

## Caratterizzazione dei materiali

# DENSITÀ, MASSA TEMPERATURA, CALORE, CALORE SPECIFICO

## La padella per cucinare



### REQUISITI

- Resistenza alle alte temperature
- Capacità di trasferire rapidamente il calore
- Resistenza all'ossidazione
- Capacità di resistere a urti e cadute
- Resistenza all'abrasione
- Ottimo isolamento termico
- Leggera
- Proprietà magnetiche (se usata su piano ad induzione)
- Possibilità di vedervi dentro

**OGNI REQUISITO E'  
ASSOCIABILE AD UN  
FENOMENO FISICO!**

## Requisiti – Fenomeni fisici - Proprietà

Resistenza alle alte temperature

Capacità di trasferire rapidamente il calore

Cambiamento di fase

Conduzione termica

**Temperatura**

**Conducibilità termica**

Leggerezza

Resistenza agli urti

Campo gravitazionale

Comportamento meccanico

Densità

**Sforzo di snervamento**

3

## Principali proprietà dei materiali

Requisito	Proprietà	Unità di misura
Lavorazione per deformazione plastica	Deformazione a rottura, $\epsilon_r$	%
Rigidezza	Modulo elastico, E	GPa
Resistenza agli urti	Resistenza – sforzo di snervamento, $\sigma_{sn}$	MPa
Trasferimento di calore per conduzione	Conducibilità termica, $\lambda$	W/(m K)
Trasparenza	Trasmittanza alle radiazioni visibili	%

4

## Principali proprietà dei materiali

Requisito	Proprietà	Unità di misura
Magnetismo	Induzione magnetica	Tesla
Conduzione di elettricità	Resistività (conducibilità elettrica)	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$
Resistenza alla fiamma	Temperatura massima di esercizio, $T_{\text{max}}$	$^{\circ}\text{C}$
Leggerezza	Densità, $\rho$	$\text{kg}/\text{m}^3$
Resistenza ai lavaggi	Durabilità	-

5

Oggi definiremo:

- Densità
- Massa
- Temperatura
- Calore
- Calore specifico

08/11/2012

6

## Densità

- Video: prove di densità

L'olio galleggia sull'acqua e questa sul miele.  
Perché?

Proprietà dei materiali: densità differenti.

Principio fisico del comportamento dei fluidi: Principio di Archimede

## Definizione di densità

Si definisce densità di un corpo,  $\rho$ , il rapporto tra la sua massa,  $m$ , e il suo volume,  $V$ .

Essa quantifica la massa dell'unità di volume.

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

E' utile considerare anche il suo inverso, ossia il **volume dell'unità di massa** o **volume specifico**,  $v$ , rapporto tra il volume,  $V$ , di un corpo e la sua massa  $m$ :

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

Non si può definire la densità se prima non si definiscono i concetti di **MASSA** e di **VOLUME**

## Massa

La massa esprime la quantità di materia che è contenuta in un corpo.

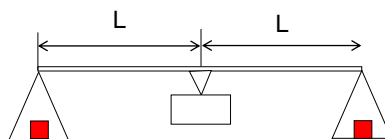
La massa è una grandezza *scalare*.

E' una delle grandezze fondamentali del Sistema Internazionale di Unità di Misura, la cui unità di misura è il kg.

Tutte le proprietà la cui entità dipende dalla massa si dicono **estensive**; quelle che non dipendono dalla massa si chiamano **intensive**.

9

## Massa



Due corpi hanno uguale massa se, posti sui due piatti ai due capi di una *bilancia a braccia uguali*, questa rimane in equilibrio.

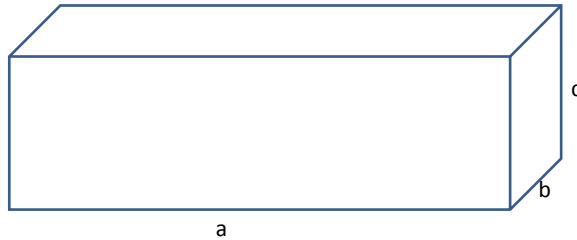
Si verifica sperimentalmente che, se la bilancia è in equilibrio in un luogo della terra, essa resta in equilibrio ovunque.

L'uguaglianza della massa è pertanto indipendente dal luogo geografico.

