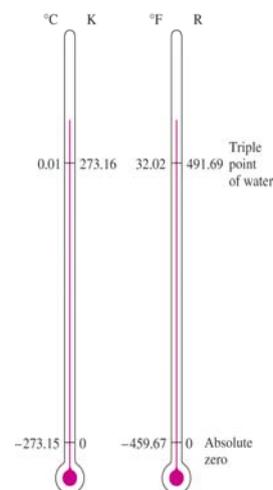
$$T(R) = 1.8T(K)$$

$$T(^{\circ}F) = 1.8T(^{\circ}C) + 32$$

$$\Delta T(^{\circ}C) = \Delta T(K)$$

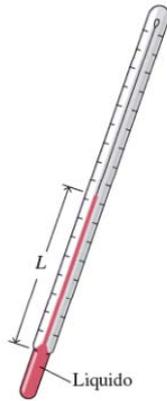
$$\Delta T(^{\circ}F) = \Delta T(R)$$

- La temperatura di riferimento originale per la scala Kelvin era il **punto del ghiaccio**, 273.15 K
- Attualmente si è scelto un riferimento più preciso e riproducibile, il **punto triplo** dell'acqua (stato al quale le tre fasi, solido, liquido, vapore, dell'acqua coesistono all'equilibrio), cui si assegna il valore 273.16 K



## TEMPERATURA

### STRUMENTI DI MISURA



Termometro a dilatazione di liquido



Termometro senza contatto

Principali tipologie di dispositivi di misura:

- Termometri a dilatazione
- Termocoppie
- Termoresistenze (RTD)
- Termistori
- All'infrarosso (pirometri e termocamere)