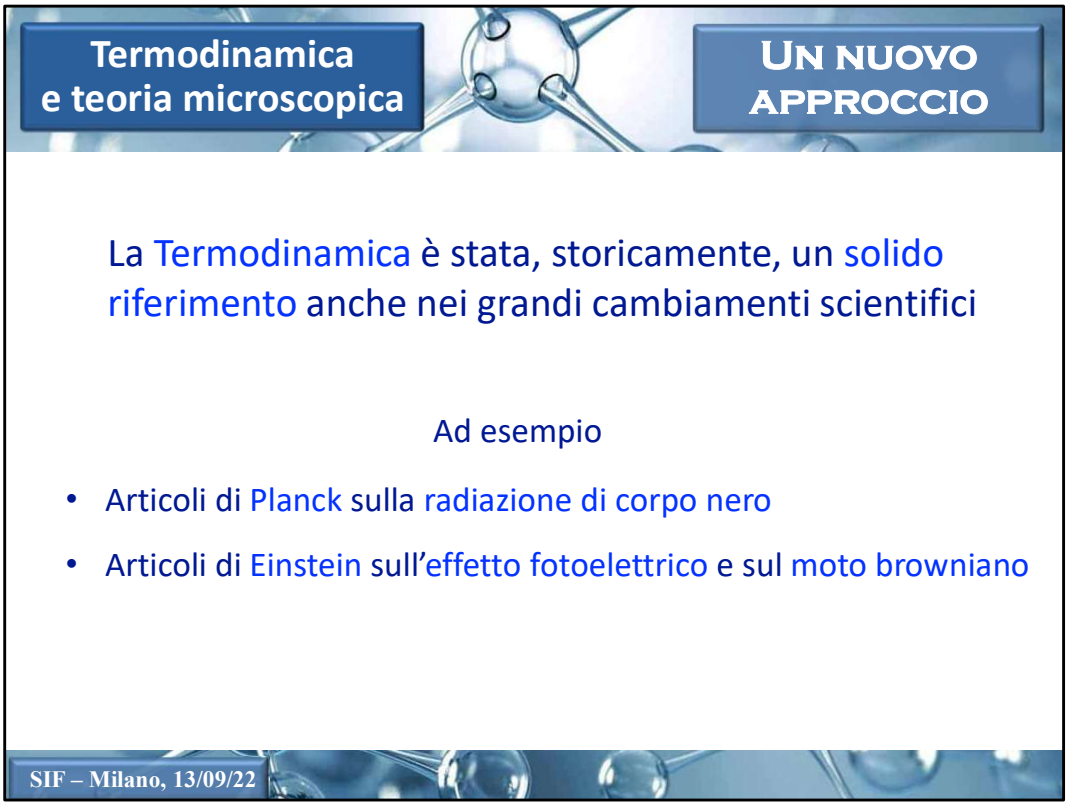
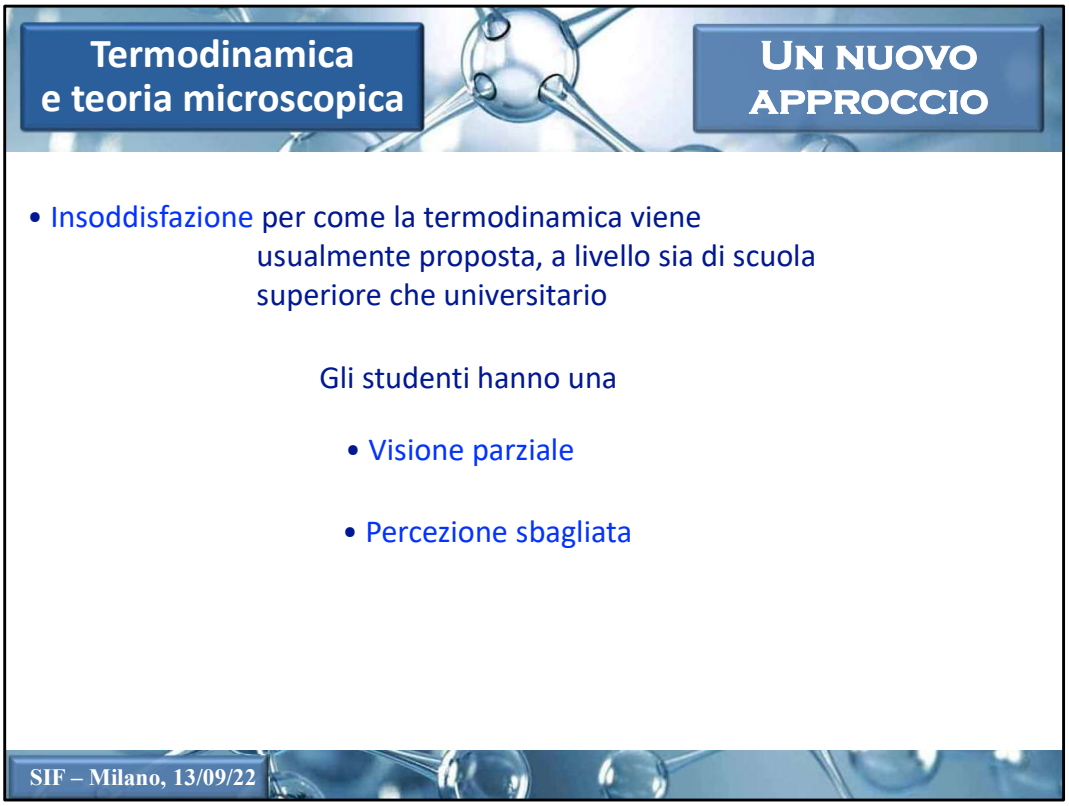
Termodinamica e teoria microscopica è una proposta didattica per le scuole superiori elaborata dal prof. Vittorio Lubicz, del Dipartimento di Fisica di Roma Tre e dal sottoscritto, Alessandro Ercoli, insegnante di Matematica e Fisica presso il Liceo Scientifico Statale «P. Ruffini» di Viterbo



La storia della Fisica insegna che la Termodinamica ha sempre fornito un solido riferimento allo sviluppo teorico della Fisica stessa, anche e specialmente durante i grandi cambiamenti delle teorie scientifiche



Nonostante questo l'insegnamento della Termodinamica nelle scuole superiori ha avuto in questi anni spazi e contenuti sempre più ridotti, forse perché è spesso considerata, erroneamente, un argomento a sé stante, tra tanti altri apparentemente molto più collegati tra loro.

