

LAVORO ed ENERGIA INTERRA

Si vuole recuperare il significato «energetico» del lavoro meccanico in presenza di un sistema d'interesa termodinamico.

In meccanica si considera il caso di forze di tipo conservativo per le quali il lavoro svolto lungo un cammino dipende solo dalle coordinate dei punti di partenza e di arrivo. In questo modo è possibile definire una grandezza scalare - l'energia potenziale U - tale che la sua variazione è opposta (per utile convenzione) al lavoro svolto,

$$\Delta U = -W$$

Una descrizione simile può essere adottata in casi d'interesse termodinamico con delle importanti differenze.

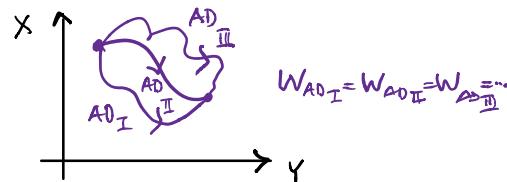
Si considera un sistema che può interagire con l'ambiente unicamente per via meccanica (azione/reazione di forze, non necessariamente conservative) ma NON per via termica, ovvero il sistema è ISOLATO ADIABATICAMENTE.

In questo caso si parla di lavoro adiabatico: potrebbe essere quello associato al cambiamento di stato termodinamico di una massa d'acqua nella quale ci sono degli agitatori (paletti) in rotazione.

Si osserva sperimentalmente che passando da uno stato di equilibrio a un altro in condizioni adiabatiche il LAVORO È INDEPENDENTE DALLA SPECIFICA TRASFORMAZIONE MA È FUNZIONE SOLO DEGLI STATI DI INIZIO E TERMINE DELLA TRASFORMAZIONE.

⇒ è possibile introdurre una funzione del sistema U , detta energia interna, tale che

$$\Delta U = -W_{\text{ADIAB}}$$



L'energia interna U è un primo esempio di FUNZIONE DI STATO in termodinamica: la sua variazione misura (in joule) il lavoro ESEGUITO SUL SISTEMA in condizioni adiabatiche ovvero, come di solito si preferisce affermare,

in condizioni di adiabaticità l'energia interna diminuisce di una quantità uguale al lavoro svolto dal sistema a prescindere dal tipo di processo in causa per compiere la trasformazione.

L'energia interna U è ben differente dall'energia potenziale meccanica, come si vedrà!

TRASFERIMENTO di ENERGIA non-ADIBATICAMENTE : CALORE

Se un sistema di interesse termodinamico compie una trasformazione fra due stati di equilibrio senza essere isolato termicamente dall'ambiente, si osserva che il lavoro eventualmente eseguito NON è indipendente dalla trasformazione come accade nel caso adiabatico.

Succede che il sistema, interagendo "termicamente" con il mondo esterno, è in grado di modificare la sua energia interna, ovvero il suo stato termodinamico, anche senza effettuare lavoro.

Si introduce l'idea di «energia scambiata termicamente», oppure «energia termica», riferendosi alla differenza che si riscontra e misura fra il lavoro effettuato dal/sul sistema nella trasformazione e il lavoro che sarebbe stato effettuato dal/sul sistema fra gli stessi stati di equilibrio in condizioni adiabatiche.

Per uniformarsi al linguaggio universalmente adottato in fisica (ma anche quotidianamente - con molte conseguenze spesso nefaste) chiamiamo questa modalità di trasferimento energetico **CALORE** e scriviamo, in formula

$$\text{CALORE} = Q \equiv W - W_{\text{ADIAB}}$$

Ormai se in una trasformazione assistiamo a una differenza fra lavoro eseguito e lavoro eseguito adiabaticamente fra gli stessi stati di inizio e fine della trasformazione, questa differenza è da imputarsi al calore associato a detta trasformazione.

Se risulta $W > W_{\text{ADIAB}}$ è $Q > 0$ e si parla di ASSORBIMENTO TERMICO («calore assorbito» si dice ma è sostanzialmente ERRATO); se invece è $W < W_{\text{ADIAB}}$ è $Q < 0$ e si parla di CESSIONE TERMICA («calore ceduto», come sopra).

Siccome l'energia termica misura di fatto un contributo energetico, essa (ovvero il calore) va misurata come il lavoro, ormai in焦耳 nel SI.

