



Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





Lezione n. 3

Trasformazioni reversibili e irreversibili

Definizione di lavoro

Trasformazioni reversibili notevoli



Trasformazioni irreversibili

Caratteristiche delle **trasformazioni reali**:

- Causate da uno **squilibrio iniziale** di una **grandezza potenziale**;
- **Verso unico** della trasformazione determinato da tale squilibrio, che tende a diminuire fino ad annullarsi rendendo **impossibile** il **fenomeno inverso** senza un intervento dall'esterno (utilizzo di un'altra forma di energia non appartenente al sistema).
- Caratterizzate sempre da **fenomeni dissipativi**.

***Esempio 1:** corrente elettrica che attraversa un circuito messa in moto da una tensione (differenza di potenziale elettrico) caratterizzata lungo il circuito da fenomeni dissipativi (trasformazione di energia elettrica in calore per effetto Joule);*

***Esempio 2:** salto di quota di una portata d'acqua in una centrale idroelettrica trasformando in energia meccanica la differenza di energia potenziale gravitazionale e dissipando lungo il percorso parte dell'energia a disposizione a causa di fenomeni di attrito.*

Trasformazioni REALI → IRREVERSIBILI

Possono avvenire **solo in un verso** (determinato dallo squilibrio iniziale della grandezza potenziale) e **non possono** verificarsi spontaneamente **in senso opposto**.

Trasformazioni reversibili

Per descrivere i processi termodinamici si fa ricorso ad un **modello ideale** di trasformazione: la **trasformazione REVERSIBILE**.

Caratteristiche delle **trasformazioni reversibili**:

- **Entrambi i versi** della trasformazione (diretto ed inverso) **possibili** impiegando **esattamente la stessa quantità di energia**;
- Processo **diretto e inverso** non lasciano traccia nell'universo circostante (possono avvenire indifferentemente in un verso o nell'altro senza alcun apporto dall'esterno)
- Non sono caratterizzate da **fenomeni dissipativi**.

Esempio:

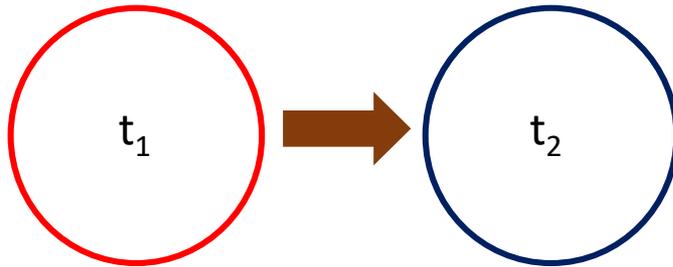
*Fenomeno di scambio termico tra due sistemi: passaggio **spontaneo** di calore **dal corpo più caldo a quello più freddo**. Fenomeno **inverso** impossibile naturalmente.*

*Facendo **diminuire la differenza di temperatura** tra i due sistemi il trasferimento di calore tende a non avere più un verso di svolgimento obbligato.*

*Facendo **tendere a zero tale differenza** non è più univocamente determinato il verso della trasformazione. Il calore può trasferirsi **indifferentemente in entrambi i versi**.*

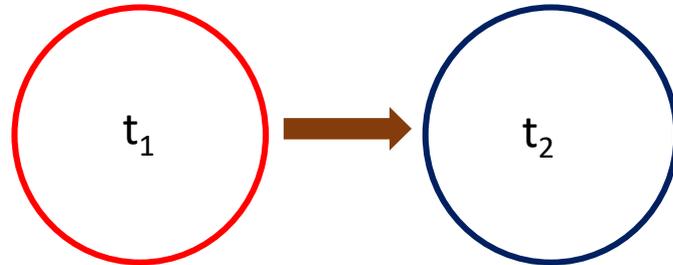
Viene a mancare la causa della trasformazione: lo squilibrio termico tra i due corpi.

*Si raggiunge la **condizione per la reversibilità**, ma il fenomeno reale non può più avere luogo. Si tratta dunque di un **fenomeno ideale e non reale**.*



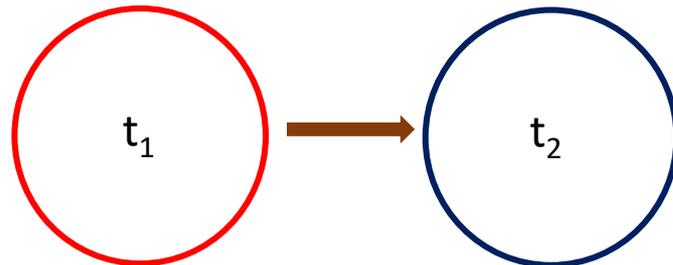
$$t_1 = 13 \text{ } ^\circ\text{C}; t_2 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Trasformazione irreversibile



