

Punto di partenza: non tutti i processi in natura che rispettano il principio di conservazione dell'energia possono realmente avvenire.

Ci sono fenomeni / trasformazioni che spontaneamente non hanno luogo e dunque devono essere proibiti da qualche legge di natura.

I processi che ci interessano qui sono quelli di tipo termodinamico, nei quali si assiste a trasporto / trasferimento / scambio di energia di natura termica (calore) o meccanica, elettrica, ecc. (lavoro).

Abbiamo parlato di macchine che producono lavoro assorbendo energia termica (trasformazione  $Q \rightarrow W$ ) ma abbiamo osservato che per farlo ciclicamente la conversione non può essere al 100% efficiente. Questo tipo di processo è per lo più impossibile (almeno senza produrre qualche cambiamento nello stato del sistema).

Una situazione analoga si presenta nel funzionamento di macchine frigorifere: il passaggio di energia tra due corpi a contatto avviene spontaneamente solo dal corpo più caldo a quello più freddo. Per fare l'opposto (dal freddo al caldo) serve del lavoro esterno sul sistema. Non avviene spontaneamente, è proibito.

Un oggetto che si ferma dopo essere stato lanciato su un tavolo ruvido è un fenomeno di conversione completa di energia (cinetica) meccanica in energia termica (e cioè una "dissipazione" - per causa di forze di attrito). Finita questa conversione, l'energia cinetica iniziale è stata ridistribuita in altre forme di energia che, se i corpi sono con piccole capacità termica, si manifestano come variazioni di temperatura. E comunque è diventata energia "interna" del sistema, rispettando il I Principio, di conservazione dell'energia.

L'energia non è « scomparsa », è stata ridistribuita in qualche modo microscopico ora non rilevante. Non è più energia di moto (cinetica) macroscopica.

Non si è mai visto però il fenomeno contrario, nel quale l'oggetto recupera energia dall'ambiente (il tavolo, l'aria) e la utilizza per mettersi in moto, in un processo opposto a quello iniziale. La conversione  $W \rightarrow Q$  (movimento  $\rightarrow$  calore) avviene solamente in una « direzione » spontanea. La conversione  $Q \rightarrow W$ , che pure rispetta il I principio della termodinamica, è proibita: quindi dev'essere qualche altro insieme di regole alle quali la natura obbedisce.

Si era visto un'altro caso, nel quale un gas (ideale) si espande isotermicamente variando il suo volume (e la sua pressione) producendo  $W$  a partire dal calore fornito  $Q$ . Se si vuole invertire il processo per produrre ciclicamente lavoro, è necessario almeno un secondo serbatoio termico a temperatura più bassa senza il quale, come già osservato, si può solo tornare allo stato iniziale senza produzione netta di lavoro.

Potremmo anche dire che la produzione di lavoro da calore in questo processo è efficiente al 100% solo se il sistema (il gas) dopo l'espansione è in uno stato differente da quello di partenza.

Questa considerazione - di origine sperimentale - è molto generale e conduce a formulare che

la trasformazione che ha come **unico** effetto la conversione completa di calore in lavoro è proibita.

Questa formulazione è nota anche come **enunciato di Kelvin-Planck** del II principio della termodinamica.

Questo nuovo principio proibisce le trasformazioni che fornirebbero lavoro utilizzando un'unica sorgente termica e senza modificare lo stato termodinamico del sistema (il gas con  $T = \text{costante}$  produce lavoro  $W = Q$  aortito ma cambia la sua pressione/volume): se si vuole tornare allo stato iniziale e, ciononostante, si vuole lavoro prodotto non nullo, serve un altro serbatoio « più freddo », come già osservato. Notare che una macchina che riuscisse a operare ciclicamente producendo lavoro con un'unica termocata (macchina « monoterma ») non contraddice il I principio. Una macchina invece che producesse meno lavoro del calore netto aortito violerebbe solo il II principio.