10

# Volume

- Il volume è quella grandezza che individua la porzione di spazio occupata da una certa quantità di materia



- Grandezza derivata da quella fondamentale «lunghezza».
- Si misura in  $m^3$

# Valori di densità

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Sostanza	densità [ $kg/m^3$ ] (293K)
aria	1,21
etanolo	783
petrolio	820
olio	910
acqua	1000
boro	2500
polietilene	900
policarbonato	1200
alluminio	2700
vetro	2300
acciaio	7900
ferro	7870
Rame	8900
piombo	11340
mercurio	13560
oro	19300
platino	21450

## Massa o Peso?

Attenzione che spesso si confonde la massa con il peso. Tuttavia:

- La massa è una caratteristica intrinseca di ogni cosa; ogni corpo è dotato di massa
- Il peso è la forza con cui la Terra attira a sé ogni corpo dotato di massa
- In assenza di una forza gravitazionale un corpo è privo di peso, ma conserva la sua massa
- Il peso è dunque una forza e si misura in newton [N]
- $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$

## Esperimento: la misura della densità



Bilancia: **massa** delle biglie  
 Differenza di livello = **volume** delle biglie

# Attenzione!

La densità dipende dalla TEMPERATURA.

In generale la densità decresce all'aumentare della temperatura.

Tuttavia esistono delle sostanze per le quali la densità diminuisce al diminuire della temperatura: l'acqua per esempio!

# Temperatura

Per la temperatura è facile avere un'idea intuitiva. Tutti infatti conoscono le **sensazioni di freddo e caldo** che si provano toccando un corpo, o entrando in un ambiente; esse permettono di confrontare diversi corpi riconoscendo quale è il più caldo e quale il più freddo.

Questa idea di caldo e di freddo basata sulle nostre sensazioni viene precisata nel concetto di stato termico o **temperatura**, la quale **misura quanto un corpo è caldo o freddo**.

L'esperienza mostra che quando due corpi a temperatura diversa siano posti tra loro in reciproco contatto la loro temperatura si modifica raggiungendo, dopo un certo tempo, un solo identico valore; si dice che tali sistemi hanno raggiunto **l'equilibrio termico**.



## Equilibrio termico

Ancora l'esperienza comune mostra come quando un corpo si trovi in equilibrio termico con altri due corpi anche questi messi a contatto siano in equilibrio termico. Si ha il cosiddetto **Principio Zero della Termodinamica**:

**Due sistemi in equilibrio termico con un terzo sistema sono anche in equilibrio termico tra di loro.**

Questa proprietà sta alla base, tra l'altro, di tutti i processi e gli strumenti relativi alla misura della temperatura.

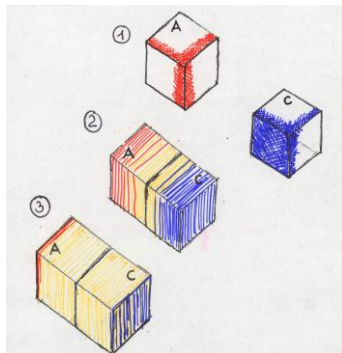
A questo punto una ulteriore possibile definizione per la temperatura è la seguente:

**la temperatura di un sistema è quella sua proprietà che determina se esso sia o non sia in equilibrio termico con altri sistemi.**

08/11/2012

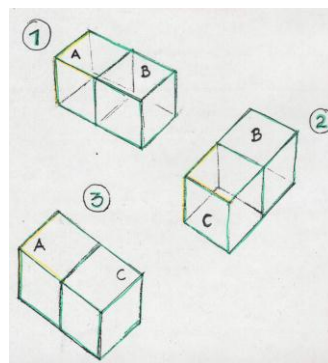
17

### *l'equilibrio termico*



08/11/2012

### *il principio zero*



18

## Misura della temperatura

Se i nostri sensi ci suggeriscono i concetti di temperatura e calore, d'altra parte le nostre sensazioni non possono essere utilizzate per una misura della temperatura;

è necessario ricorrere a un fenomeno misurabile che accompagni le variazioni di temperatura di un corpo.

Ad esempio un fenomeno utilizzabile è la **dilatazione termica**: la misura delle temperature può essere così ricondotta a una misura di **variazione di volume**.

