Corso:Termodinamica classica/Continuazione della Meccanica e Primo principio/Lavoro termodinamico

Consideriamo adesso un sistema termodinamico standard, che da adesso in poi conterrà del **gas perfetto** invece che del gas qualunque; in questo caso, inoltre, consideriamo che tra pistone mobile e pareti **non vi sia attrito**. Di questo sistema, prendiamo una trasformazione quasi statica che produca una variazione nella posizione del pistone mobile pari a dr , che può essere negativo o positivo a seconda dei casi.

Facciamo considerazione energetiche; il lavoro totale compiuto dal sistema e dall'ambiente circostante resta *nullo*, infatti il lavoro che il sistema compie sull'ambiente viene ricambiato dall'ambiente stesso. Un'altra prova di ciò è il fatto che il pistone, a fine trasformazione, resta fermo, con un'energia cinetica quindi nulla. Poiché partiva da fermo, e termina la trasformazione fermo, il lavoro totale compiuto da tutto l'universo è zero. Possiamo quindi scrivere:

$$0 = \delta L_{tot} = \delta L_s + \vec{F_e} \cdot d\vec{r}$$

Con δL_s indichiamo l'infinitesimo lavoro compiuto dal sistema; $\vec{F_e}$ indica la forza esterna che compie lavoro sul sistema e $d\vec{r}$ indica l'infinitesimo spostamento del pistone. Se abbiamo compressione o espansione, varierà il segno del $d\vec{r}$ e del lavoro compiuto dalle forze esterne, che possiamo anche indicare con $F_e = p_e S$, avendo quindi due espressioni:

$$\begin{cases} \delta L_s - p_e S|dr| \rightarrow_{dr>0} \rightarrow \delta L_s - p_e dV \\ \delta L_s + p_e S|dr| \rightarrow_{dr<0} \rightarrow \delta L_s - p_e dV \end{cases}$$

La prima espressione indica il caso di espansione, ovvero in cui il sistema compie lavoro sull'ambiente esterno, mentre la seconda espressione indica una compressione, ovvero il caso opposto dove è il sistema a subire lavoro. Poiché tra pistone mobile e contenitore non c'è attrito, le forze esterne soon completamente bilanciate da quelle interne (equilibrio meccanico); per questo motivo, possiamo porre $p_e = p$, dove p è la pressione del gas. Ricordando inoltre che $drS = \mathrm{d}V$, la definizione di **lavoro termodinamico** è, quindi:

$$\delta L_s = p \, \mathrm{d}V$$

Se $\mathrm{d}V > 0$, il sistema compie lavoro sull'ambiente esterno; se $\mathrm{d}V < 0$ è l'ambiente a compiere lavoro, e quindi il sistema *subisce* lavoro. Data una trasformazione, quindi, che passa per stati di equilibrio per andare da A a B , il lavoro che compie il sistema sarà dato da

$$L = \int_A^B p\,\mathrm{d}V$$

Attenzione, perché l'integrale è **calcolato lungo tutta la trasformazione**. Su un diagramma (p, V) , le trasformazioni sono tutte quelle curve che uniscono due punti. Il lavoro sarà, quindi, l'area sottesa dalla curva in quell'intervallo. È per questo motivo che, se ci sono diverse trasformazioni che permettono il passaggio tra i due stati considerati, in ognuna di esse il lavoro compiuto dal sistema sarà diverso. Quello che però non cambia è la *variazione di energia* che il sistema subisce. Questo lo vedremo più approfonditamente prima con il primo principio della termodinamica.

Osserviamo inoltre che l'espressione del lavoro sopra scritta vale per *trasformazioni quasi-statiche*; cosa possiamo dire se la trasformazione non è quasi statica?

Consideriamo una trasformazione irreversibile a pressione esterna costante, con il sistema che va in equilibrio meccanico con l'ambiente (ovvero $p_{ext} = p_{gas}$). Se la trasformazione fosse reversibile, il sistema passerebbe da una T_i iniziale a una T_f attraverso infiniti stati di equilibrio intermedi dT ; poiché non lo è, si passa da T_i a T_f repentinamente e, per questo motivo, *non ha senso descrivere la pressione durante la trasformazione*. Nel piano (p, V) si rappresenta con una linea tratteggiata o spezzata. In questo caso, la formula del lavoro $L = \int_A^B p\,\mathrm{d}V$ non ha senso, in quanto non è ben definito il tragitto che va da A a B .

1 Definizione operativa di calore

Uno dei due modi di alterare l'energia di un sistema è compiere (o far compiere) lavoro sul sistema; l'altra maniera è quella di fornire esso **calore**. La definizione operativa di calore è storica: osservando che, per alzare la temperatura di un corpo, occorre fornire energia, ha senso la scrittura:

$$\delta Q = C \delta T$$

Dove C è la **capacità termica** del corpo, esprimibile anche in funzione della massa del corpo attraverso la relazione:

$$C = c\,m\,dT$$

Dove c indica il **calore specifico** della sostanza calcolato in unità di massa. Il calore specifico *dipende* dalla temperatura.

Si definisce *unità di calore*, meglio conosciuta come **caloria**, la quantità di energia necessaria per scaldare un grammo d'acqua da 14.5 °C a 15.5 °C, assumendo che non si compia lavoro (l'espansione dell'acqua è minima).

2 Espressione del lavoro isotermo

Consideriamo adesso una trasformazione isoterma reversibile a $T =$ cost fissata; vogliamo calcolare il lavoro compiuto dal gas durante la trasformazione. Consideriamo il caso in cui il gas sia **perfetto**, sfruttando la legge dei gas si esprime la pressione come $p = \frac{nRT}{V}$. Possiamo allora utilizzare l'espressione generale del lavoro termodinamico:

$$L = \int_A^B p \, \mathrm{d}V = \int_i^f \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_i^f \frac{dV}{V} = nRT \log \frac{V_f}{V_i}$$

La temperatura T resta costante lungo tutta la trasformazione, tuttavia il calore scambiato dal sistema *non è nullo*: tramite lavoro (compiuto o subito), varia l'energia interna delle particelle, la cui temperatura dovrebbe a sua volta variare; a far sì che sia costante, allora, è il contributo del calore scambiato. Come vedremo nel prossimo capitolo, questo si esprime con l'enunciato del primo principio.

3 Fonti per testo e immagini; autori; licenze

3.1 Testo

- **Corso:Termodinamica classica/Continuazione della Meccanica e Primo principio/Lavoro termodinamico** *Fonte:* https://it.wikitolearn.org/Corso%3ATermodinamica_classica/Continuazione_della_Meccanica_e_Primo_principio/Lavoro_termodinamico?oldid=50203 *Contributori:* Crisbal, Dan e Piff

3.2 Immagini

3.3 Licenza dell'opera