Gli studenti, liceali e universitari, che hanno studiato termodinamica, hanno spesso di questa

- Una visione parziale rispetto invece alla generalità con la quale essa affronta questioni fisiche di carattere fondamentale
- Una percezione, sbagliata, che essa riguardi solo gas perfetti e macchine termiche

Termodinamica e teoria microscopica

UN NUOVO APPROCCIO

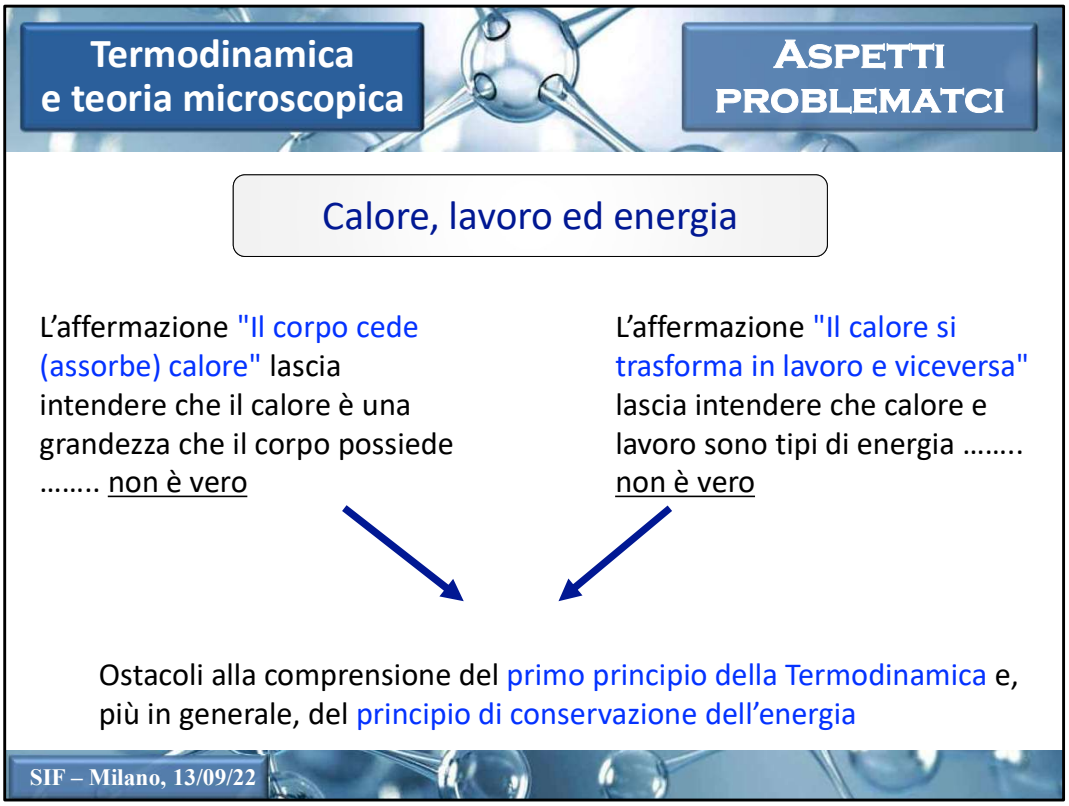
- Insoddisfazione per come la termodinamica viene usualmente proposta, a livello sia di scuola superiore che universitario

Gli studenti hanno una

- Visione parziale
- Percezione sbagliata

Proposta di un nuovo approccio

Da qui nasce la proposta di un nuovo approccio.

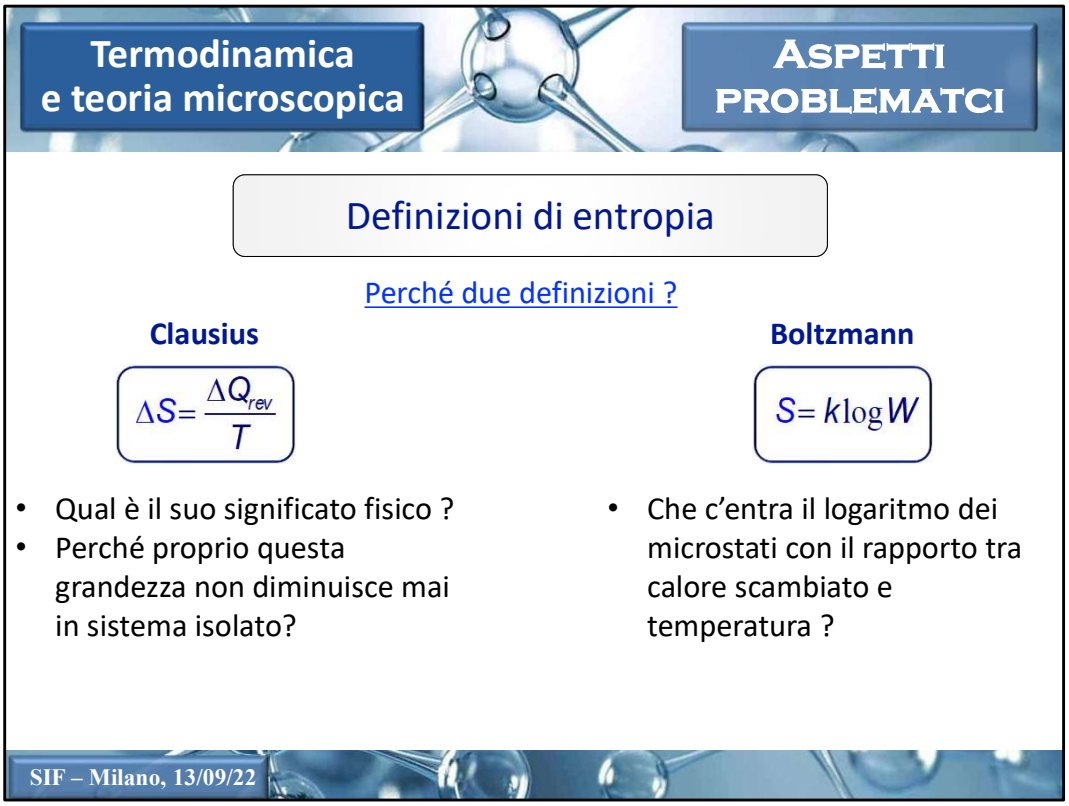


La Termodinamica definisce grandezze e descrive processi la cui non completa comprensione può essere causa di concetti poco chiari se non, in alcuni casi, addirittura erronei.
Faremo alcuni esempi di questi aspetti problematici

Calore, lavoro ed energia interna

- L'affermazione "il sistema cede (assorbe) calore" implica che quel calore era prima posseduto (sarà poi posseduto) dal sistema
- L'affermazione "il calore si trasforma in lavoro e viceversa" è poco compatibile con il fatto che in realtà calore e lavoro sono due modi di descrivere trasferimenti di energia e non tipi di energia.

