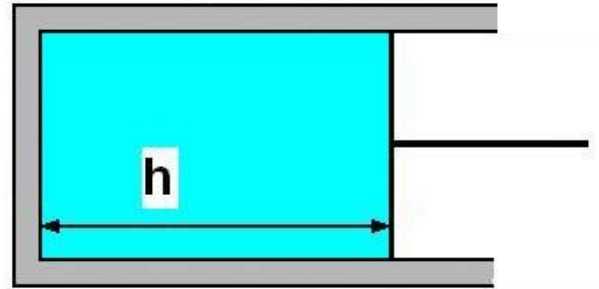


Lavoro nelle trasformazioni quasi statiche

Consideriamo un fluido contenuto in cilindro chiuso da un pistone scorrevole, di area A e distante h dalla base:
in uno spostamento infinitesimo quasi statico del pistone dh il lavoro compiuto dalle forze di pressione del fluido agenti sul pistone è dato da:



$$\delta L = pA dh = p dV \quad (1)$$

$\delta L > 0$ espansione

$\delta L < 0$ compressione

La (1) ha validità generale per le trasformazioni quasi statiche

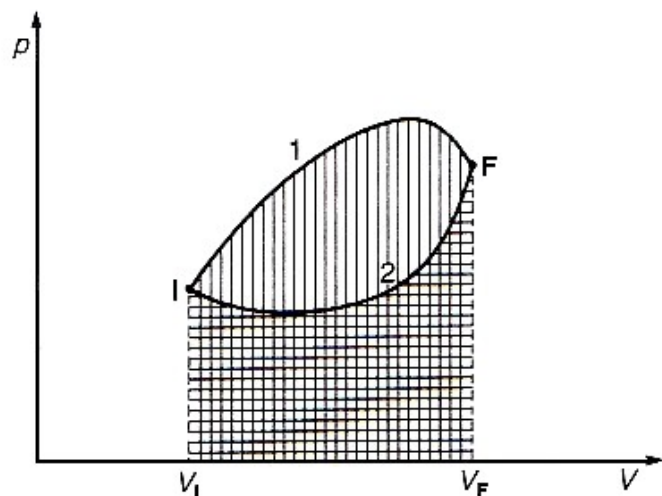
Per una trasformazione finita da stato iniziale I a stato finale F

$$L = \int_{V_I}^{V_F} p dV \quad \text{essendo } p > 0 \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} \text{se } V_F > V_I, L > 0 \\ \text{se } V_F < V_I, L < 0 \end{array}$$

Diagramma di Clapeyron

L = area del trapezoide delimitato dalla curva che descrive la trasformazione e l'asse delle ascisse V .

Per una trasformazione ciclica:
 L = area racchiusa dalla curva che rappresenta il ciclo



L dipende quindi in generale dalla particolare trasformazione effettuata (e quindi non è una funzione di stato!)

Forze conservative e dissipative

Per un Sistema meccanico

Teorema delle forze vive

$$d(K + V^{(i)}) - \delta L^{(i,nc)} = \delta L^{(e)}$$

Se le forze interne sono **SOLO** conservative $\rightarrow \delta L^{(i,nc)} = 0$

Se anche

$\delta L^{(e)} = 0$ (sistema isolato) $\rightarrow K + V^{(i)} = U$ si conserva

U energia meccanica interna del sistema

Se invece

$\delta L^{(e)} \neq 0$ ma forze esterne conservative
conservazione energia meccanica

Lavoro ambiente \rightarrow sistema $L^{(e)} = U(F) - U(I)$

Si definisce:

Lavoro sistema \rightarrow ambiente $L = U(I) - U(F)$

In questo caso le variazioni dell'energia meccanica interna dipendono solo dagli stati I e F e non dal percorso effettuato