Se in una trasformazione (necessariamente non adiabatica) si ha che il lavoro eseguito è nullo, cioè significa che

$$Q = -W_{\text{ADIAB}} = \Delta U$$

ovvero l'energia interna, in arrezzo di lavoro (meccanico), varia di una quantità pari allo scambio termico (aumenta / diminuisce se c'è assorbimento / cessione).

PRIMO PRINCIPIO della TERMODYNAMICA

Si «mettono assieme» le idee di lavoro adiabatico, W_{ADIA} = $-\Delta U$ e di calore, $Q = W - W_{ADIA}$ e si scrive $Q = W + \Delta U$ ovvero

$$\Delta U = Q - W$$

Ci sono molti modi di leggere questa espressione: si può dire che

l'energia interna di un sistema varia per conseguenza a due modalità di interazione con l'ambiente: DIMINUISCE se VIENE ESEGUITO LAVORO SULL'AMBIENTE, AUMENTA se VIENE ASSORBITA ENERGIA TERMICAMENTE (se viene assorbito calore).

NB: l'energia interna è una funzione di stato (dipende solo dalle coordinate di equilibrio iniziali e finali) e può variare SOLAMENTE A CAUSA DI TRASFORMAZIONI TERMICHE (Q) e/o MECCANICHE (W). All'equilibrio si può assegnare (a meno di una costante additiva) il valore di U ma NON quello di W e/o Q. Queste grandezze NON SONO FUNZIONI DI STATO per cui DIPENDONO dalla TRASFORMAZIONE AVVENUTA.

Un sistema HA ENERGIA INTERNA ma NON "HA" LAVORO/CALORE. W e Q non sono «cose» ma modi di trasferire energia.

Quindi si può pensare a un «serbatoio di energia» dal quale attingere / immettere in funzione del lavoro meccanico & calore e dell'energia termica assorbita:



Il primo principio - che da qui in avanti viene trattato come tale, ovvero valido universalmente senza bisogno di verifiche sperimentali - è una rilettura e generalizzazione del principio di conservazione dell'energia meccanica (somma di energia potenziale e cinetica delle parti del sistema).

Un blocco materiale che si ferma per attrito «dissipa» la sua energia meccanica (cinetica iniziale): non è energia perduta, ma trasformata in una forma termica di modo che l'energia totale U del sistema (blocco + piano ruvido di appoggio) non cambia perché il sistema è completamente isolato ($Q=0$, $W=0$)

«VECCHIO» CALORE, CALORIA e CAPACITÀ TERMICA

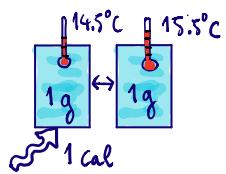
C'era una volta il fluido calorico, ovvero quella «cosa» che scorre(va) da un corpo più caldo a uno più freddo. Questa visione era sostituita (in parte) dall'evidenza sperimentale: un oggetto a contatto con una sorgente termica (una fiamma) si riscalda, ovvero aumenta la sua temperatura in rapporto proporzionale alla sua esposizione alla sorgente, ovvero alla «quantità di fluido calorico» assorbita.

Qualunque «cosa» sia il fluido (il calore Q) esso provoca dunque la variazione ΔT di temperatura secondo la

$$\text{causa} \rightarrow Q = C \Delta T \quad \text{effetto}$$

La costante di proporzionalità C è detta CAPACITÀ TERMICA. La definizione operativa di «quantità di calore» viene fatta utilizzando un oggetto di riferimento che subisce una variazione unitaria di temperatura.

In pratica: si definisce caloria la "quantità di calore" necessaria per variare (\pm) di 1°C a partire da 14.5°C ($\circ 15.5^\circ\text{C}$) la quantità di 1 g di acqua pura a 1 atm.



