



Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





Lezione n. 5

I Principio della TERMODINAMICA



Regime permanente e regime transitorio

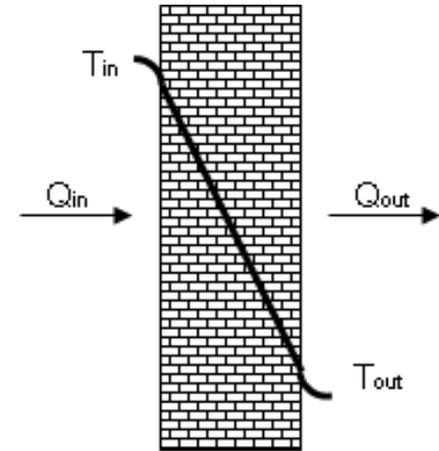
Regime **permanente o stazionario**:

grandezze che influenzano il fenomeno **costanti nel tempo**.

Esempio:

Parete sottoposta ad una **differenza di temperatura** attraversata da un flusso termico ad essa proporzionale.

Calore entrante = calore uscente \Rightarrow andamento termico all'interno della parete costante nel tempo.

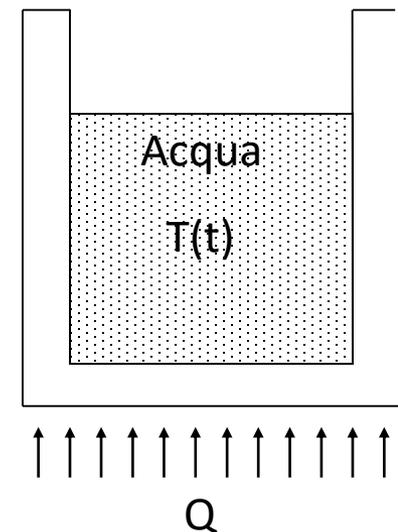


Regime **transitorio o variabile o dinamico**:

grandezze che influenzano il fenomeno **variabili nel tempo**.

Esempio:

Fornitura di calore sensibile Q all'acqua contenuta in un contenitore la sua **temperatura aumenta**.



Capacità termica: quantità di calore scambiata da un sistema durante una trasformazione per **unità di variazione di temperatura (grandezza estensiva)**.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad [\text{J/K}]$$

Poiché in un processo di scambio termico la **temperatura** di un corpo varia in modo non regolare, la capacità termica va definita con riferimento alle **grandezze infinitesime**:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad [\text{J/K}]$$

Caratterizza il sistema in **regime transitorio**, esprime la sua **inerzia termica**

Calore specifico (grandezza intensiva): quantità di calore necessaria all'unità di massa del sistema farle subire una variazione unitaria di temperatura.

$$c = \frac{dQ}{M \cdot dT} \quad [\text{J/kg K}]$$

Corrispondente specifico della capacità termica $c = \frac{C}{M}$

Più **valori del calore specifico** in funzione del tipo di **trasformazione** seguita.

Processo termodinamico o trasformazione:

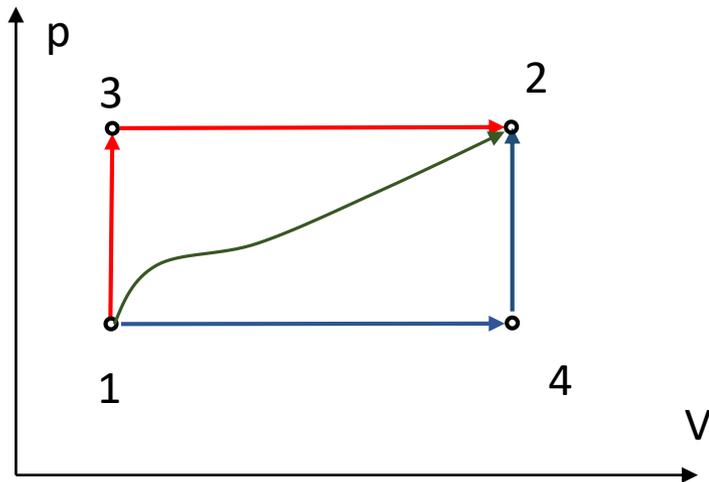
Passaggio da uno **stato termodinamico iniziale** ad uno **finale** causato da uno **scambio di calore e/o lavoro**.

Quantità di **energia scambiata** \leftrightarrow **variazione delle grandezze di stato** dallo stato iniziale a quello finale.

I principio della Termodinamica o Principio di **conservazione dell'energia**: all'interno di una **trasformazione** le quantità di **energia** che sono messe in gioco **devono** complessivamente **conservarsi**.

Diagramma pressione Volume p-V o di *Clapeyron*

La **trasformazione 1-2** può svolgersi secondo **diversi percorsi**, ad esempio passando attraverso **punti intermedi**, come il 3 ed il 4, o **direttamente**.