Se invece

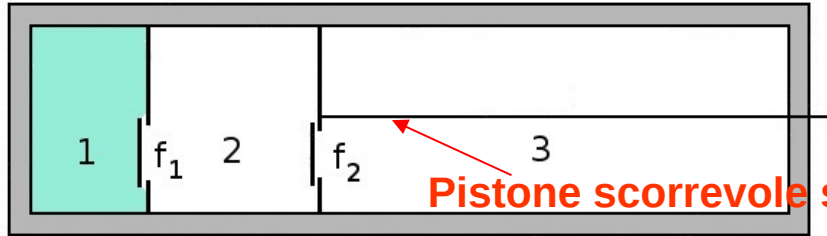
$\delta L^{(e)} \neq 0$ ma ci sono anche forze esterne non conservative: energia meccanica non si conserva, **diminuisce** \rightarrow dissipazione correlata a variazioni di temperatura \rightarrow necessità di indagine dal punto di vista termodinamico

In genere il lavoro L compiuto da o su un sistema termodinamico che passa da stato I a stato F dipende dalla trasformazione che collega i due stati. Non sarebbe quindi possibile determinare L come $U(I) - U(F)$ ma

Lavoro nelle trasformazioni adiabatiche

Sistema termodinamico (gas) contenuto entro pareti adiabatiche
in tal caso vedremo che vale $L = U(I) - U(F)$

Verifica sperimentale:



Pistone scorrevole senza attrito

Inizialmente gas in V_1

1) **apertura f_1** :

espansione libera (tratteggio IA):
 $L=0, \Delta T \approx 0$ (= 0 se gas perfetto)

2) **pistone da V_A a V_B** :

espansione adiabatica quasi
statica AB- \rightarrow

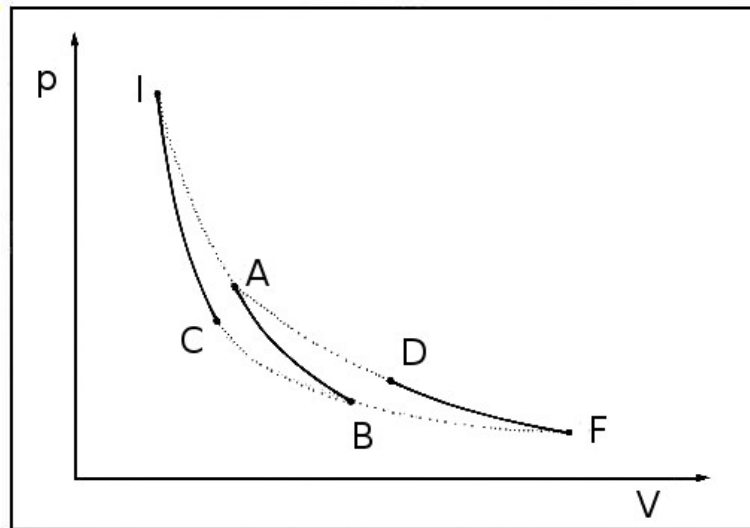
V aumenta, T diminuisce,

$$L_{AB}^{(ad)} = \int_{V_A}^{V_B} p \, dV$$

3) **apertura f_2**

espansione libera (tratteggio BF):
 $L = 0, \Delta T \approx 0$ (= 0 se gas perfetto)

Concludendo $L = L_{AB}^{(ad)}$



Altrimenti ICF oppure IDF per le
quali

$$L = L_{IC}^{(ad)} \quad \text{o} \quad L = L_{DF}^{(ad)}$$

Sperimentalmente $L_{AB}^{(ad)} = L_{IC}^{(ad)} = L_{DF}^{(ad)} = L$

“Il lavoro adiabatico, compiuto da un sistema termodinamico in qualsiasi trasformazione che collega due determinati stati, dipende solo dagli stati iniziali e finali considerati e non dalla particolare trasformazione adiabatica seguita”

Nell'esempio mostrato esistono infinite trasformazioni adiabatiche da I a F ma nessuna che vada da F a I (invertibilità delle espansioni adiabatiche e NON invertibilità della espansione libera)

Sperimentalmente: se non esiste trasformazione adiabatica da A a B ne esiste almeno una che va da B ad A