Es. termometro a mercurio.



Misurare la temperatura significa attribuire ad ogni temperatura in maniera univoca un valore. E' necessario fissare una **scala di temperatura**:

- ✓ una temperatura da considerare come riferimento, in altre parole lo **zero** della scala,
- ✓ una unità di misura.

La grandezza fisica che si assume come indicatore di temperatura viene chiamata **caratteristica termometrica X**. Misurare una temperatura significa saper attribuire ad ogni suo valore il corrispondente valore di **temperatura t**, individuare cioè la funzione che lega X a t.

Ammettendo una **dipendenza di tipo lineare**, come accade realmente in molti casi, tale funzione può essere indicata con una scrittura del tipo:

$$t(X) = aX + b$$

Per determinare i valori di **a** e **b** è necessario attribuire a due stati di riferimento, in cui è possibile misurare X, due valori arbitrari a t (operazione che corrisponde a fissare lo zero della scala, e un'unità di misura).

E' utile scegliere **due condizioni facilmente riproducibili** e in genere i due stati prescelti sono:

- ✓ **ghiaccio fondente** a pressione atmosferica: punto di fusione normale (PFN);
- ✓ **vapore d'acqua bollente** a pressione atmosferica: punto di ebollizione normale (PEN).

Si ha per il ghiaccio fondente:  $t(X_g) = aX_g + b$

per il vapore d'acqua bollente:  $t(X_v) = aX_v + b$

Dalle due relazioni si possono ricavare i valori di a e b, si ha:

$$a = \frac{t(X_v) - t(X_g)}{X_v - X_g} \quad b = t(X_g) - \frac{t(X_v) - t(X_g)}{X_v - X_g} X_g$$

per la condizione generica, si ha allora:

$$t(X) = t(X_g) + \frac{t(X_v) - t(X_g)}{X_v - X_g} (X - X_g)$$

$$t(X_g) = 0^\circ \quad t(X_v) = 100^\circ \Rightarrow \text{scala Celsius}$$

**unità di misura grado Celsius [°C]: 1/100 dell'intervallo** tra il punto di **fusione** normale e il punto di **ebollizione** normale **dell'acqua**.

$$t(X) = \frac{100}{X_v - X_g} (X - X_g)$$

$$t(X) = t(X_g) + \frac{t(X_v) - t(X_g)}{X_v - X_g} (X - X_g)$$

➤  $t(X_g) = 273.15 \quad t(X_v) = 373.15$

➤ **unità di misura Kelvin [K]: 1/100 dell'intervallo** tra il punto di **fusione** normale e il punto di **ebollizione** normale **dell'acqua**.

⇒ nuova scala di temperatura detta **scala assoluta di temperatura**; per la temperatura espressa in questa scala si utilizza di solito il simbolo **T**:

$$t [^\circ\text{C}] = T [\text{K}] - 273.15$$

**Perché 0 K si fanno corrispondere proprio a -273,15 °C ?**

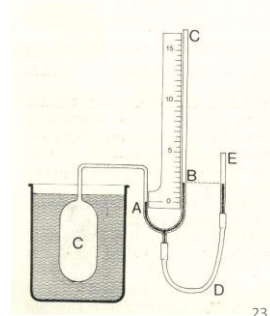
Nello studio dei gas a bassa pressione si verifica sperimentalmente che tra le grandezze di stato  $T$ ,  $p$  e  $V$  valgono le seguenti relazioni:

1ª legge di Charles e Gay-Lussac:  $\frac{V}{T} = K \quad p = \text{costante}$

legge di Boyle  $pV = K \quad T = \text{costante}$

2ª legge di Charles e Gay-Lussac  $\frac{p}{T} = K \quad V = \text{costante}$

Dalla prima o dalla terza relazione di proporzionalità diretta tra il volume o la pressione di una massa di gas e la sua temperatura discende facilmente la possibilità di utilizzare proprio la **dilatazione termica di un gas a pressione** o volume costante come **fenomeno termoscopico**. Si costruisce il cosiddetto termometro a gas.



