# *Appunti delle lezioni di Termofluidodinamica e macchine (L. Ferrari)*

Filippo F.

# 1. Richiami di Termodinamica Applicata:

- **Termodinamica**: È la branca della fisica che descrive le trasformazioni subite da un sistema in seguito ad un processo di scambio di energia con gli altri sistemi o con l'ambiente esterno.

Essa si occupa di studio dei sistemi termodinamici in stati di equilibrio termodinamico; dove per stato di equilibrio si intende quando un sistema non è soggetto ad alcun cambiamento quando esso è isolato dall'ambiente.

La termodinamica classica si basa sul concetto di *"sistema termodinamico macroscopico"*, ovvero una porzione di materia fisicamente o concettualmente separata dall'ambiente esterno, che spesso per comodità si assume non perturbato dallo scambio di energia con il sistema.

Sistema termodinamico: Luogo in cui avviene la trasformazione termodinamica.
Ambiente: Tutto ciò che è fuori dal sistema termodinamico.
Superficie Limite: Separa l'ambiente dal sistema termodinamico.

Si distinguono:

- *Sistemi Isolati*: Non c'è scambio né di massa né di energia tra il sistema e l'ambiente esterno.
- *Sistemi chiusi*: C'è scambio di energia ma non di materia tra il sistema e l'ambiente esterno.
- *Sistemi aperti*: C'è scambio di energia e di materia tra il sistema e l'ambiente esterno.

*Stato Termodinamico*: Particolare condizione di un sistema termodinamico rappresentata da un insieme di valori detti "variabili o funzioni di stato". Uno stato di un sistema termodinamico è determinato da due proprietà intensive e indipendenti.

Due proprietà sono indipendenti se una di esse può mutare mantenendo l'altra costante.
Si distinguono grandezze di stato:

- *Intensive*: Grandezze che non dipendono dalla massa del sistema e non si possono sommare; ad esempio, la Temperatura.
- *Estensive*: Grandezze che dipendono dalla massa del sistema e si possono sommare; ad esempio, massa, volume ed energia interna.

- *Temperatura*: Misura dell'agitazione dell'energia termica delle particelle che la compongono.
- *Pressione*: Grandezza fisica definita come il rapporto tra la forza agente normalmente alla superficie e la superficie stessa.
- *Volume*: Spazio occupato dal sistema termodinamico.
- *Calore*: Forma di energia termica. Un trasferimento di calore implica una variazione di temperatura del sistema. In quanto energia l'unità di misura del sistema internazionale è [J]. Molto spesso però, viene associato alla caloria, ossia la quantità di calore necessaria per far innalzare di 1°C, un grammo di acqua da 14.5°C a 15.5° a pressione atmosferica sul livello del mare. (1 cal = 4.186 J).

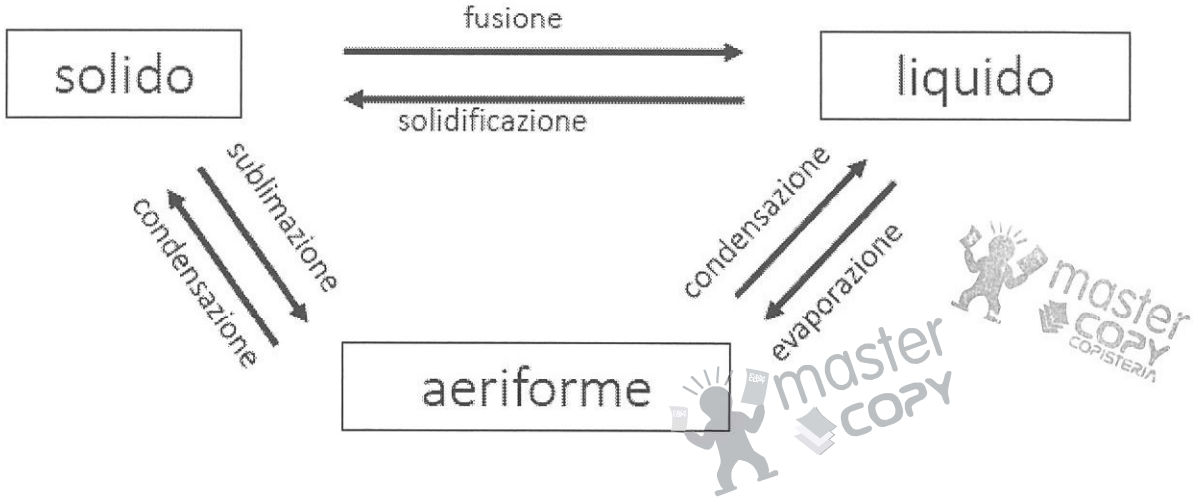
Lo scambio di calore può avvenire in tre modi:

- *Conduzione*: In uno stesso corpo o tra due corpi a contatto si ha una trasmissione, per urti, di energia cinetica tra le molecole appartenenti a zone limitrofe del materiale.
- *Convezione*: In un fluido in movimento, porzioni di fluido possono scaldarsi o raffreddarsi per conduzione a contatto con le superfici esterne del sistema. (Convezione naturale: Correnti di fluido dovute alla diversità di temperatura e di densità. Convezione forzata: Moto del fluido imposto dall'esterno.)
- *Irraggiamento*: Trasmissione di calore tra due corpi non a contatto attraverso l'emissione, propagazione e assorbimento di onde elettromagnetiche.