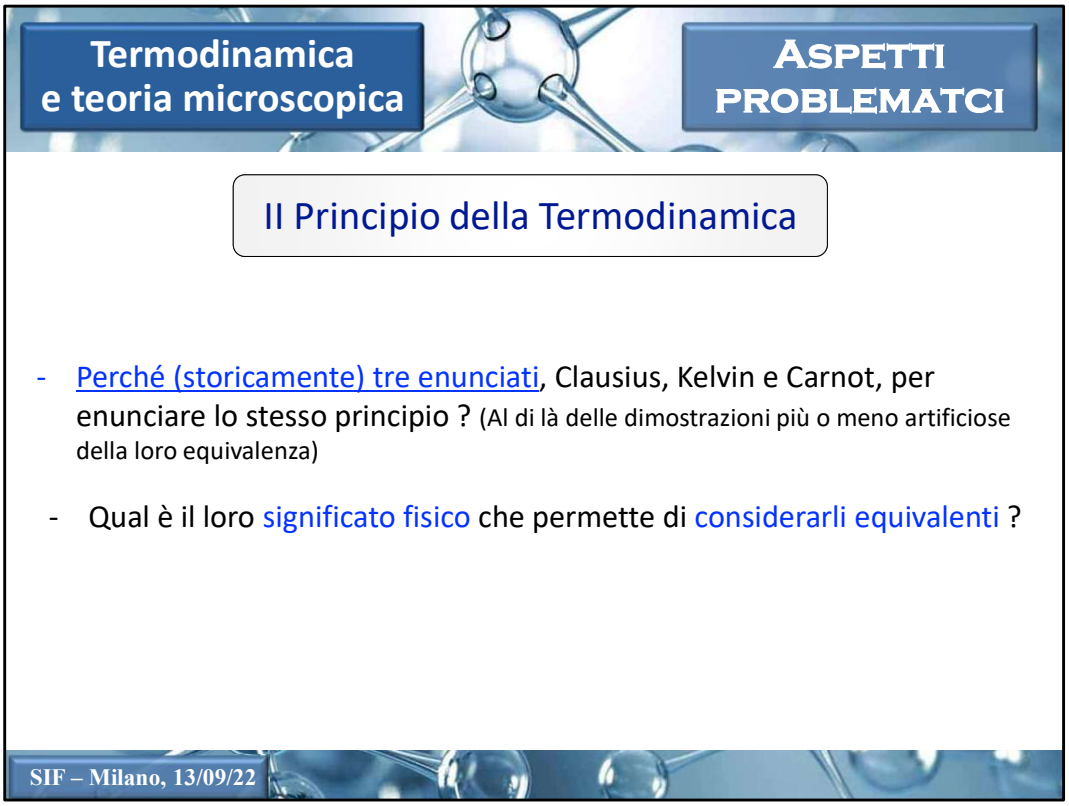
La difficoltà dunque a distinguere in modo preciso le grandezze calore, lavoro ed energia interna possono ostacolare la comprensione del primo principio della Termodinamica e, in generale, del principio di conservazione dell'energia.



- *Definizioni di entropia: Perché due definizioni?*

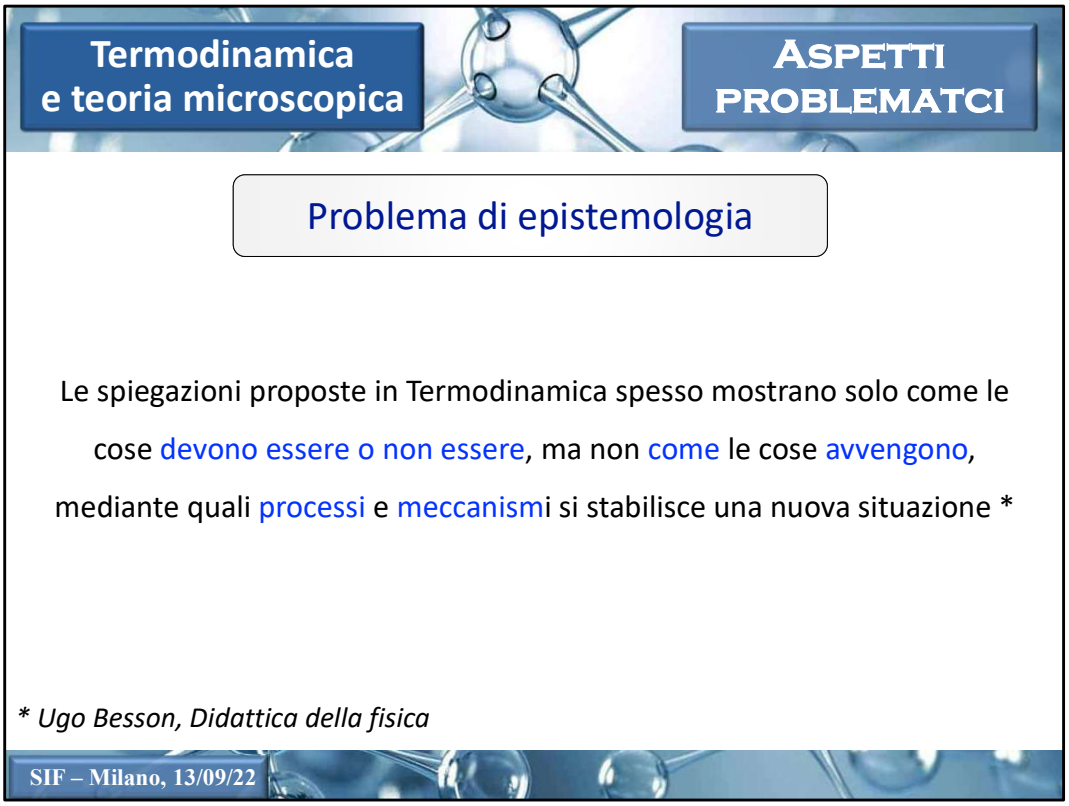
Quale è il significato fisico della definizione Termodinamica di entropia (che in effetti definisce la differenza di entropia)? Perché è proprio questa grandezza che non diminuisce mai in un sistema isolato

Il significato fisico dell'entropia alla Boltzmann invece è chiaro, ma che c'entra il logaritmo dei microstati con il rapporto tra calore scambiato e temperatura?