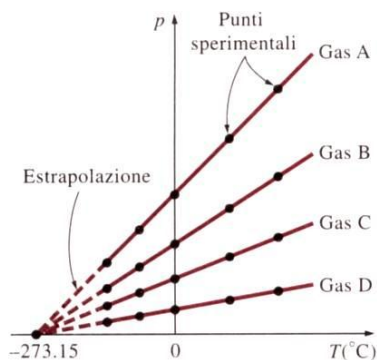
08/11/2012

23

La 1ª relazione di Gay-Lussac può essere estrapolata fino a  $V=0$  condizioni per cui si ottiene  $T=0$ .

Fissato come unità di misura della temperatura 1/100 dell'intervallo tra solidificazione e ebollizione dell'acqua in condizioni standard (il grado Celsius) si ha che la condizione  $V=0$  si trova **273.15 °C più in basso del punto di solidificazione dell'acqua**.

Allo stesso risultato si arriva considerando la 2ª relazione di Gay-Lussac



08/11/2012

24

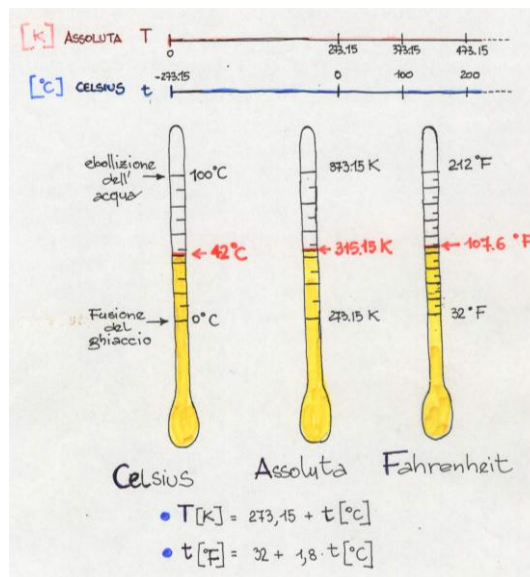
### Scala Farhenheit

- Condizioni di riferimento:
  - Temperatura corporea umana: 96°F
  - Temperatura di solidificazione di una miscela di acqua, ghiaccio e sale d'ammonio : 0°F
- Temperatura di fusione normale: 32°F
- Temperatura di ebollizione normale: 212°F
- Tra PFN e PEN vi sono 180°F
- In termini differenziali significa che 100°C corrispondono a 180°F e cioè 1°C corrisponde a 1.8°F

08/11/2012

25

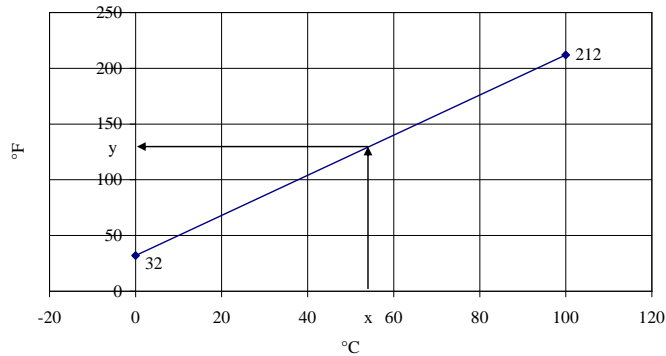
### Le scale termometriche



08/11/2012

26

## Conversione della temperatura



## Calore

E' evidente che la **variazione della temperatura**, e più in generale il cambiamento dell'assetto termico dei sistemi, avviene **attraverso un'interazione o più precisamente attraverso uno scambio tra sistema ed ambiente o tra sistema e altri sistemi**: l'ente che viene scambiato è il calore.

Fino all'inizio del diciannovesimo secolo si postulava l'esistenza di una sostanza detta *calorico* e si pensava che un corpo ad elevata temperatura contenesse molto calorico mentre uno a bassa temperatura ne possedesse solo una piccola quantità; mettendo a contatto i due corpi quello più ricco di calorico ne avrebbe ceduto a quello più povero.

Oggi sappiamo che il **calore** non è una sostanza la cui quantità totale resta costante, ma è semplicemente **energia trasferita alla scala molecolare da corpi più caldi a corpi più freddi**.

## Calore

Si può dare la seguente definizione:

**Il calore è l'energia che viene scambiata tra i corpi solamente in virtù della differenza della loro temperatura.**

Se attraverso i confini di un sistema non transita calore esso è detto *adiabatico* o *termicamente isolato*.

