Pisa Feb 2010
Cap.26 ver 10

Appunti di Fisica _I
Secondo semestre

Pre Termodinamica

Sommario

L'energia si conserva?

Si consideri un sistema isolato; l'energia si conserva? Per quanto ne sappiamo sino ad ora, abbiamo qualche dubbio nell'affermare che l'energia si conserva sempre. Certamente se le forze in gioco sono conservative, il sistema conserva l'energia, ma non diremo altrettanto se vi sono nella evoluzione del sistema dei fenomeni di attrito o urti anelastici.
Eppure la fisica elementare, quella che studia l'interazione intima tra le particelle ha ben messo in evidenza che le forze tra gli atomi o le molecole sono tutte forze conservative. Pertanto un sistema isolato consistente in un aggregato di N particelle, N grande come si vuole, e' un sistema conservativo. Allora a livello macroscopico qualche cosa ci deve pure sfuggire?

Urto inelastico

Studiamo l'urto, perfettamente inelastico, di un proiettile con un bersaglio (o targhetta) pesante di legno duro. Dopo l'urto il proiettile magari deformato e in parte fuso resta conficcato nel bersaglio , mentre il bersaglio e proiettile si muovono insieme di moto uniforme con una quantita' di moto totale pari a quella del proiettile prima dell'urto.
Vediamo, per semplicita', il moto nel centro di massa. L'energia cinetica dopo l'urto non e' quella di prima, anzi dopo l'urto e' nulla!
Tenendo conto del teorema delle forze vive, le 1):

1)
$$\Delta E_c^P = L_{di\ B\ su\ P}^{attr}$$
$$\Delta E_c^B = L_{di\ P\ su\ B}^{attr}$$

la prima dice l’energia del proiettile ,P, diminuisce a causa delle forze microscopiche di interazione che il bersaglio applica alle molecole di P. La seconda afferma che l’energia del bersaglio ,B, varia a causa delle forze microscopiche che il proiettile applica sulle molecole di B.
Sono lavori negativi, si vede bene nel baricentro del sistema, la cui somma e’ l’energia dissipata nell’urto!

2)
$$\Delta E_c^P + \Delta E_c^B = L_{di\ B\ su\ P}^{attr} + L_{di\ P\ su\ B}^{attr} = E_{diss} \quad che\ e'\ negativa$$

quindi l'energia cinetica totale non si conserva.

Ora l'energia totale di un corpo, anche pensato rigido e fermo, e' la somma della energia cinetica di tutte le particelle di cui esso e' costituito e della energia potenziale derivante dalle forze di interazione intraparticelle. Il corpo, anche se macroscopicamente parlando e' fermo, cioe' non trasla e non ruota, microscopicamente le sue molecole si agitano (o vibrano attorno a qualche punto) terribilmente.

3) $$U=\sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2+\sum_{ij} U_{ij}(r_{ij})$$

L'energia totale e' data dalla energia cinetica macroscopica piu' quella interna.

4) $$E=E_c+U$$

Allora l'energia del sistema isolato, proiettile piu' bersaglio , ha una energia totale

5) $$E=E^P+E^B=E_c^P+U^P+E_c^B+U^B$$

che si deve conservare, poiche' qualsiasi cosa accada tra il proiettile ed il bersaglio , accade con la mediazione di forze fondamentali conservative di interazione tra le particelle dei due corpi.

Energia interna

Confrontando la 5) con la 2), *scopriamo che la energia dissipata , persa dal punto di vista macroscopico, e' finita nella energia interna dei due oggetti del sistema.*

6) $$\Delta E_c^P+\Delta E_c^B=-(\Delta U^P+\Delta U^B)=E_{dissipata}$$

E' solo la nostra schematizzazione macroscopica della meccanica che ci induce a credere che l'energia possa scomparire!
Questo comunque e' una parte del problema, possiamo analizzare il fenomeno del proiettile con piu' attenzione. Nell'urto il bersaglio si e' sbruciacchiato e il proiettile anche fuso e' piu' caldo, anche se l'atto di moto dell'intero sistema non sembra essere cambiato. Eppure queste osservazioni, trascurate dalla meccanica, denotano variazioni macroscopiche del sistema.
Ripartiamo dal teorema della *forze vive generalizzato*, cioe' quello che tiene conto delle forze interne ed esterne ad un sistema e che dice che la variazione della energia totale e' pari al lavoro fatto da tutte le forze sul sistema.
Quindi la variazione dell'energia totale (E+U) del sistema proiettile dipende dal lavoro L generalizzato (senza suffisso attr.) fatto dalle forze di interazione tra particelle che nascono al momento in cui il proiettile penetra nel bersaglio; parimenti accade per la variazione totale della energia del bersaglio.

7) $$\begin{aligned}&\Delta E^P=\Delta E_c^P+\Delta U^P=L_{PB}\\&\Delta E^B=\Delta E_c^B+\Delta U^B=L_{BP}\\&\textit{sommando}\\&\Delta E_c+\Delta U \;=\textit{zero}\end{aligned}$$

poiche' l'energia si conserva globalmente le due variazioni si compensano e il lavoro totale esterno al sistema "proiettile+bersaglio " e' ovviamente nullo.!