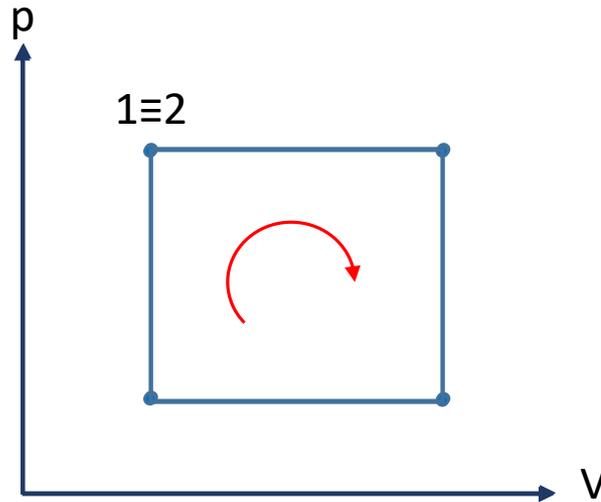
Il **tipo di percorso** dipende dalle **diverse quantità** di calore e/o lavoro scambiate.

Qualunque sia il percorso seguito, i valori di **p** e di **V** e di **tutte le grandezze di stato**, **variano allo stesso modo**:

$$\text{Pressione: } \Delta p = p_2 - p_1$$

$$\text{Volume: } \Delta V = V_2 - V_1$$

Trasformazione ciclica ($1 \equiv 2$) le **grandezze di stato non variano** (stato iniziale e finale coincidono), mentre **lavoro e calore** complessivamente scambiati risultano **diversi da zero**.



$$\oint dL \neq 0 \quad \oint dQ \neq 0$$

Da osservazioni sperimentali:

$$\oint dQ = \oint dL \Rightarrow \oint d(Q - L) = 0$$

In una trasformazione ciclica, la **somma algebrica** di tutte le quantità di **calore** scambiate è **uguale** alla **somma algebrica** di tutte le quantità di **lavoro** scambiate.

d(Q-L) è un **differenziale esatto** \Rightarrow esiste una **funzione potenziale E** (grandezza di stato con le dimensioni di una energia) che costituisce la sua **primitiva**.

In una trasformazione finita 1-2:

$$dQ - dL = dE \Rightarrow \int_1^2 d(Q - L) = E_2 - E_1$$

dQ e dL : **quantità di calore e di lavoro** infinitamente piccole.

d(Q-L): **differenziale esatto** la cui **primitiva** è una **grandezza di stato**.

Il **I Principio** della Termodinamica **afferma** che, mentre **calore e lavoro** scambiati lungo una trasformazione sono diversi tra loro e **dipendono** strettamente **dalla trasformazione** seguita, **la loro differenza** equivale alla **variazione di una grandezza di stato**, che **non dipende dalla trasformazione** ma **solo dai suoi punti iniziale e finale**.

E: somma algebrica di due forme di energia \rightarrow **grandezza energetica** che caratterizza il sistema: **energia totale**, somma dell'**energia interna** e delle energie **cinetica e potenziale** a livello macroscopico.

$$dE = dE_c + dE_p + dU \Rightarrow dQ - dL = dE_c + dE_p + dU$$

E_c : energia cinetica del sistema;

E_p : energia potenziale del sistema;

U : energia interna del sistema.

Nelle trasformazioni termodinamiche si hanno **variazioni di energia cinetica e potenziale trascurabili** rispetto alla variazione di energia interna:

$$dU = dQ - dL \qquad du = dq - dl$$

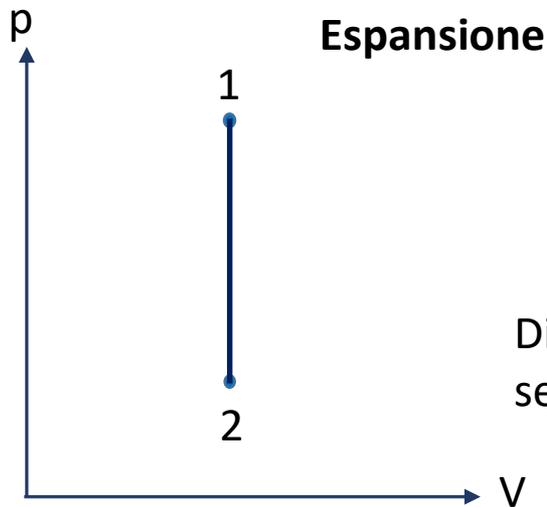
In forma finita:

$$\int_1^2 d(Q - L) = U_2 - U_1 \Rightarrow \Delta Q - \Delta L = \Delta U$$
$$\int_1^2 d(q - l) = u_2 - u_1 \Rightarrow \Delta q - \Delta l = \Delta u$$

Relazioni di **validità generale**: non dipendono dal tipo di sistema, **chiuso o aperto**.