## Sistema Termodinamico: definizione

Sistema termodinamico: porzione di materia o di spazio che si vuole studiare e che viene (idealmente) isolata e su cui ci si concentra.

La separazione dalla restante parte dello spazio avviene attraverso una superficie di involucro che può essere materiale od astratta e che prende il nome di **confine**.

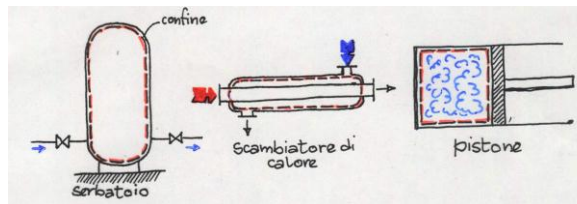
Tutto quanto è situato oltre i confini del sistema, ma può influenzarne il comportamento è detto **ambiente circostante (o resto dell'universo)**.

### I confini del sistema

possono essere:

- ✓ fissi o mobili
- ✓ permeabili o impermeabili

Se attraverso i confini **non** transita massa, il sistema è detto **chiuso**; altrimenti è **aperto**.



## Grandezze di stato

Per descrivere un sistema termodinamico potremmo usare numerose caratteristiche, ma solo alcune di esse sono rilevanti dal punto di vista termodinamico, esse sono classificate come **proprietà termodinamiche**.

Lo **stato di un sistema termodinamico** è **noto** quando si conoscano i **valori** assunti dalle **sue proprietà** termodinamiche.

Alcune proprietà termodinamiche di un sistema sono **grandezze di stato**  
 ⇒ **funzioni univoche dello stato** o anche **funzioni di stato**

Esempi: pressione, volume, temperatura.

## Grandezze di stato

Le proprietà termodinamiche possono essere classificate come **intensive** ed **estensive**:

**estensive**: il loro valore dipende dalla massa considerata

**intensive**: il loro valore non dipende dalla massa considerata

Qualunque proprietà estensiva può essere ricondotta nella classe delle proprietà intensive, considerandone il valore riferito all'unità di massa

Volume,  $V$  [ $m^3$ ]

volume specifico,  $v$  [ $m^3/kg$ ]

Energia interna,  $U$  [J]

energia interna specifica,  $u$  [J/kg]

Pressione,  $p$  [Pa]

Temperatura [K]



## *Equilibrio termodinamico e stati di equilibrio*

Quando tra il sistema e l'ambiente non avvenga alcun tipo di interazione, oppure avvengano interazioni che mediamente si compensano, le **caratteristiche proprie del sistema** permangono **costanti nel tempo**: il sistema si dice allora in **equilibrio termodinamico**.

La termodinamica classica studia unicamente sistemi in equilibrio termodinamico. **L'equilibrio termodinamico** presuppone che vi sia:

- ✓ **equilibrio meccanico**, cioè che non si abbiano forze non bilanciate né all'interno del sistema né tra il sistema e l'ambiente;
- ✓ **equilibrio chimico**, che non si abbiano cioè reazioni chimiche;
- ✓ **equilibrio termico** cioè che tutte le parti del sistema abbiano la stessa temperatura e che questa coincida con quella dell'ambiente.

## *Equilibrio termodinamico e stati di equilibrio*

**In tali condizioni è evidente che il sistema non ha nessuna tendenza al cambiamento.**

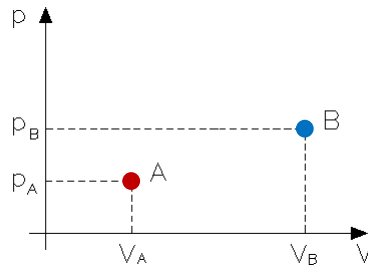
**In condizioni di equilibrio le grandezze di stato che caratterizzano un sistema hanno in ogni istante e in ogni punto lo stesso valore.**

## Sistemi $p, V, T$ e diagrammi di stato

Lo stato di una nutrita classe di sistemi può essere individuato da una **coppia di grandezze di stato** scelte tra le tre grandezze pressione, volume e temperatura:  **$p, v, T$** .