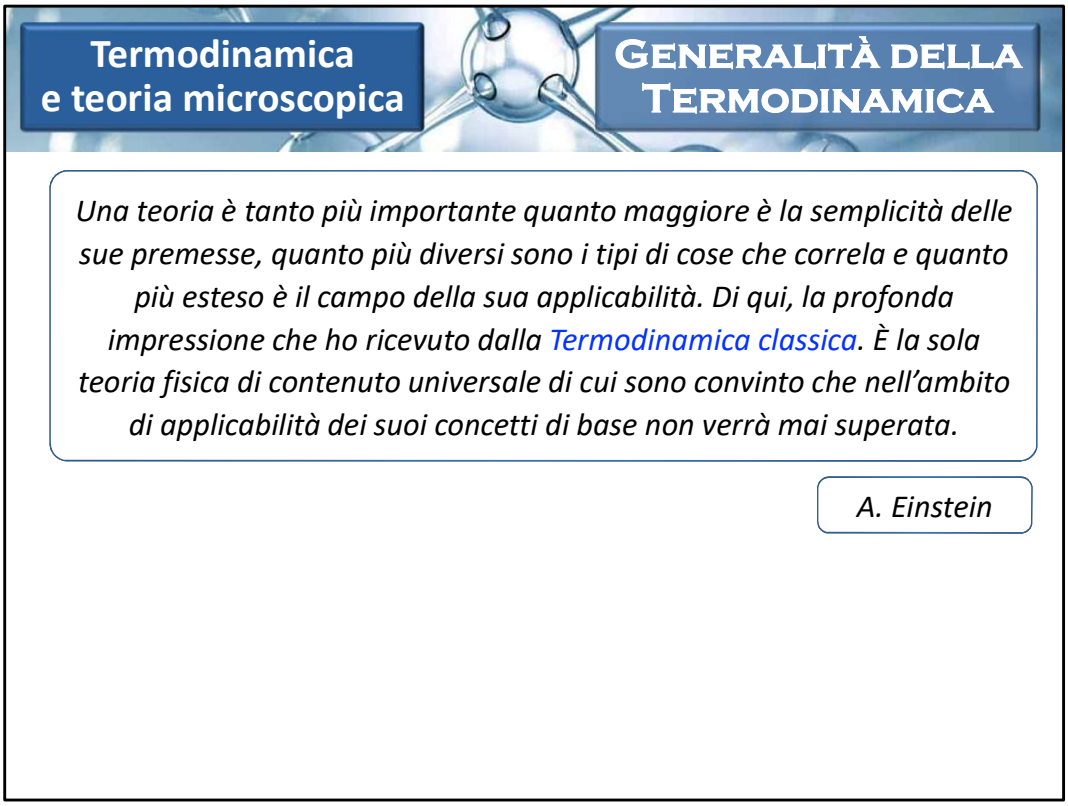


II principio della Termodinamica

Perché tre enunciati, Clausius, Kelvin e Carnot per enunciare lo stesso principio. Al di là delle dimostrazioni più o meno artificiose della loro equivalenza, qual è il loro significato fisico che permette poi di considerarli equivalenti?



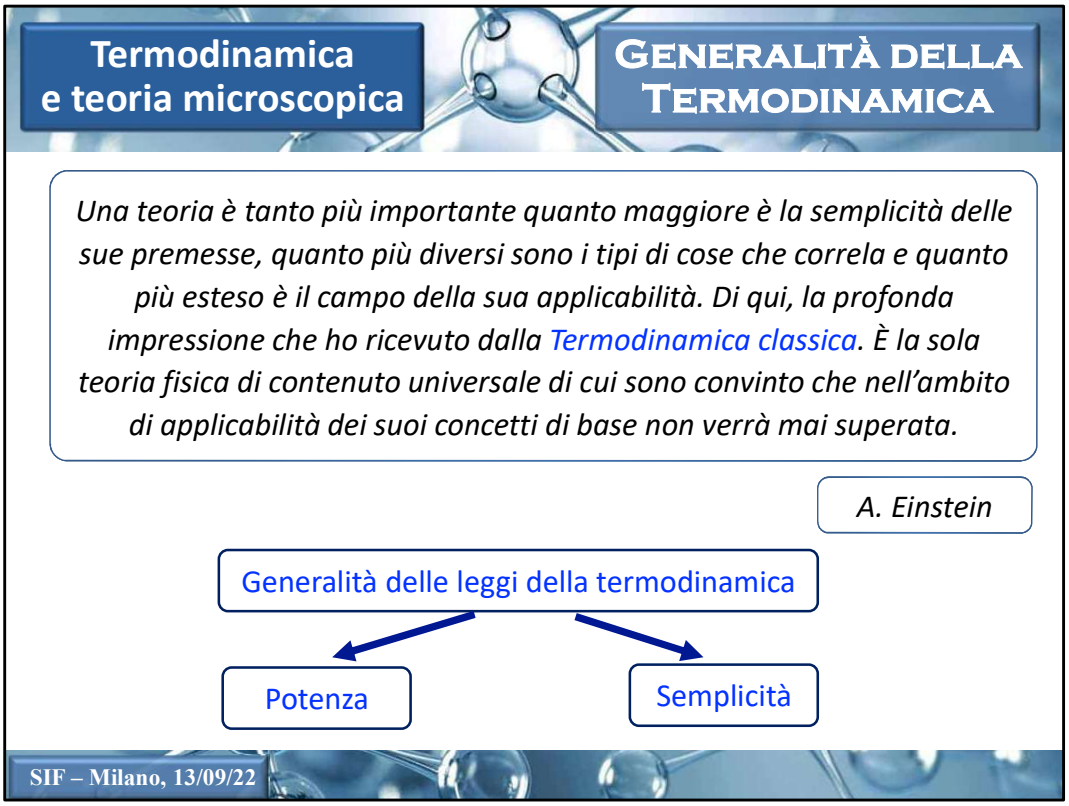
Emerge insomma che le spiegazioni proposte in Termodinamica possono essere insoddisfacenti per il bisogno di capire degli alunni perché spesso mostrano solo come le cose devono essere o non essere, ma non come le cose avvengono, mediante quali processi e meccanismi si stabilisce una nuova situazione



A tal proposito Einstein dà una descrizione esemplare della Termodinamica

Una teoria è tanto più importante quanto maggiore è la semplicità delle sue premesse, quanto più diversi sono i tipi di cose che correla e quanto più esteso è il campo della sua applicabilità. Di qui, la profonda impressione che ho ricevuto dalla Termodinamica classica. È la sola teoria fisica di contenuto universale di cui sono convinto che nell'ambito di applicabilità dei suoi concetti di base non verrà mai superata