Quindi i due principi sono indipendenti.

La macchina che violasse il II principio sarebbe di tipo "perpetuo di II specie": ma non esiste!

C'è un'altra classe di trasformazioni o processi non permessi in natura. Sono quelli che vedono il passaggio spontaneo di energia (calore) da serbatoi (più) freddi ad altri (più) caldi. I frigoriferi che non necessitano di un motore che lavora in di essi per trasferire calore da freddo a caldo sono proibiti, non esistono proprio. Si osserva in generale che

La trasformazione che ha come unico effetto il passaggio di calore da un corpo freddo a uno (più) caldo è proibita

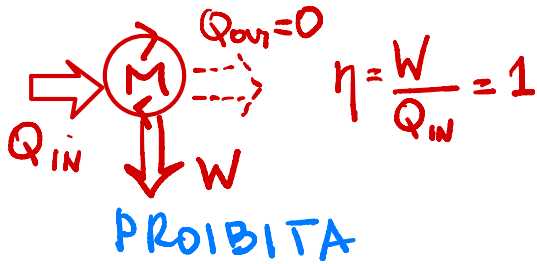
Questa formulazione è nota anche come enunciato di Clausius del II principio della termodinamica.

Anche se sembra che frigoriferi e macchine proibite diano situazioni indipendenti e differenti, non è proprio così.

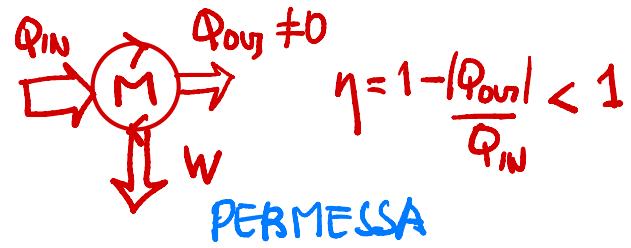
Potiamo riassumere questi due casi di proibizioni secondo questo schema:

### Enunciato di Kelvin-Planck

La macchina ciclica "perfetta" non rilascia calore ma solo lo assorbe per convertirlo completamente in lavoro.

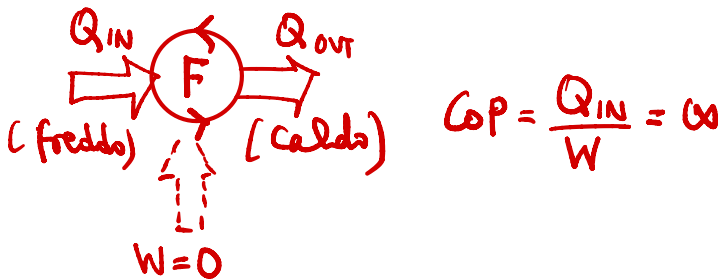


La macchina ciclica "permessa" è quella con efficienza ridotta per causa del calore ceduto al serbatoio freddo:

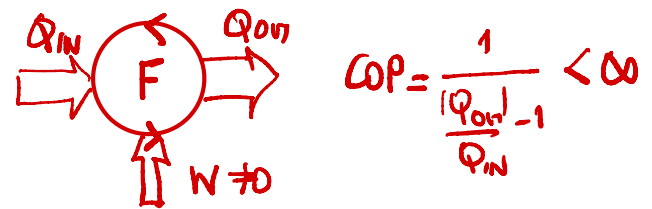


### Enunciato di Clausius

Il frigo ciclico "perfetto" non ha bisogno di lavoro per trasferire calore dal (più) freddo al (più) caldo.



Il frigo ciclico "permesso" ha prestazione finita perché il lavoro utilizzato è non nullo:



Queste due formulazioni, anche se sono riferite a situazioni fisiche molto differenti (produzione di lavoro, trasferimento di calore) sono in realtà enunciati completamente e logicamente EQUIVALENTI dell'unico II principio della termodinamica. Lo dimostriamo.