

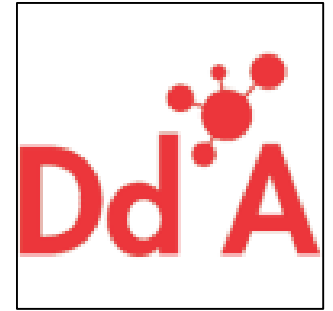


# Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

## Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





# Lezione n. 2

## Grandezze termodinamiche fondamentali



**Termodinamica:** studio delle **trasformazioni** di un **sistema** a seguito di **scambi di energia** (calore e/o lavoro) con altri sistemi o con l'ambiente esterno.

**Sistema Termodinamico:** **porzione di spazio o di materia** separata dal resto dell'universo da una **superficie di contorno**, reale o fittizia, attraverso cui interagisce con l'esterno o con altri sistemi mediante scambi di energia e/o di massa.

Un sistema termodinamico può essere:

**ISOLATO** se non è oggetto di flussi di energia.

**ADIABATICO** se risulta termicamente isolato, ossia non scambia calore con l'ambiente esterno o con altri sistemi.

**OMOGENEO** se la massa in esso contenuta si trova in una sola fase o stato di aggregazione.

**ETEROGENEO** se la massa in esso contenuta si trova in più fasi.

**MONOCOMPONENTE** se costituito da un solo componente.

**PLURICOMPONENTE** se costituito da più componenti.

*Es. **Aria:** sistema a più componenti (ossigeno  $O_2$ , azoto  $N_2$ , vapore acqueo  $H_2O$  ed altri gas in quantità minori), omogeneo*

*Es. **Miscuglio di acqua liquida e ghiaccio:** sistema ad un solo componente eterogeneo.*

**CHIUSO** se non si hanno flussi di massa attraverso la sua superficie di contorno → **massa costante**

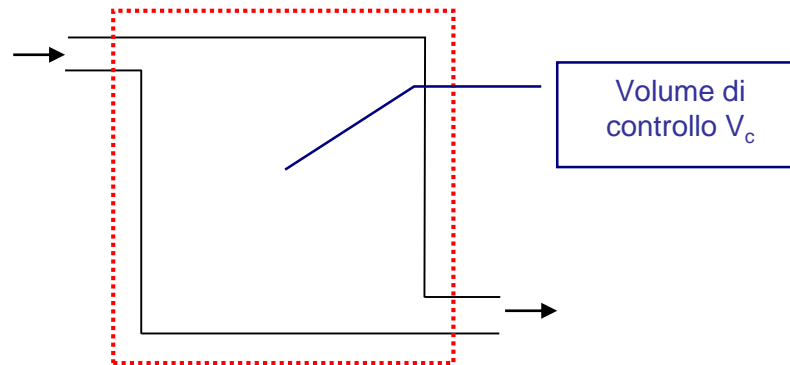
*Es. Bombola di gas ermeticamente chiusa*

**APERTO** se si hanno flussi di massa in entrata e/o in uscita attraverso la sua superficie di contorno → **massa variabile**

*Es. Turbina idraulica attraversata da una portata d'acqua*

Per definire la **massa di un sistema aperto** è necessario stabilire convenzionalmente un **volume di controllo** che lo delimiti, generalmente **compreso tra le sezioni di ingresso e di uscita**.

La **massa del sistema** è quella che **istantaneamente occupa il volume di controllo**.



## Condizioni di equilibrio di un sistema termodinamico

**EQUILIBRIO MECCANICO:** non esiste moto relativo tra le sue parti poiché sussiste una condizione di equilibrio tra le forze ad esso applicate → **PRESSIONE uniforme** in ogni punto del sistema.

**EQUILIBRIO CHIMICO:** non sono in atto reazioni chimiche o fenomeni di diffusione di specie chimiche → **POTENZIALE CHIMICO uniforme** di ciascuna specie presente.

**EQUILIBRIO TERMICO:** non avvengono fenomeni di scambio termico → **TEMPERATURA uniforme** in ogni suo punto.

**EQUILIBRIO TERMODINAMICO:** coesistenza degli stati di **equilibrio meccanico, chimico e termico**.

Di un **sistema in equilibrio termodinamico** si possono definire delle **proprietà esterne ed interne**.

**Proprietà esterne:** coordinate spaziali e/o velocità rispetto ad un sistema di riferimento inerziale → determinano la **posizione spazio-temporale del sistema** → costituiscono le sue **coordinate meccaniche**.

**Proprietà interne:** massa, volume, pressione, temperatura, etc. → costituiscono le **coordinate termodinamiche del sistema**.

Le coordinate meccaniche e quelle termodinamiche consentono di fissare lo **stato del sistema**.

In riferimento ad uno stato si definiscono le **GRANDEZZE di STATO**:

***Proprietà termodinamiche univocamente determinate solo dallo stato del sistema.***

Nel passaggio da uno stato all'altro (**trasformazione**) subiscono **variazioni** dipendenti solo dalle **condizioni iniziali e finali** e non dal particolare percorso seguito.