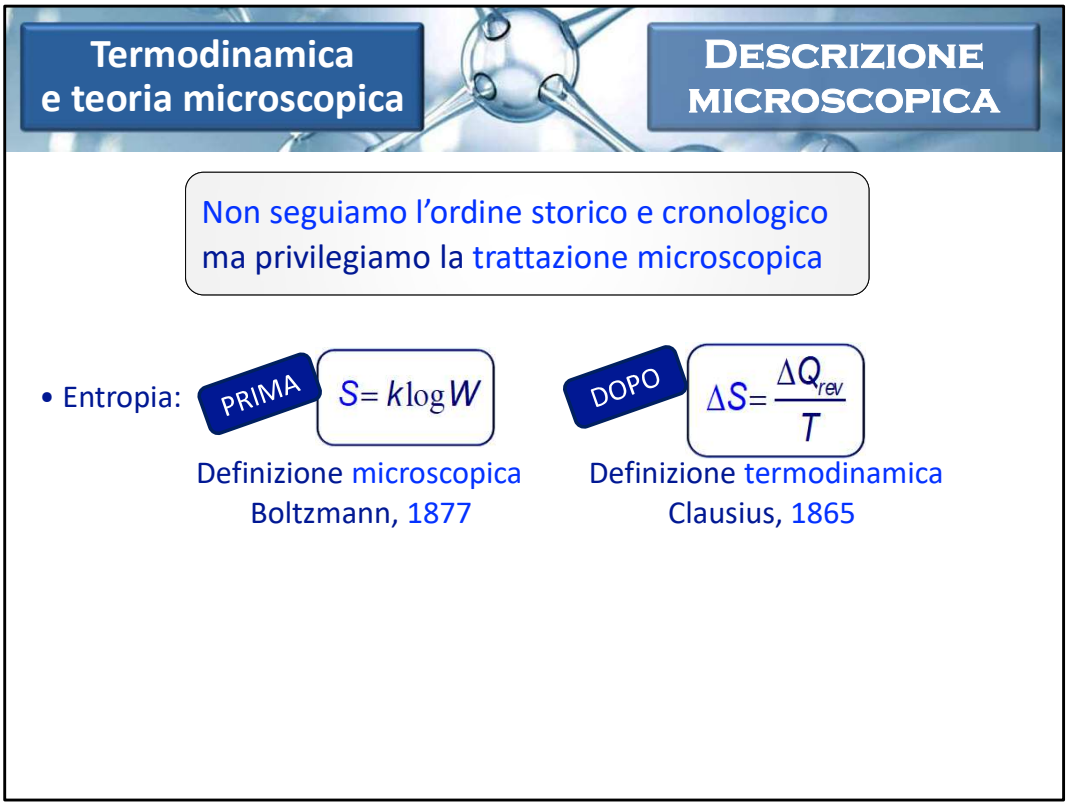
A. Einstein



E' proprio dalla generalità delle leggi della Termodinamica che ne derivano dunque la sua potenza concettuale e, allo stesso tempo, la sua semplicità

E' vero che 'intera derivazione delle leggi della termodinamica può prescindere completamente dalla conoscenza della struttura microscopica dei sistemi termodinamici (la Termodinamica si sviluppa quando ancora molte conoscenze fisiche non erano ancora o note o state assimilate). E' anche vero però che ad una reale, approfondita e allo stesso tempo più semplice comprensione fisica delle leggi della termodinamica si giunge solo a partire dalla descrizione microscopica di quei sistemi

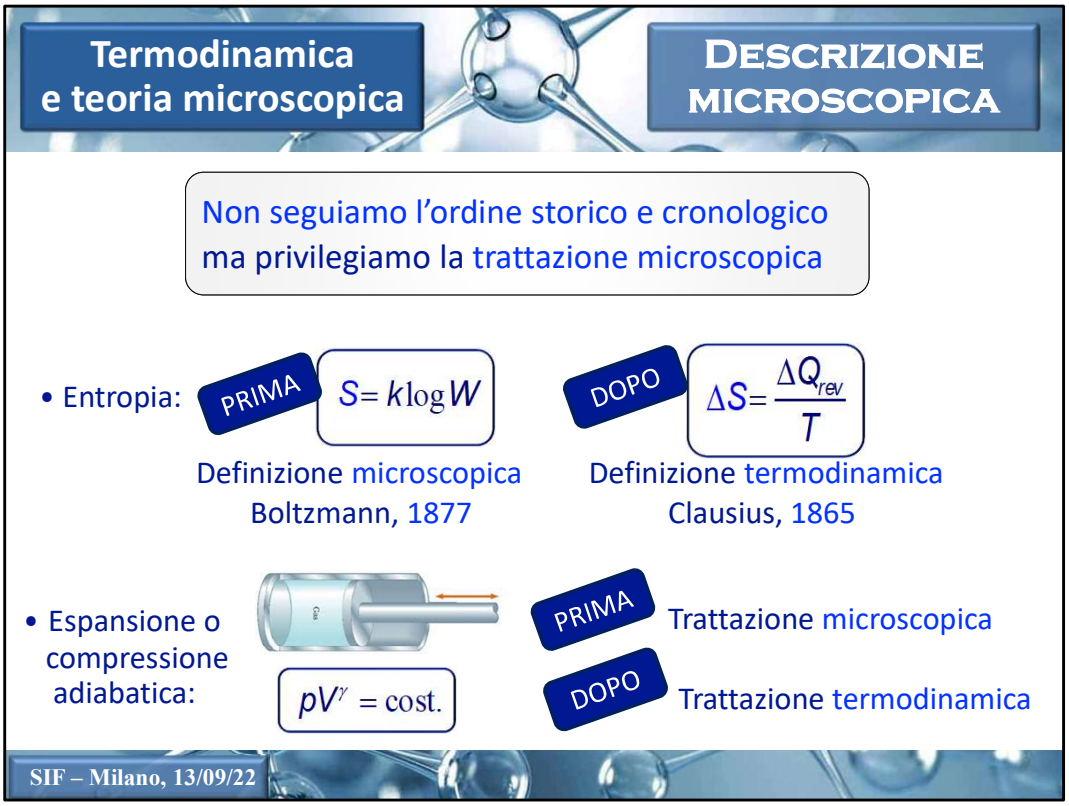
È proprio questo convincimento che ci ha portato, nella nostra proposta, a fornire alla teoria microscopica un ruolo costantemente privilegiato.



Questa scelta comporta ad, esempio, il non seguire l'ordine storico e cronologico.

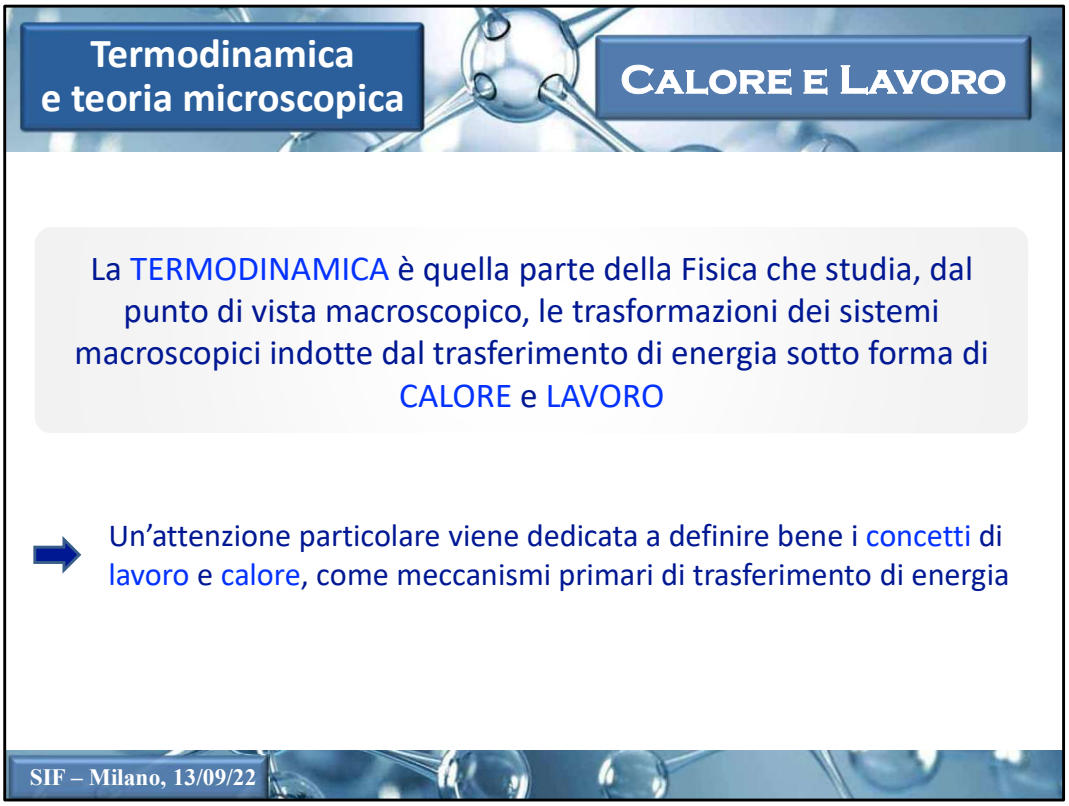
Esempi

- *Entropia alla Boltzmann* (1877 – dopo) e *entropia alla Clausius* (1865 - prima)