Applicazioni del I principio a trasformazioni notevoli

Trasformazione ISOCORA reversibile ($V = \text{costante}$)

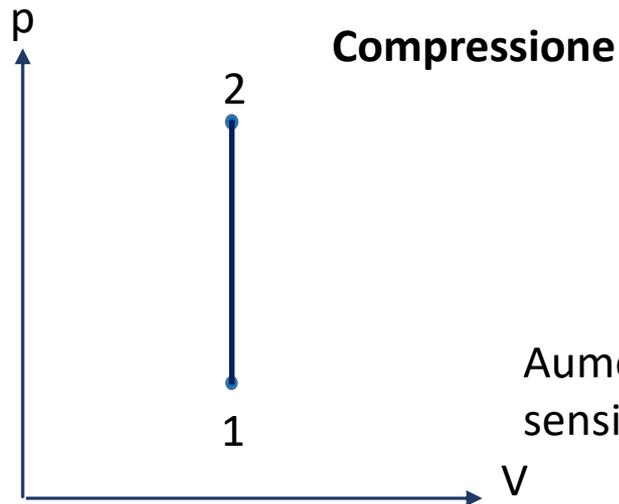


$$dQ = dU + dL$$

$$dL = 0 \Rightarrow dQ = dU \Rightarrow Q_{1,2} = U_2 - U_1$$

$$Q_{1,2} < 0 \Rightarrow U_2 < U_1$$

Diminuzione di energia interna \rightarrow diminuzione di temperatura se Q sensibile, cambiamento di stato se Q latente



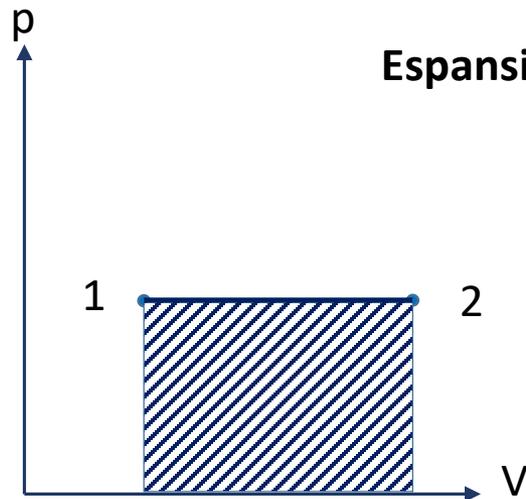
$$dQ = dU + dL$$

$$dL = 0 \Rightarrow dQ = dU \Rightarrow Q_{1,2} = U_2 - U_1$$

$$Q_{1,2} > 0 \Rightarrow U_2 > U_1$$

Aumento di energia interna \rightarrow aumento di temperatura se Q sensibile, cambiamento di stato se Q latente

Trasformazione ISOBARA reversibile ($p = \text{costante}$)



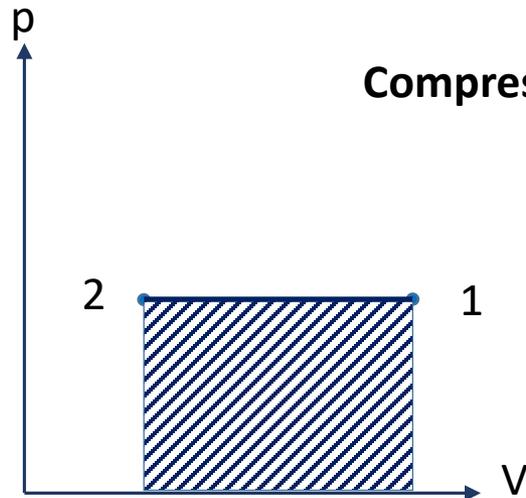
Espansione

$$dQ = dU + dL$$

$$L_{1,2} = p \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow Q_{1,2} = U_2 - U_1 + p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$Q_{1,2} > 0$$

Aumento di energia interna \rightarrow aumento di temperatura se Q sensibile, cambiamento di stato se Q latente
+ Lavoro positivo (ceduto all'esterno)



Compressione

$$dQ = dU + dL$$

$$L_{1,2} = p \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow Q_{1,2} = U_2 - U_1 + p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$Q_{1,2} < 0$$

Diminuzione di energia interna \rightarrow diminuzione di temperatura se Q sensibile, cambiamento di stato se Q latente
+ Lavoro negativo (subito dall'esterno)

Entalpia

La trasformazione **isobara reversibile** ci permette di introdurre la grandezza energetica **entalpia**

$$H = U + pV$$

Grandezza **somma di due forme di energia**. Si misura in J $[p \cdot V] = \frac{N}{m^2} \cdot m^3 = N \cdot m = J$

Entalpia specifica $h = \frac{H}{M} = u + pv$ [J/kg]

Trasformazione ISOBARA reversibile

$$Q_{1,2} = U_2 - U_1 + p \cdot (V_2 - V_1) = H_2 - H_1$$

$$q_{1,2} = u_2 - u_1 + p \cdot (v_2 - v_1) = h_2 - h_1$$

In una **isobara reversibile** il **calore** scambiato equivale alla variazione di **entalpia** del sistema. Il calore va **in parte** a modificare il contenuto di **energia interna** del sistema (di temperatura se sensibile), ed **in parte** si traduce in **lavoro meccanico** di espansione/compressione.

L'**entalpia** caratterizza il sistema dal punto di vista del suo **contenuto** sia di **energia termica** che **meccanica**. Un sistema ad **elevato contenuto entalpico** ha la capacità sia di **fornire calore** che di **produrre energia meccanica**.