Sono **funzioni potenziali** e danno luogo, se differenziate, a **differenziali esatti**.

Grandezza di stato	Simbolo	Dimensione	Unità di misura	Differenziale
Temperatura	T	[T]	Kelvin (K)	dT
Pressione	p	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Pascal (Pa)	dp
Volume	V	[L <sup>3</sup> ]	metro cubo (m <sup>3</sup> )	dV
Entalpia	H	[ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> ]	Joule [J]	dH
Energia interna	U	[ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> ]	Joule [J]	dU
Entropia	S	[[ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> ]	Joule/Kelvin [JK <sup>-1</sup> ]	dS

Le grandezze di stato possono essere **INTENSIVE** o **ESTENSIVE**.

**Grandezze intensive:** indipendenti dalla massa (estensione) del sistema.

**Grandezze estensive:** dipendenti dalla massa (estensione) del sistema.

Alle **grandezze estensive** possiamo applicare la **proprietà additiva**:

*Es. Sommando i volumi di due sistemi si ottiene un sistema che ha per volume la somma dei due volumi componenti*

Le **grandezze intensive non godono** della **proprietà additiva**:

*Es. Sommando i volumi di due sistemi con lo stesso valore di temperatura si ottiene un sistema con lo stesso valore di temperatura.*

Ad ogni grandezza **estensiva** corrisponde una **intensiva** ottenibile **dividendo il suo valore per la massa**, cioè introducendo la relativa **grandezza specifica**.

Le **grandezze estensive** si scrivono con la lettera **maiuscola**, quelle **intensive** con la lettera **minuscola**.

Grandezza estensiva	Simbolo	Unità di misura	Grandezza intensiva	Simbolo	Unità di misura
Volume	V	m <sup>3</sup>	Volume specifico = V/M	v	m <sup>3</sup> /kg
Entalpia	H	J	Entalpia specifica = H/M	h	J/kg
Energia interna	U	J	Energia interna specifica = U/M	u	J/kg
Entropia	S	J/K	Entropia specifica = S/M	s	J/kg K

## Densità

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

È l'inverso del volume specifico.

Dipende da **temperatura e pressione**.

In molti **gas** la densità è **proporzionale alla pressione** ed **inversamente proporzionale alla temperatura**.

**Liquidi e solidi** sostanzialmente **incomprimibili** (variazione con la pressione trascurabile).

### ***Esempio:***

*Acqua a 20 °C, 1 atm:  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$*

*Acqua a 20 °C, 100 atm:  $\rho = 1003 \text{ kg/m}^3$                        $\Delta\rho = 0.5\%$ .*

**Sensibilità** della densità **con la temperatura** più marcata.

### ***Esempio:***

*Acqua a 20 °C, 1 atm:  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$*

*Acqua a 75 °C, 1 atm:  $\rho = 975 \text{ kg/m}^3$                        $\Delta\rho = -2,3 \%$ .*



## Regola di Gibbs o delle fasi

Permette di determinare il **numero di variabili intensive indipendenti** di un sistema, determinabili cioè **indipendentemente l'una dall'altra** senza modificare lo stato di aggregazione del sistema e **consentendo di definirlo compiutamente** dal punto di vista termodinamico

$$V = C - F + 2$$

dove:

V: numero di **variabili** intensive indipendenti;

C: numero di **componenti**;

F: numero di **fasi**.

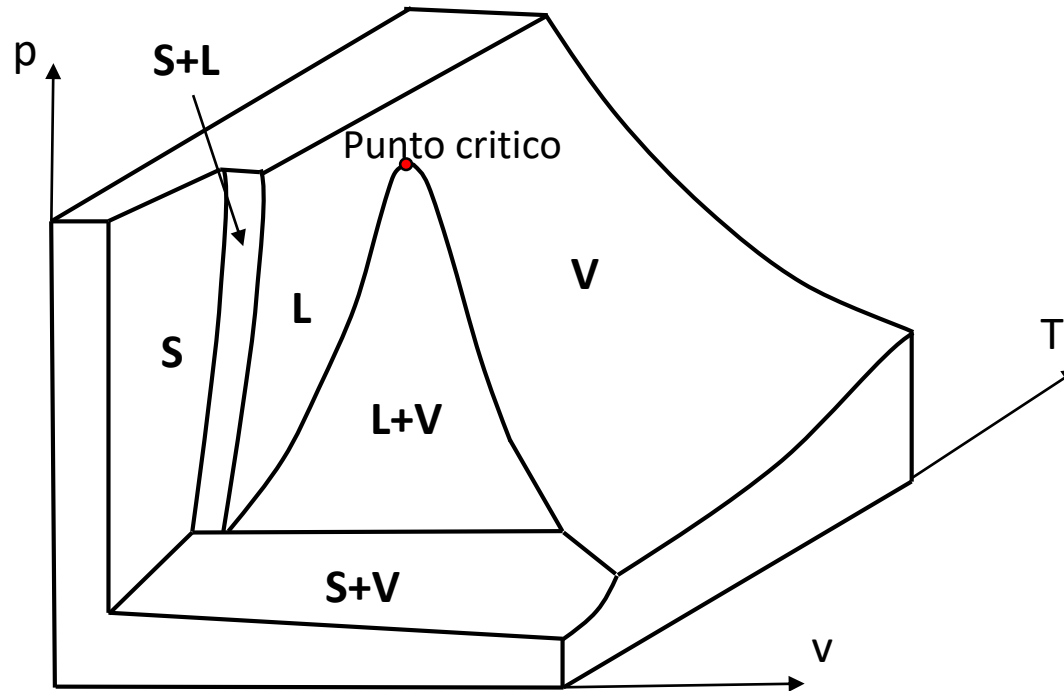
**Esempio 1:** miscuglio acqua liquida-ghiaccio: sistema ad un componente eterogeneo ( $C=1$ ), coesistenza di due fasi ( $F=2$ ),  $V = 1 - 2 + 2 = 1$  sistema **monovariante**: è sufficiente la conoscenza di una sola variabile intensiva per determinare lo stato del sistema.