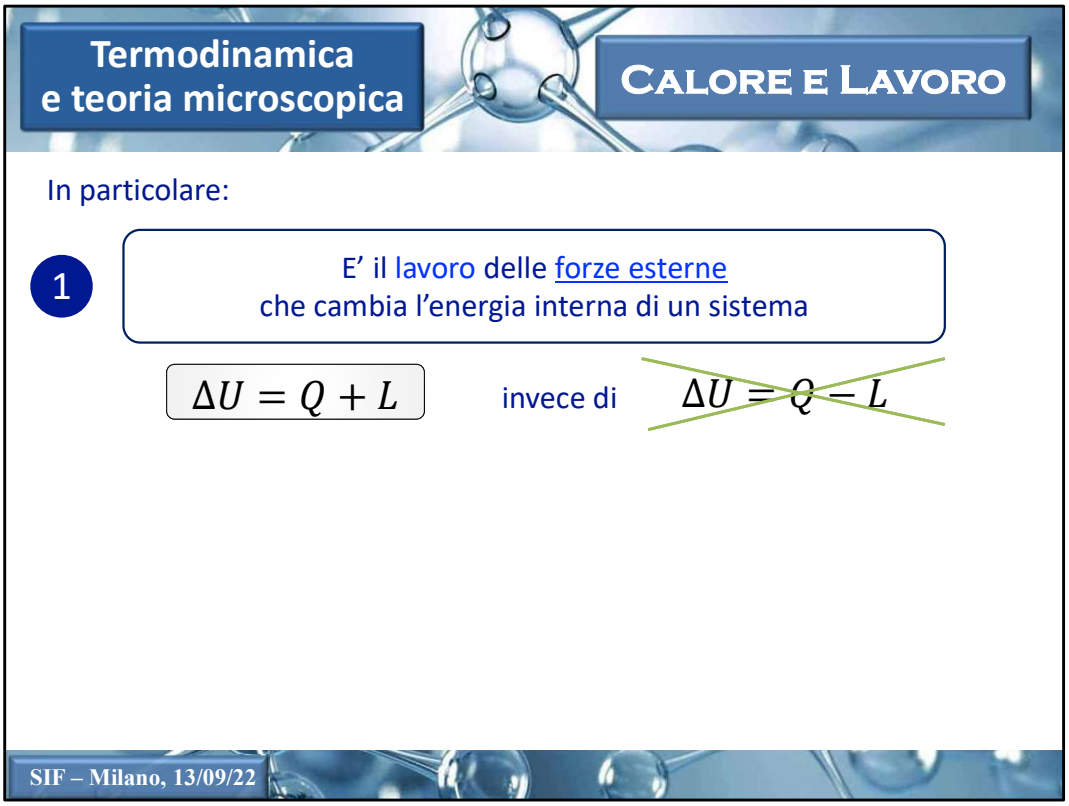


Trasformazione adiabatica (interpretazione microscopica- dopo, Poisson nel 1823 - prima)

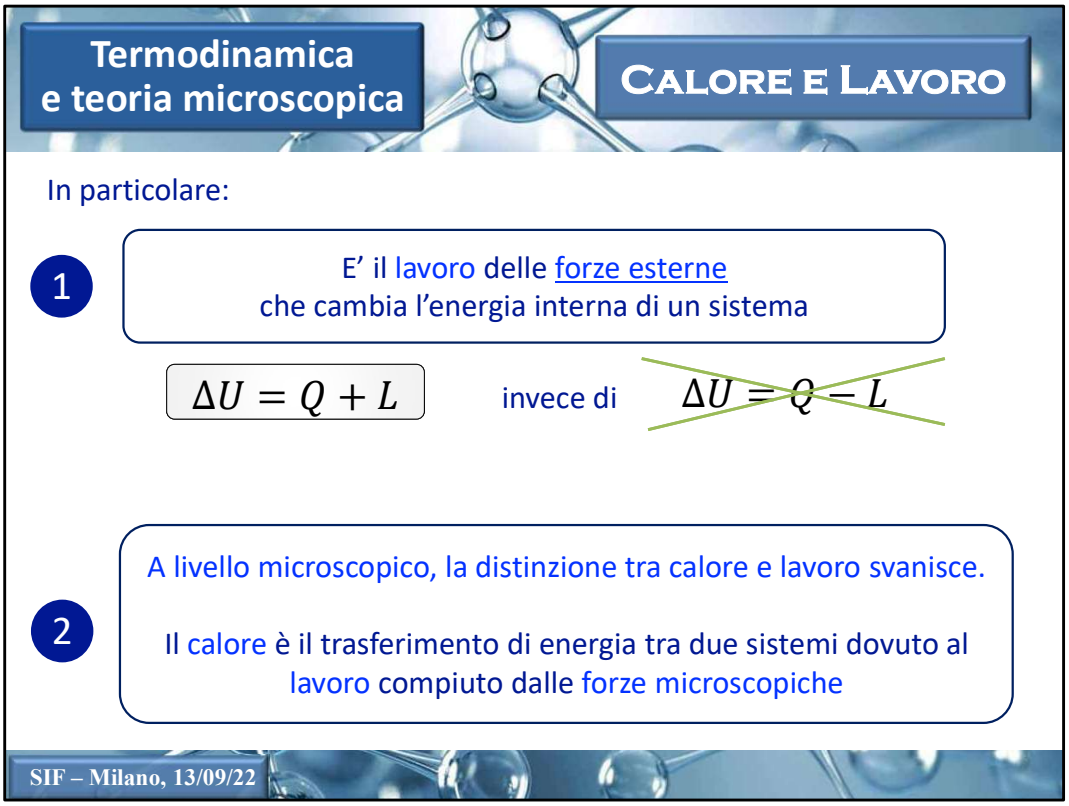
Presenteremo dunque la descrizione microscopica per la maggior parte dei processi termodinamici che verranno trattati. Tale descrizione, sebbene richieda indubbiamente un maggior dettaglio rispetto alla trattazione termodinamica, risulta tuttavia semplice e chiara, perché richiede solo l'applicazione delle leggi del moto, la conoscenza dei principi generali della meccanica e semplici considerazioni probabilistiche



Proprio perché, dal punto di vista macroscopico, la Termodinamica è quella parte della Fisica che studia le trasformazioni dei sistemi macroscopici indotte dal trasferimento di energia sotto forma di CALORE e LAVORO, viene dedicata un'attenzione particolare a definire bene i concetti di lavoro e calore, come meccanismi primari di trasferimento di energia.