Si introduce anche il calore specifico (capacità termica per unità di massa) tramite la

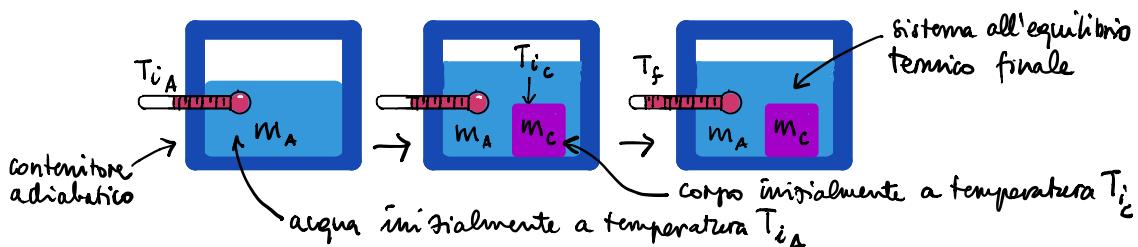
$$C = mc$$

Dunque il calore specifico dell'acqua a 14.5°C e 1 atm è, per definizione, unitario e si scrive

$$c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 1 \text{ kcal/kgK}$$

Si vede allora che per cambiare di 1°C la temperatura di una massa m di acqua servono $C = mc$ calorie.

Per variare la temperatura di altri materiali (diversi dall'acqua) la quantità di calore è differente. Per rendere quantitativo il problema si utilizza un «calorimetro ad acqua»



Se il corpo C initialmente ha temperatura maggiore di quella dell'acqua, vi sarà "cessione di calore" da C verso A (l'acqua lo acquista) fino a raffigurare l'equilibrio termico alla temperatura comune finale T_f :

$$Q_{\text{ceduto da } C} = m_c c (T_f - T_{iC}) < 0$$

$$Q_{\text{assorbito da } A} = m_A c_A (T_f - T_{iA}) > 0$$

$$\text{e } Q_{\text{ceduto}} + Q_{\text{assorbito}} = 0 \Rightarrow$$

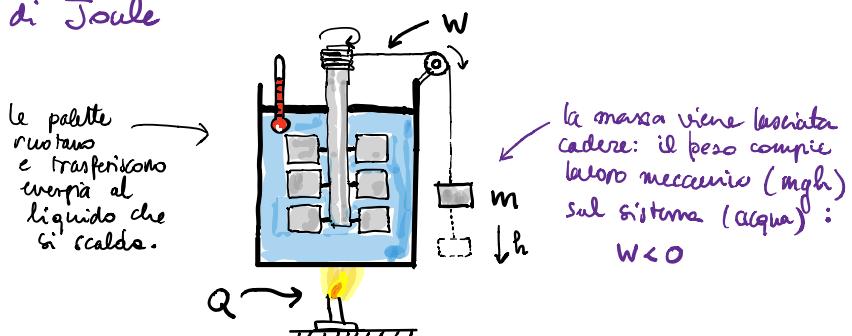
$$c = c_A \cdot \frac{m_A}{m_c} \frac{T_f - T_{iA}}{T_{iC} - T_f}$$

Questa procedura permette la misura (in unità di c_A) del calore specifico del corpo a partire dai valori delle masse in gioco e dalle differenze di temperatura realizzate nel calorimetro (qui supposto ideale).

Con questa definizione di calore, unita a quelle meccanica di lavoro, si può procedere verificando che in qualsiasi trasformazione termodinamica che connette due stati di equilibrio, la quantità $Q-W$ non dipende dalla trasformazione ma solo dagli stati di partenza e arrivo, per cui $\Delta U = Q-W$, cioè deve esistere una grandezza U con questa proprietà (cosa "passa" per l'idea di lavoro adiabatico).

Qui è allora necessario rendere omogenee/compatibili dimensionalmente il calore e il lavoro, altrimenti espressi in differenti unità di misura.

Si amira a considerare la EQUIVALENZA MECCANICA DEL CALORE con la esperienza di Joule



Si può cambiare lo stato del sistema (acqua/palette) in due modi / con due trasformazioni equivalenti:

$$\text{con lavoro meccanico: } \Delta U = -W > 0 \quad (\text{perché } W < 0)$$

$$\text{con energia termica: } \Delta U = Q > 0$$

Si ottiene la totale equivalenza (indistinguibilità degli stati raggiunti) delle trasformazioni e dunque di Q e W , che sono dunque modi differenti di trasferire la stessa qualità di energia: il calore non è necessario (anzi, non c'è). L'equivalenza fra Q e W è anche quantitativa: $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$