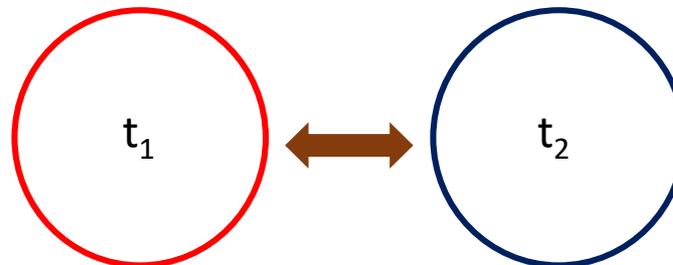
$$t_1 = 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}; t_2 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Trasformazione irreversibile



$$t_1 = 12,1 \text{ } ^\circ\text{C}; t_2 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Trasformazione irreversibile



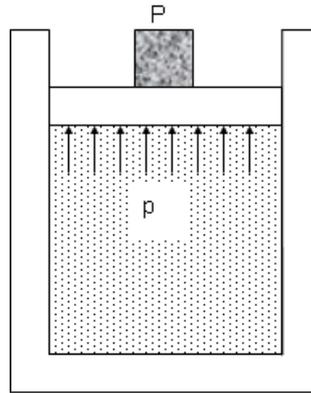
$$t_1 = 12,01 \text{ } ^\circ\text{C}; t_2 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Trasformazione reversibile

Lavoro di compressione/espansione di un sistema chiuso

Nel sistema chiuso **cilindro-pistone** la massa di gas in esso contenuta può scambiare con l'esterno **lavoro di espansione (uscente)** o di **compressione (entrante)** grazie al movimento del pistone.

***Hp:** Attrito tra cilindro e pistone, tra i vari strati di fluido e tra fluido e pareti del cilindro trascurabile.*



In condizioni di **equilibrio**: **pressione p** esercitata dal gas sulla superficie interna del pistone equivalente all'azione esercitata sul lato esterno dello stesso dalla **forza peso P**.

$$P = A \cdot p$$

A: area di contatto tra gas e pistone

Ad ogni ΔP corrisponde uno spostamento del pistone \rightarrow **lavoro scambiato** dal sistema con l'esterno.

Processo reale

Rimozione improvvisa del peso $P \rightarrow$ movimento del pistone verso l'alto.

All'interno della massa di gas: **moti turbolenti** delle particelle costituenti \rightarrow **disuniformità spaziale** di pressione e temperatura \rightarrow **impossibile** caratterizzare il sistema con un **unico valore di pressione p** .

Processo ideale

Rimozione lenta e graduale del peso P per sottrazioni infinitesime (dP) \rightarrow in ogni istante **condizioni molto prossime all'equilibrio** e **uniformità spaziale** delle proprietà termodinamiche \rightarrow sistema caratterizzabile in ogni istante con un **unico valore della pressione p** \rightarrow **Processo quasistatico**.

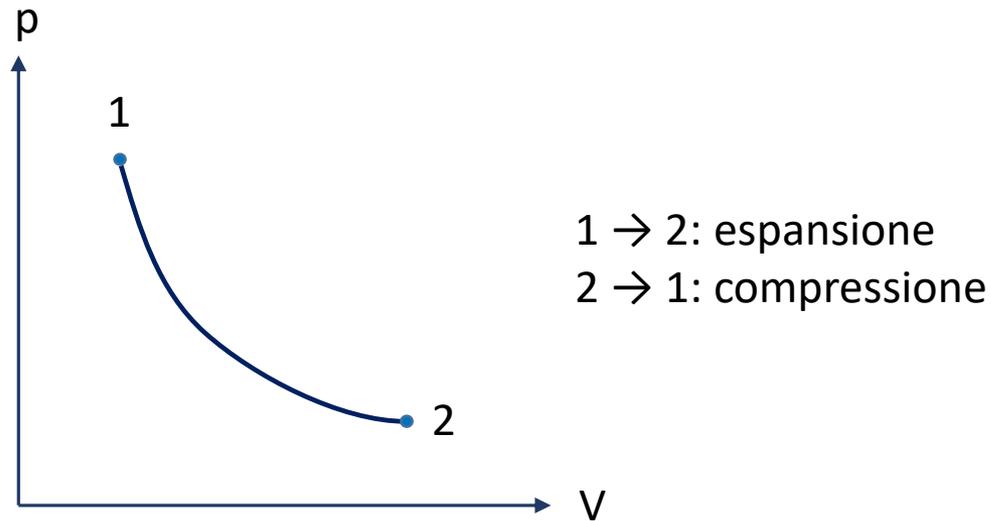
Processo quasistatico

Un processo passante attraverso **infiniti stati di equilibrio** successivi ed **infinitamente vicini** tra loro si dice **QUASISTATICO**.