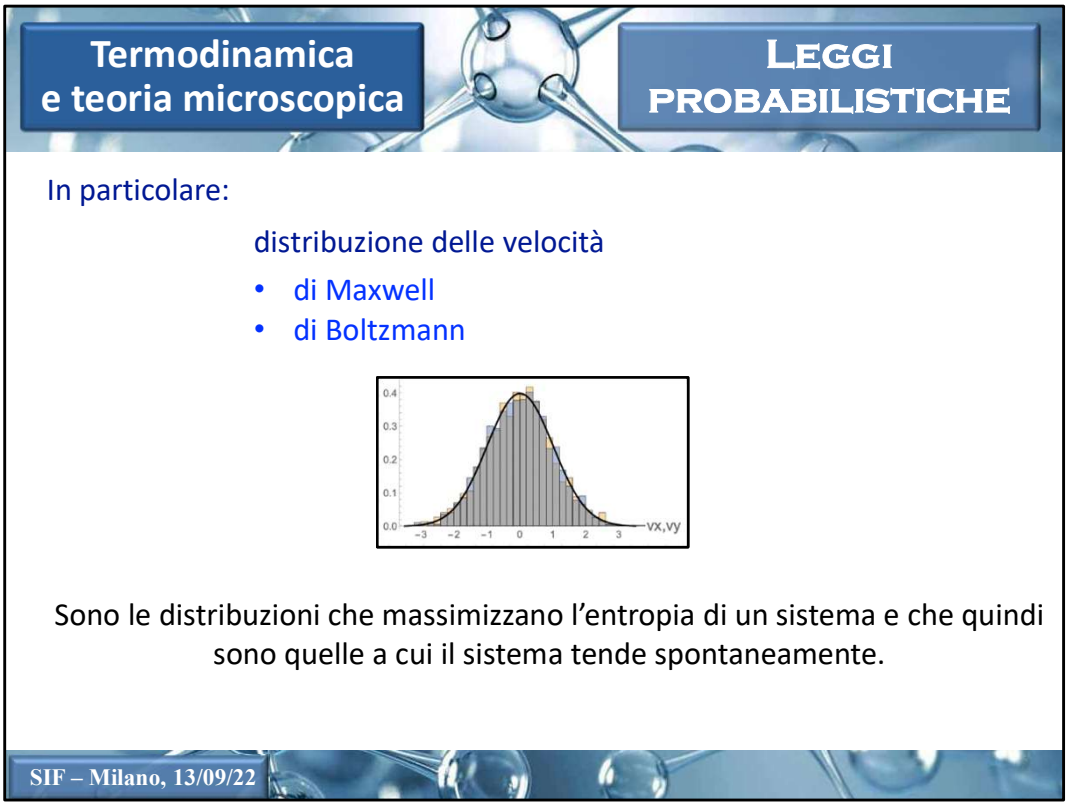


- E' il lavoro delle forze esterne che cambia l'energia interna di un sistema: questo implica che il Primo principio della Termodinamica si scriva $\Delta U = Q + L$. Molti testi riportano invece $\Delta U = Q - L$ dove L in questo caso è il lavoro fatto dalle forze interne verso l'esterno. Quando il lavoro fatto dalle forze esterne è uguale ed opposto a quello delle forze interne, ad esempio ne caso del gas-pistone, allora le due scritture coincidono. Ma, nel caso in cui i due lavori sono differenti la scrittura corretta è $\Delta U = Q + L$



A livello microscopico, la distinzione tra calore e lavoro svanisce perché si realizza che il calore non è altro che il trasferimento di energia tra due sistemi dovuto al lavoro compiuto dalle forze microscopiche

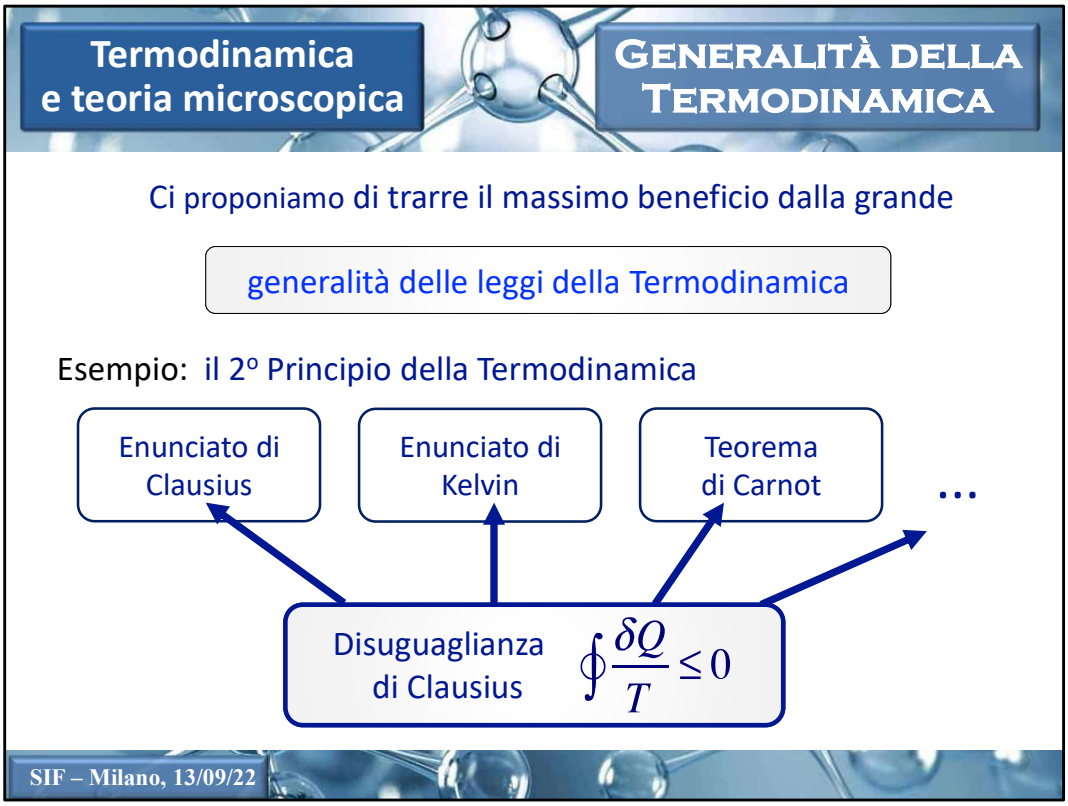
Con la descrizione microscopica, che ha mostrato il carattere statistico e probabilistico della 2ª legge della termodinamica, le leggi delle probabilità entrano per la prima volta nella fisica e grazie ad essa è possibile avere informazioni sull'intera distribuzione delle variabili fisiche



Esempi

- *distribuzione di Maxwell* delle velocità di un gas perfetto (1860)
- *distribuzione di Boltzmann* delle velocità per qualunque sistema all'equilibrio termodinamico (1871)

Sono queste le distribuzioni che massimizzano l'entropia di un sistema e che quindi sono quelle a cui il sistema, qualsiasi sia il suo stato iniziale, tende spontaneamente.