### diagramma di stato

lo stato termodinamico del sistema resta determinato dal punto del piano le cui coordinate corrispondono alla coppia di valori assunti, caso per caso, dalle due grandezze di stato indipendenti.



08/11/2012

35

## Trasformazioni Termodinamiche

Quando un sistema è supposto in equilibrio termodinamico il suo stato deve rimanere immutato nel tempo. Se tale stato varia deve essere avvenuta qualche interazione tra sistema ed ambiente che ha perturbato l'equilibrio e quindi modificato lo stato del sistema. Si dice allora che è avvenuta una **trasformazione termodinamica**.

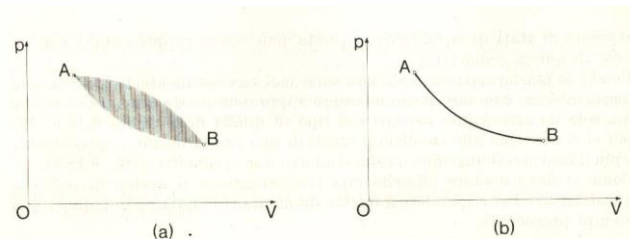
Una **trasformazione termodinamica** è pertanto il processo che **porta il sistema da uno stato di equilibrio ad un altro stato di equilibrio**. In quanto stati di equilibrio, lo stato di partenza e quello finale sono completamente determinati dai valori assunti dalle grandezze di stato mentre non lo sono, durante una generica trasformazione, gli infiniti stati attraverso cui il sistema passa.

08/11/2012

36

## Trasformazioni Termodinamiche

Perché una trasformazione possa essere completamente determinata e rappresentata su un diagramma di processo essa deve avvenire mediante la **successione di piccolissime perturbazioni** ognuna delle quali porta il sistema da uno stato di equilibrio ad un altro stato di equilibrio molto prossimo al precedente: **trasformazione quasistatica**.

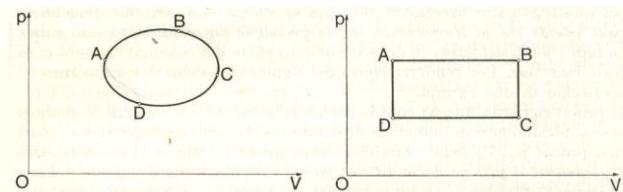


08/11/2012

37

## Trasformazioni chiuse e aperte

Quando lo stato iniziale e quello finale di una trasformazione coincidono tale trasformazione è detta **chiusa o ciclica**. Processi di questo tipo sono estremamente importanti proprio per il fatto che il sistema torna, dopo ogni *ciclo*, nello stato iniziale: la trasformazione può allora aver luogo infinite volte senza che il sistema conservi traccia dell'evento. Tutte le macchine costruite dall'uomo funzionano secondo processi ciclici.



Quando lo stato iniziale e finale sono diversi la trasformazione si dice **aperta**.

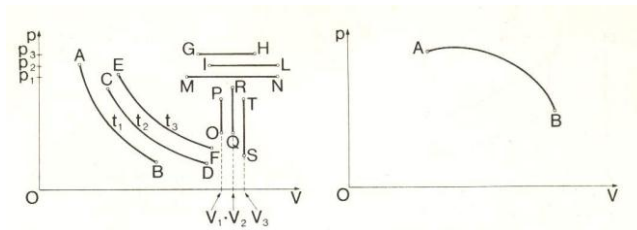
08/11/2012

38

## Trasformazioni chiuse e aperte

Possono essere realizzate trasformazioni aperte in modo tale:

- ✓ pressione costante            isobara
- ✓ volume costante            isocora
- ✓ temperatura costante      isoterma



## Trasformazioni reversibili

Una **trasformazione quasistatica** nella quale sono **assenti tutti i fenomeni dissipativi** è una **trasformazione reversibile**.

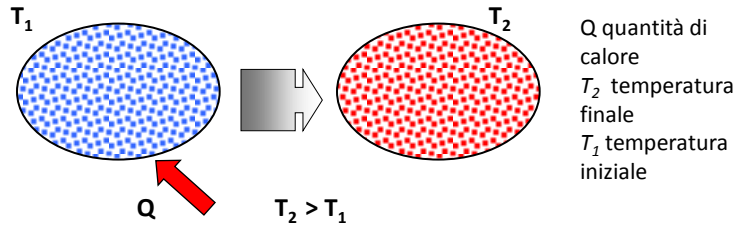
Quando una trasformazione reversibile viene percorsa prima in un senso e poi nell'altro non resta alcuna traccia del processo avvenuto né nel sistema né nell'ambiente.