Qui il lavoro (che ha perso il suffisso "attr") si riferisce non solo al solo al lavoro di attrito che *ha determinato una variazione della energia cinetica macroscopica*, ma anche al lavoro di quelle forze che hanno realizzato il *trasferimento dell'energia* macroscopica, quella cinetica, alla componente microscopica, cioe' ha variato la energia interna U. Cioe' il proiettile, per esempio, ha diminuito nell'urto, globalmente la sua velocita' frenato dalle forze di attrito generate dalla interazione delle sue particelle con quelle della bersaglio , ma quelle stesse forze, d'altra parte, hanno aumentato l' energia cinetica di parte o di tutte le particelle interne che hanno contribuito al frenamento accelerandosi o decelerandosi negli urti elementari o variando il loro potenziale alterando le posizioni relative. Quindi il lavoro delle forze esterne nella 7) puo' essere scomposto in due parti, quello che contribuisce a variare l'energia cinetica totale come in 1) e una seconda parte che produce una variazione della energia interna (meccanismo di trasferimento dell'energia all'interno del corpo e viceversa) .

8)

$$L_{PB}=L_{PB}^{attr}+L'_{PB} \qquad \Delta U_{PB}=L'_{PB}$$
$$L_{BP}=L_{BP}^{attr}+L'_{BP} \qquad \Delta U_{BP}=L'_{BP}$$

Analizziamo ora meglio questo meccanismo di trasferimento.

Meccanismo di trasferimento di energia

Per questo immaginiamo un gas contenuto in un cilindro, compresso da un pistone. Liberiamo il pistone che inizia a salire sotto la spinta del gas. In effetti il pistone sale poiche' e' spinto da una miriadi di urti elementari generati dalle particelle su di esso. Possiamo immaginare che gli atomi del gas esercitino una forza $\mathbf{F}_i$ sugli atomi del pistone che saliranno in un certo intervallo di tempo di una quantita' D$\mathbf{r}_i$.
Calcolo il lavoro e medio su tutte le particelle del pistone.

9)

$$L_p=\sum_N \vec{F}_i\cdot\Delta\vec{r}_i \ \ \textit{ma esprimendo le forze}$$
$$\textit{e gli spostamenti in termini di valor medi e variazioni rispetto alla media}$$
$$\overline{\vec{F}}=\frac{1}{N}\vec{F}_t=\frac{1}{N}\sum_n\vec{F}_i \quad\rightarrow\quad \vec{F}_i=\overline{\vec{F}}+\delta\vec{F}_i$$
$$\overline{\Delta\vec{r}}=\frac{1}{N}\sum_n\Delta\vec{r}_i \quad\rightarrow\quad \Delta\vec{r}_i=\overline{\Delta\vec{r}}+\delta\vec{r}_i$$
$$L_p=\sum_N\overline{\vec{F}}\cdot\overline{\Delta\vec{r}}+\sum_N\delta\vec{F}_i\cdot\delta\vec{r}_i=\vec{F}_t\cdot\overline{\Delta\vec{r}}+\sum_N\delta\vec{F}_i\cdot\delta\vec{r}_i$$

(I termini misti si annullano identicamente)
Il lavoro e' quindi diviso in due parti: il prodotto della forza globale applicata al pistone per lo spostamento medio, cioe' *il lavoro macroscopico* che si sa calcolare anche noi per un sistema meccanico macroscopico, ed un termine che deriva dalle fluttuazioni delle singole forze e spostamenti rispetto ai valor medi. Questo ultimo lavoro non produce spostamenti meccanici rivelabili sulla scala macroscopica, anzi puo' essere diverso da zero anche a pistone fermo.
Il primo termine viene individuato come *lavoro ordinato*, mentre l'altro che non produce movimenti aggregati, e' indicato come *lavoro disordinato*.

Possiamo finalmente scrivere una relazione che tiene conto di quanto sin qui osservato:

10) $$\Delta E = \Delta U + \Delta E_c = L + Q$$

dove con L si indica il lavoro , quello ordinato, fatto dall'ambiente esterno sul sistema e che si puo' misurare macroscopicamente vedendo la forza totale in gioco e il suo spostamento subito, e con Q il lavoro disordinato (L' di prima! vedi (8)), sempre fatto dall'ambiente esterno sul sistema, ma che per il momento non siamo ancora in grado di valutare.
In effetti nella schematizzazione dei problemi meccanici, non abbiamo mai preso in considerazione l'alterazione della energia interna di un oggetto, anzi!. Dal punto di vista meccanico una pallina di massa m e' in uno stato ben definito quando e' nota la sua posizione e la sua velocita' lineare e di rotazione, mentre non ci siamo mai preoccupati, per esempio, di verificare la sua temperatura, che evidentemente indica una alterazione del suo stato interno!.