Ci proponiamo dunque di trarre il massimo beneficio dalla grande **generalità delle leggi della Termodinamic**a.

Esempio:

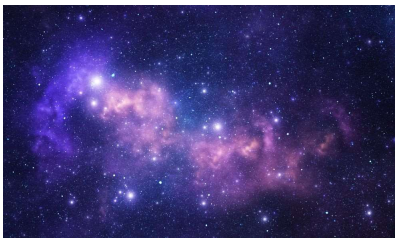
usando la trattazione microscopica ci si convince dell'equivalenza delle diverse formulazioni e si comprende la disuguaglianza di Clausius da cui poi si ottengono in modo semplice ed elegante tutte le altre formulazioni del II principio.

Termodinamica
e teoria microscopica

BELLEZZA DELLA TERMODINAMICA

La bellezza della termodinamica trascende la sua utilità pratica

Risiede nel fatto che ci consente di affrontare con semplice generalità questioni fisiche di carattere fondamentale

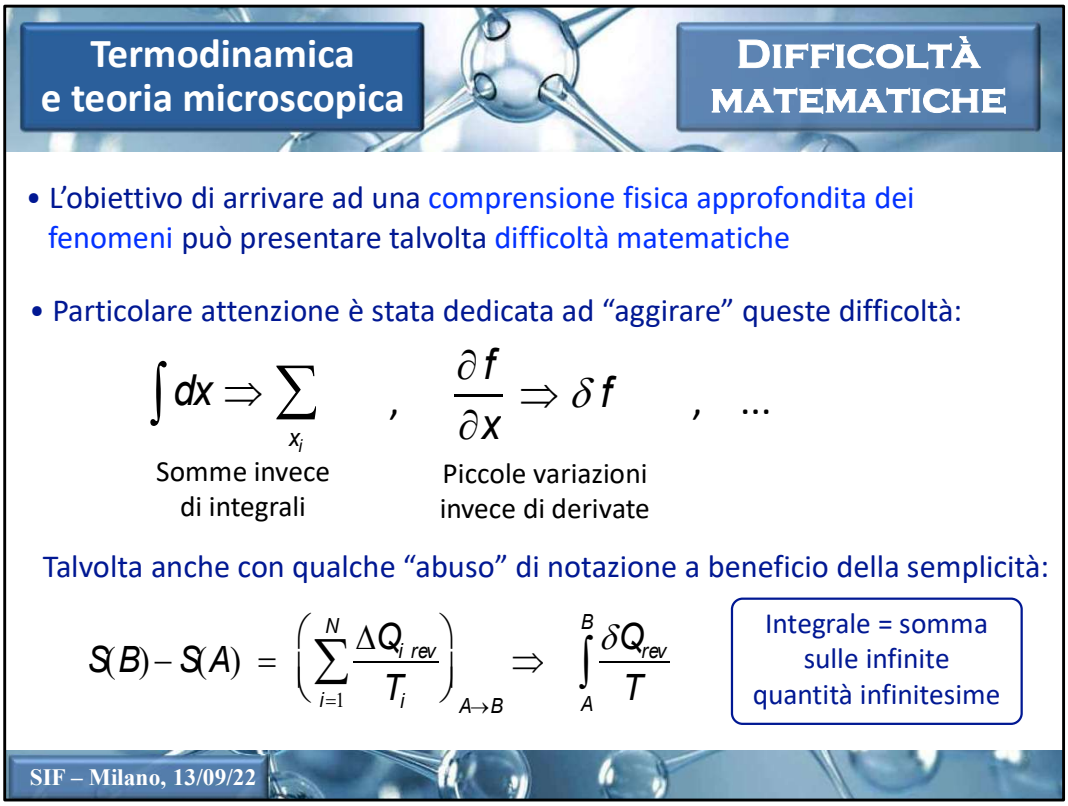


Entropia dell'universo e freccia del tempo

Macchine termiche e frigoriferi

SIF – Milano, 13/09/22

Poiché la bellezza della termodinamica trascende la sua utilità pratica e risiede nel fatto che ci consente di affrontare con semplice generalità questioni fisiche di carattere fondamentale, abbiamo dato minor spazio a tutto ciò che riguarda le macchine termiche



L'obiettivo di far arrivare gli studenti delle scuole superiori ad una comprensione fisica approfondita dei fenomeni può presentare talvolta difficoltà matematiche. Per questo particolare attenzione è stata dedicata ad "aggirare" queste difficoltà

- somme invece di integrali
- piccole variazioni invece di derivate

talvolta anche con qualche "abuso" di notazione a beneficio della semplicità.

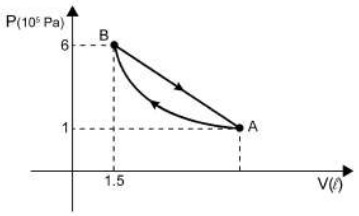
ESERCIZI

Nel testo abbiamo proposto alcuni esercizi

Esempio

Mezza mole di un gas perfetto effettua la trasformazione ciclica $B - A - B$ rappresentata in figura, in cui la trasformazione $A - B$ è una isoterma.

- Quanto vale il lavoro totale compiuto sul gas?
- In quale trasformazione il sistema cede calore e quanto vale il calore ceduto?
- In quale trasformazione il sistema assorbe calore e quanto vale il calore assorbito?.



Non sono "standard", sono più concettuali e i calcoli hanno un ruolo marginale per privilegiare le argomentazioni ed il riferimento teorico che conducono alla soluzione.

Nel testo abbiamo poi proposto esercizi, generalmente non "standard", più concettuali e nei quali i calcoli giocano di norma un ruolo marginale per dare invece più spazio al ragionamento, con l'obiettivo di privilegiare le argomentazioni ed il riferimento teorico che conducono alla risoluzione.

Questa proposta è stata presentata ad un corso di formazione per docenti (oltre 50 i partecipanti) strutturato in 7 incontri e organizzato dal PLS di Fisica di Roma Tre (Ottobre-Dicembre 2021).

Come anche è emerso dai questionari di gradimento compilati dai docenti al termine di ogni incontro, la proposta ha suscitato molto interesse ed è stata molto apprezzata, in particolare riguardo alla novità dell'impostazione metodologica, alla linearità e alla conseguenzialità nello sviluppo degli argomenti.
Il confronto vivace e partecipato con i docenti ha anche permesso di arricchire e migliorare quanto proposto.

Alcune parti sono state già sperimentate da alcuni docenti nell'ultimo anno scolastico e altri docenti le sperimenteranno in quello che sta per iniziare. La fase di sperimentazione ha previsto e prevederà un accompagnamento degli autori.

Questa proposta è ora disponibile su un libro che sta per uscire e rispetto al quale io ed il prof. Lubicz abbiamo rinunciato al copyright.

GRAZIE