Primo principio della termodinamica

Enunciato

“Per ogni coppia di stati di equilibrio di un sistema termodinamico qualsiasi esiste almeno una trasformazione adiabatica che va dal primo al secondo oppure dal secondo al primo; quando le trasformazioni adiabatiche sono più di una il lavoro corrispondente, detto **lavoro adiabatico**, è lo stesso per tutte e quindi il lavoro adiabatico dipende dallo stato iniziale e finale, ma **NON** dalla particolare trasformazione adiabatica che li collega”

Definizione di “Energia interna” U (funzione del singolo stato)

$$U(A) = \begin{cases} -L_{OA}^{(ad)} & \text{se esiste trasformazione adiabatica } O \rightarrow A \\ +L_{AO}^{(ad)} & \text{se esiste trasformazione adiabatica } A \rightarrow O \end{cases}$$

L'energia interna è definita a meno di una costante additiva arbitraria (come energia potenziale delle forze conservative), corrispondente alla scelta arbitraria di O .

Si ha quindi
$$L_{IF}^{(ad)} = L_{IO}^{(ad)} + L_{OF}^{(ad)} = U(I) - U(F)$$

L'energia interna rappresenta il contenuto energetico di un sistema termodinamico che si impoverisce quando il sistema compie lavoro adiabatico sull'ambiente esterno $(L_{IF}^{(ad)} > 0 \rightarrow U(F) < U(I))$

mentre si arricchisce quando è l'ambiente a fare lavoro adiabatico sul sistema $(L_{IF}^{(ad)} < 0 \rightarrow U(F) > U(I))$

Se il sistema termodinamico passa da uno stato I ad uno stato F tramite una trasformazione adiabatica avremo

$$L_{IF}^{(ad)} = U(I) - U(F) = -\Delta U \quad \rightarrow \quad L_{IF}^{(ad)} + \Delta U = 0$$

Se la trasformazione non è adiabatica, la variazione ΔU resta la stessa (in quanto U dipende solo dagli stati I e F) ma cambia il lavoro (che in generale dipende dalla trasformazione), cioè

$$L_{IF}^{(non\ ad)} \neq L_{IF}^{(ad)} \quad \rightarrow \quad L_{IF}^{(non\ ad)} + \Delta U \neq 0$$

Quantità di calore

La differenza tra trasformazione adiabatica e non adiabatica consiste nel mettere delle pareti diatermiche al posto di quelle adiabatiche, permettendo l'interazione termica tra sistema termodinamico e ambiente. Tale interazione produce un cambiamento di alcuni parametri di stato sia del sistema che dell'ambiente, ovvero delle corrispondenti energie interne (funzioni di stato). Quindi **Interazione termica → scambio di energia**

Trasformazione adiabatica → $L + \Delta U = 0$ scambio energia meccanica

Trasformazione non adiabatica → $L + \Delta U = Q$ scambio energia meccanica e termica

Q = quantità di calore (modo termico di scambiare energia)

Per trasformazioni non adiabatiche,

$Q > 0$ se la quantità di calore è acquistata dal sistema (se $L=0$, $\Delta U = Q > 0$)

$Q < 0$ se la quantità di calore è ceduta dal sistema (se $L=0$, $\Delta U = Q < 0$)

Sappiamo che l'Energia interna è una funzione di stato mentre il lavoro e la quantità di calore dipendono dalla trasformazione scelta per passare da stato iniziale I a stato finale F. Per una trasformazione Infinitesima scriveremo quindi

$$\delta Q - \delta L = dU$$

Espressione matematica del primo principio della termodinamica

In una generica trasformazione il sistema può aumentare o diminuire la sua energia interna tramite scambi energetici con l'ambiente.

Il **sistema globale** = sistema termodinamico + ambiente non interagisce con nient'altro né termicamente ($Q=0$) né meccanicamente ($L=0$) e la sua energia interna non varia ($\Delta U=0$).

Quindi la somma delle energie interne di tutti i sistemi termodinamici che in un dato processo interagiscono tra loro rimane costante durante il processo (**principio di conservazione dell'energia**)