Processo quasistatico **rappresentabile in un diagramma termodinamico p - V** (espansione o compressione).

Processo reversibile

Un **processo quasistatico** in cui siano totalmente **assenti fenomeni dissipativi** si dice **REVERSIBILE**.



Per ogni **tratto infinitesimo** di espansione o compressione **dx** il sistema compie un **lavoro dL**. Tale lavoro è sempre esprimibile in funzione delle forze esterne:

$$dL = P \cdot dx = p_{est} \cdot A \cdot dx$$

$$A \cdot dx = dV \Rightarrow dL = p_{est} \cdot dV$$

Processo **reversibile** (quasistatico senza attrito):

$$p_{est} = p \Rightarrow dL = p \cdot dV$$

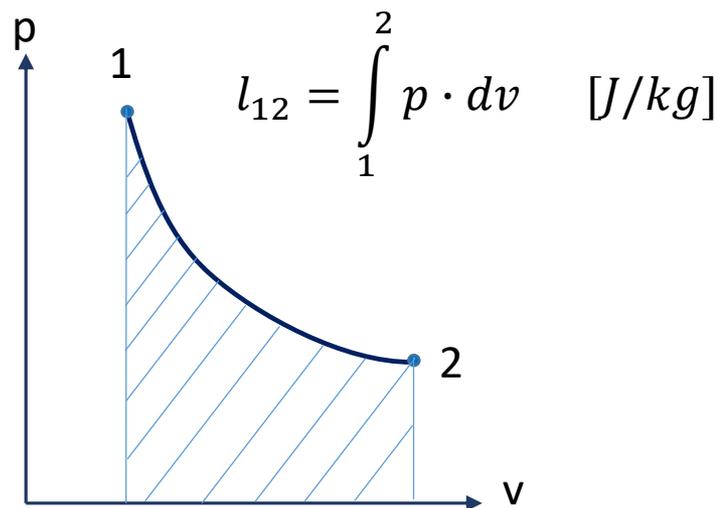
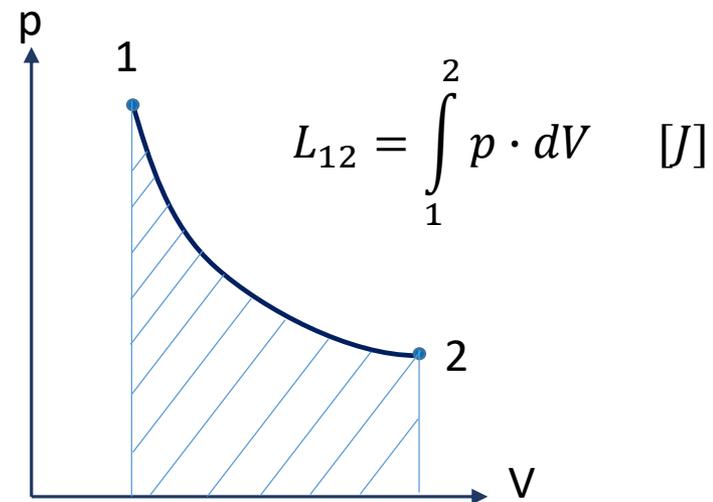
M: massa di gas contenuta nel cilindro
v: volume specifico del gas

$$dL = p \cdot dV = p \cdot M \cdot dv$$

Lavoro infinitesimo specifico (per unità di massa)