- Lavoro: Prodotto scalare tra forza per uno spostamento.
- Energia: Capacità di un sistema di compiere lavoro.

Le variabili di stato sono "differenziabili". In generale la variabile di stato è una grandezza la cui variazione dipende solamente dal valore all'istante finale e iniziale ed è indipendente dal percorso effettuato. Quindi la circuitazione lungo una curva chiusa è nulla.

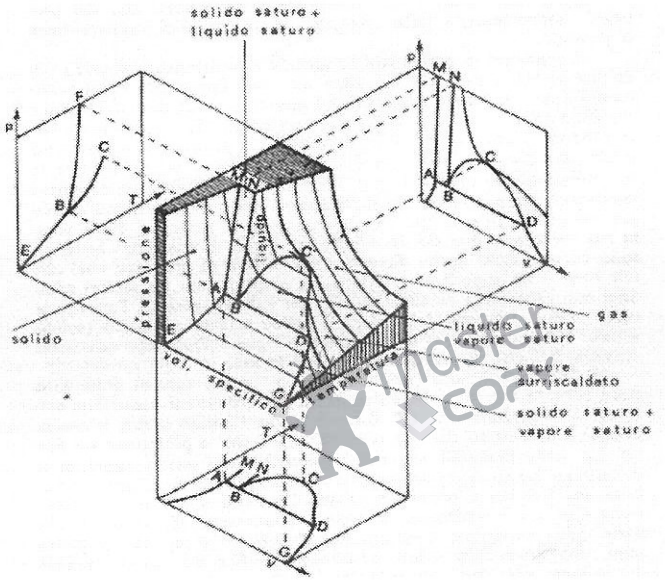
- **Stato di aggregazione della materia**: Classificazione degli stati che può assumere la materia a seconda delle proprietà meccaniche che manifesta. In ogni stato è presente una struttura molecolare omogenea nella materia, distinta e separata dalle altre fasi attraverso superfici al contorno facilmente identificabili.




*Fase solida*: Caratterizzata da forma e volume propri con forze intermolecolari forti. Presenza del reticolo cristallino che fissa le molecole all'interno del solido.
*Fase liquida*: Caratterizzata da volume proprio e forma variabile con forze intermolecolari minori della fase solida. Fluido incomprimibile.
*Fase aeriforme*: Caratterizzata da forma e volume variabile con forze intermolecolari deboli. Forma e volume imposte dal contenitore. Fluido comprimibile.

Molto spesso due stati di aggregazione possono coesistere in equilibrio in una sostanza.

*Transizione di fase*: Passaggio da un equilibrio termodinamico all'altro.



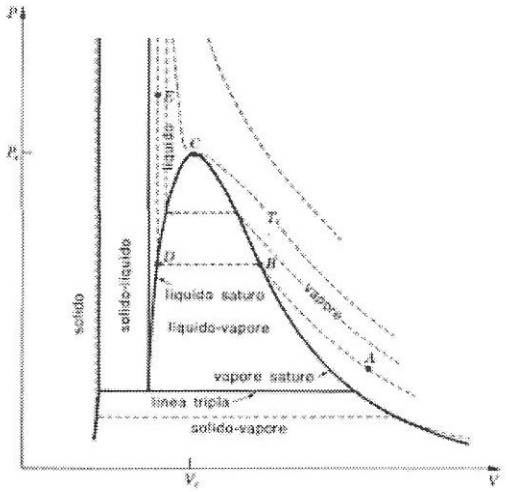

➢ *Diagramma collinare:*

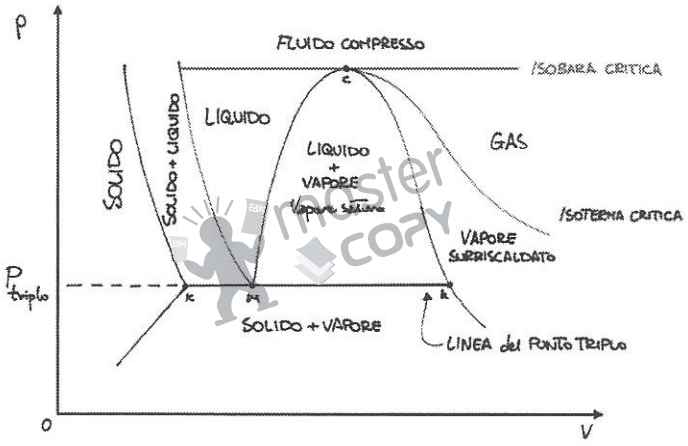
Da questo diagramma tridimensionale si ricavano altri diagrammi sui relativi piano termodinamici:

*Diagramma di Andrews* (Piano P-v)
*Diagramma di fase di Regnault* (Piano P-T)

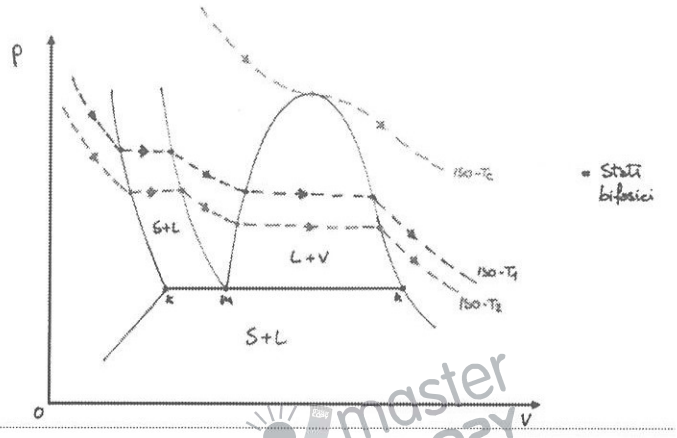
- *Liquido Sottoraffreddato*: Fluido che si trova nella fase liquida che non è in procinto di evaporare (es. acqua a temperatura e pressione ambiente) (1)
- *Liquido saturo*: Fluido che inizia il cambiamento liquido - vapore (vaporizzazione).
- *Miscela liquido - vapore*: Fase in cui coesistono liquido e vapore (Miscela bifase)
- *Vapore saturo*: Fase in cui ad una sottrazione di calore corrisponde l'inizio della trasformazione vapore - liquido (condensazione).
- *Vapore surriscaldato*: Fase vapore in cui esso non è in procinto di condensare.

- *Diagramma di Andrews (Piano P - v):*



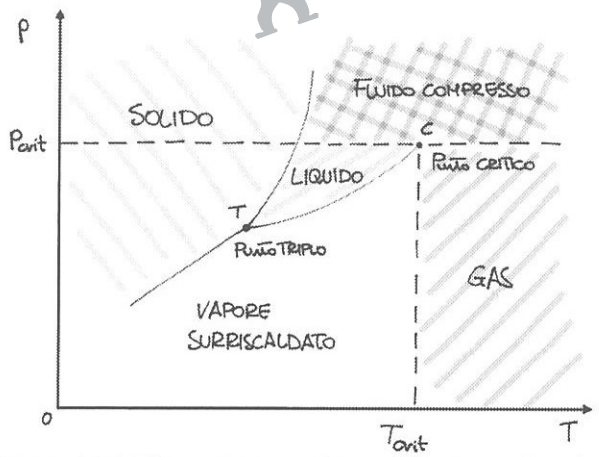

C = Punto critico
Cm = Curva limite inferiore (Liquido saturo)
Cn = Curva limite superiore (Vapore saturo)




kmn = Linea del punto triplo insieme di tutti gli stati trifasici.

N.B. Nelle zone di transizione di fase le isoterme diventano isotermobariche.

- *Diagramma di fase di Regnault (Piano P - T):*




Nel diagramma di evidenziano le curve di saturazione:

- AT = *Linea di sublimazione o brinamento* (a seconda del verso)
- BT = *Linea di fusione o solidificazione*
- CT = *Linea di evaporazione o condensazione.*

Punto triplo: Punto dove le tre fasi coesistono in equilibrio.
Punto critico: Punto oltre il quale non si osserva più la transizione di fase tra stato liquido e stato gassoso.

***Fluido compresso:*** Stati al di sopra della isobara critica.
*Gas:* Specie chimica al di sopra della temperatura critica (non si liquefa per compressione)
***Vapore:*** Specie chimica al di sotto della temperatura critica (si liquefa per compressione) e della pressione critica.

- **REGOLA DELLE FASI DI GIBBS:** $\rightarrow V = C - F + 2$

V = Numero delle variabili che possono subire variazioni senza alterare il numero e il tipo delle fasi presenti in un sistema eterogeneo. Variabili termodinamicamente indipendenti)
C = Componenti chimiche indipendenti
F = Numero delle fasi presenti

Nel caso dei grafici precedenti:
F = 1 (Monofase) e C = 1 → V = 2 Bivariabile. Ossia lo stato è unicamente determinato dalla conoscenza di una qualsiasi coppia di coordinate (p, v, T).
F = 2 (Bifase) e C = 1 → V = 1 Monovariabile. Nelle miscele bifasiche T e p sono dipendenti, stato determinato dalla conoscenza di tutte le coordinate (p, v, T).
F = 3 (Trifase) e C = 1 → V = 0. Lo stato è univocamente determinato dalla pressione tripla e dalla temperatura tripla.