Una **trasformazione reversibile** è una **trasformazione ideale** nella quale gli **attriti sono nulli** e gli **scambi di energia possono essere invertiti di segno**.

E' evidente che nella realtà ci si può solo avvicinare a tale processo ideale senza però mai realizzarlo completamente.

Le **trasformazioni reali** sono pertanto trasformazioni **irreversibili**: le cause di irreversibilità e le loro conseguenze saranno chiarite nel seguito.

## Capacità termica



Sperimentalmente si vede che per ottenere la medesima variazione di temperatura su materiali diversi o eseguendo trasformazioni diverse sono necessarie quantità diverse di calore  $Q$ :

**il calore è una grandezza di scambio**

Si definisce **capacità termica media** di un sistema il rapporto tra la quantità di calore scambiato  $Q$  e la variazione di temperatura generatasi nel sistema.

Ovvero:

$$C_m = \frac{Q}{(T_2 - T_1)}$$

08/11/2012

41

## calore specifico

La **capacità termica** di una **massa unitaria** di sostanza è detta **calore specifico  $c$**  :

$$C = m c$$

$$c = \frac{C}{m} = \frac{q}{(T_f - T_i)} = \frac{Q}{m(T_f - T_i)} \quad c = \left[ \frac{J}{K \, kg} \right]$$

essendo  $m$  la massa del sistema.

Quantità di calore necessario per innalzare di 1K la temperatura di 1kg di sostanza.

Es. Acqua  $m=1000 \, \text{kg}$   $c=4186,7 \, \text{J}/(\text{kg} \, \text{K})$   $T_i=10^\circ\text{C}$   $T_f=30^\circ\text{C}$

Quanto calore devo somministrare?



Esperienza di Tyndall

08/11/2012

42

### Capacità termica e calore specifico

La capacità termica ed il calore specifico di un sistema hanno un valore diverso secondo il tipo di trasformazione considerato.

**capacità termica  $C_p$  e calore specifico  $c_p$  a pressione costante:**

$$C_p = \left( \frac{\partial Q}{\partial T} \right)_p \quad c_p = \left( \frac{\partial q}{\partial T} \right)_p$$

**capacità termica  $C_v$  e calore specifico  $c_v$  a volume costante:**

$$C_v = \left( \frac{\partial Q}{\partial T} \right)_v \quad c_v = \left( \frac{\partial q}{\partial T} \right)_v$$

Esempi:

Argon:  $c_p = 0.53$ ,  $c_v = 0.32$  kJ/(kg K),

Neon:  $c_p = 1.04$ ,  $c_v = 0.62$  kJ/(kg K).

43

### Capacità termica e calore specifico

Il calore  $Q_p$  scambiato, per esempio, durante una trasformazione isobara quasistatica si potrà valutare assumendo che il calore specifico permanga costante nell'intervallo tra  $T_i$  e  $T_f$ :

$$Q_p = m c_p (T_i - T_f)$$

Allo stesso modo il calore  $Q_v$  scambiato, per esempio, durante una trasformazione isocora quasistatica si potrà valutare assumendo che il calore specifico permanga costante nell'intervallo tra  $T_i$  e  $T_f$

$$Q_v = m c_v (T_i - T_f)$$

08/11/2012

44

Cors	Sostanza	Cp [kJ/(kg K)]	Cv [kJ/(kg K)]	p13
	azoto	1.04	0.74	
	argon	0.53	0.32	
	neon	1.04	0.62	
	Aria	1.005	0.718	
	vapore d'acqua	1.872	1.41	
	acqua liquida	4.23	----	
	alcool etilico	2.84	----	
	petrolio	2.0	----	
	olio	1.8	----	
	acciaio	0.5	----	
	Alluminio	0.9	----	
	rame	0.39	----	
	Piombo	0.128	----	
	Mercurio	0.139	----	
	Calcestruzzo	0.84	----	
	Banana	3.35	----	
	Formaggio	2.15	----	45