$$dl = p \cdot dv$$

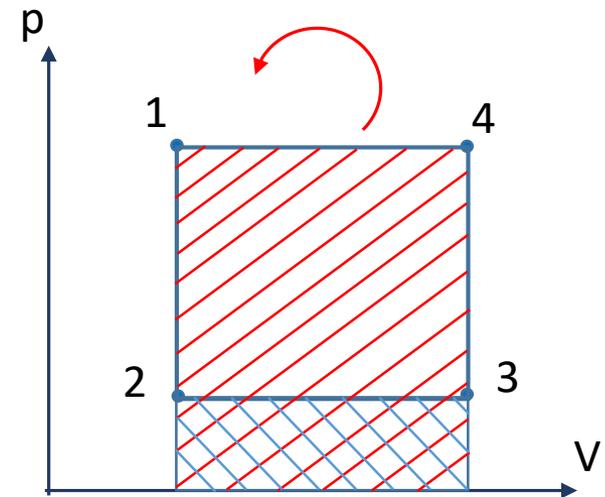
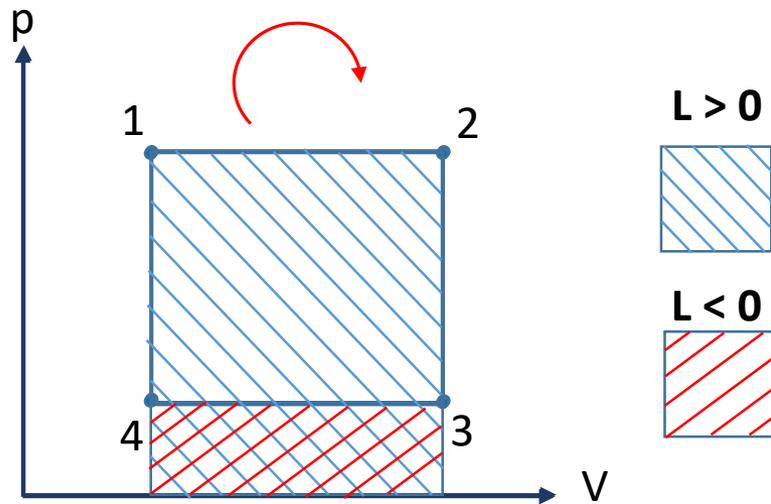
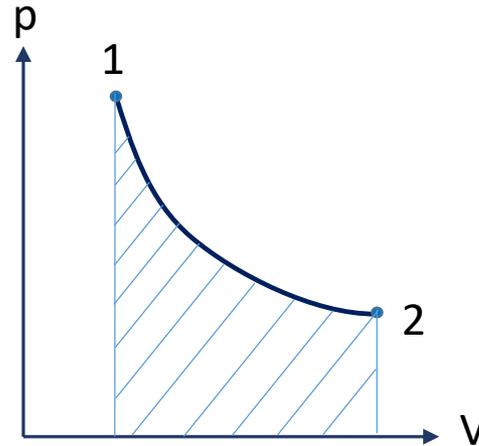
Trasformazione finita reversibile 12:



Lavoro e **lavoro specifico** rappresentati dall'**area sottesa** dalla curva della trasformazione sul verso positivo dell'asse delle ascisse, rispettivamente, **nei diagrammi p-V e p-v.**

1-2: **Espansione** (aumento di volume e diminuzione di pressione) $\Rightarrow L > 0$

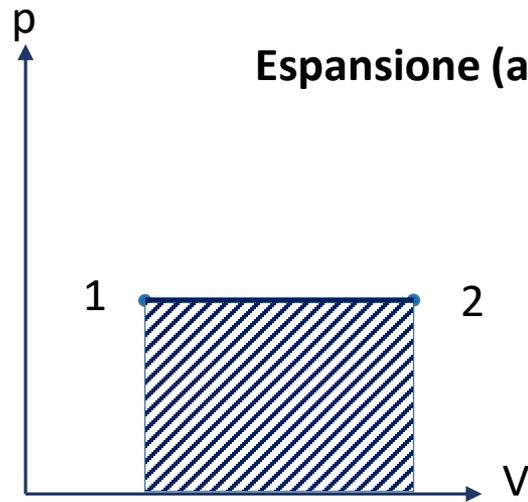
2-1: **Compressione** (diminuzione di volume e aumento di pressione) $\Rightarrow L < 0$



Trasformazione ciclica in **senso orario** $\Rightarrow L > 0$

Trasformazione ciclica in **senso antiorario** $\Rightarrow L < 0$

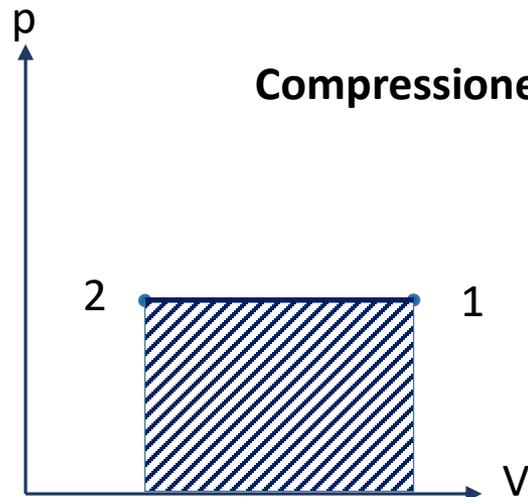
Trasformazione ISOBARA reversibile ($p = \text{costante}$)



$$p = \text{costante}$$

$$L_{12} = \int_1^2 p \cdot dV = p \cdot \int_1^2 dV = p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$V_2 > V_1 \Rightarrow L_{12} > 0$$



$$p = \text{costante}$$

$$L_{12} = \int_1^2 p \cdot dV = p \cdot \int_{12}^2 dV = p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$V_2 < V_1 \Rightarrow L_{12} < 0$$

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