**Esempio 2:** ossigeno in una bombola: sistema ad un componente omogeneo ( $C=1$ ), con un'unica fase ( $F=1$ ),  $V = 1 - 1 + 2 = 2$  sistema **bivariante**: è necessaria la conoscenza di due variabili intensive per determinare lo stato del sistema.

Tra le **grandezze di stato** di un sistema equilibrio termodinamico esistono delle relazioni o **equazioni di stato**. In relazione ad uno stato permettono di determinare il valore di una dalla conoscenza delle altre.

Le equazioni di stato, possono essere espresse in **forma grafica**, nei cosiddetti **diagrammi di stato**, utili per studiare le **trasformazioni** che subiscono i sistemi e per fare considerazioni sui **passaggi di stato: solido-liquido, liquido-vapore, solido-vapore e viceversa**.

*Es. **Diagramma p-v-T** rappresenta, nello spazio a tre dimensioni, il luogo dei punti che individuano i **vari stati di aggregazione** del sistema in funzione delle variabili di stato.*



**Grandezze di scambio:** non possono essere definite in corrispondenza di uno stato termodinamico, ma solo **all'interno di una trasformazione**.

Si definisce **trasformazione** ogni *modificazione dello stato termodinamico di un sistema che comporti la variazione del valore assunto da almeno una delle grandezze di stato* che lo caratterizzano rispetto alla condizione iniziale.

Le **grandezze di scambio** esprimono la **quantità di energia meccanica** (lavoro) o **termica** (calore) che, scambiate dal sistema con l'ambiente esterno o con un altro sistema, **consentono lo svolgersi di una trasformazione**.

**Esempio:**

Gas contenuto in un recipiente a pareti rigidamente fissate

**Q:** quantità di calore fornita al gas

La pressione e la temperatura variano mentre il volume rimane costante.

**Stato iniziale 1:**

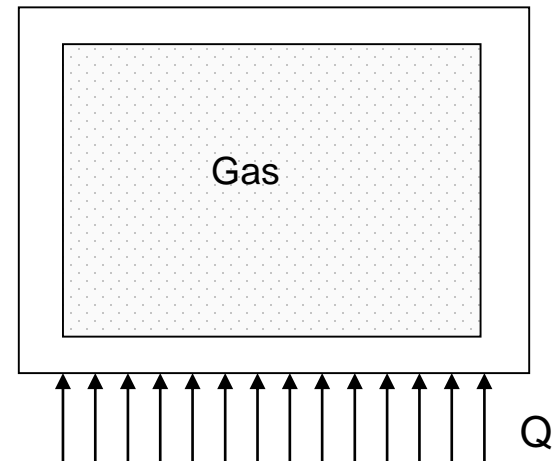
$$P_1, T_1, V_1$$

**Stato finale 2:**

$$P_2, T_2, V_2$$

$$P_2 > P_1 \quad T_2 > T_1 \quad V_2 = V_1$$

**Trasformazione 1→2 ISOCORA (volume costante)**



## CONVENZIONE INTERNAZIONALE DEI SEGNI

**Grandezze di scambio** caratterizzate da un **segno** che indica il verso in cui la **quantità** in oggetto viene **scambiata**.

**Calore ceduto** dal sistema all'esterno (**uscente**): **NEGATIVO**

**Calore ricevuto** dal sistema da una sorgente esterna (**entrante**): **POSITIVO**.

**Lavoro ceduto** dal sistema all'esterno (**uscente**): **POSITIVO**

**Lavoro subito** dal sistema da un agente esterno (**entrante**): **NEGATIVO**

### *Esempio:*

**Espansione** di un gas all'interno di un sistema cilindro-pistone dovuta all'apporto di calore ricevuto da una sorgente esterna: **calore positivo e lavoro positivo**.

**Compressione** di un gas all'interno di un sistema cilindro-pistone ad opera di una forza esterna con contemporanea cessione di calore all'esterno: **lavoro negativo, calore negativo** .