

Termodinamica, la scienza dell'uomo

Franco Donatini

Accademia dell'Ussero, Pisa

Anno 2008

La termodinamica è una scienza relativamente giovane.

Nasce nel XVIII secolo, all'inizio in maniera empirica, con lo scopo di realizzare macchine da lavoro nelle miniere inglesi.

Successivamente gli scienziati riescono a cogliere e a formalizzare i fondamenti teorici che stanno alla base di questa scienza.

Nel XIX e XX secolo la termodinamica consente di realizzare un grande progresso tecnologico nello sfruttamento delle fonti energetiche, che ha cambiato profondamente la vita dell'umanità.

Ma il suo compito non è finito. I principi della termodinamica possono essere in grado di dare una spiegazione plausibile al formarsi della vita sulla terra, fornendo un sostegno teorico ai nuovi sviluppi delle scienze biologiche.



Thomas Savery

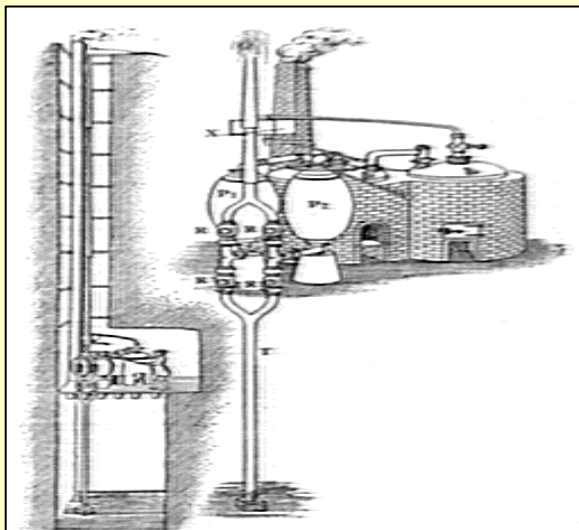
Alla fine del 1600 il lavoro nelle miniere inglesi era diventato difficilissimo a causa dell'acqua che invadeva le sempre più profonde gallerie. Con i sistemi tradizionali non si poteva più prosciugarle.

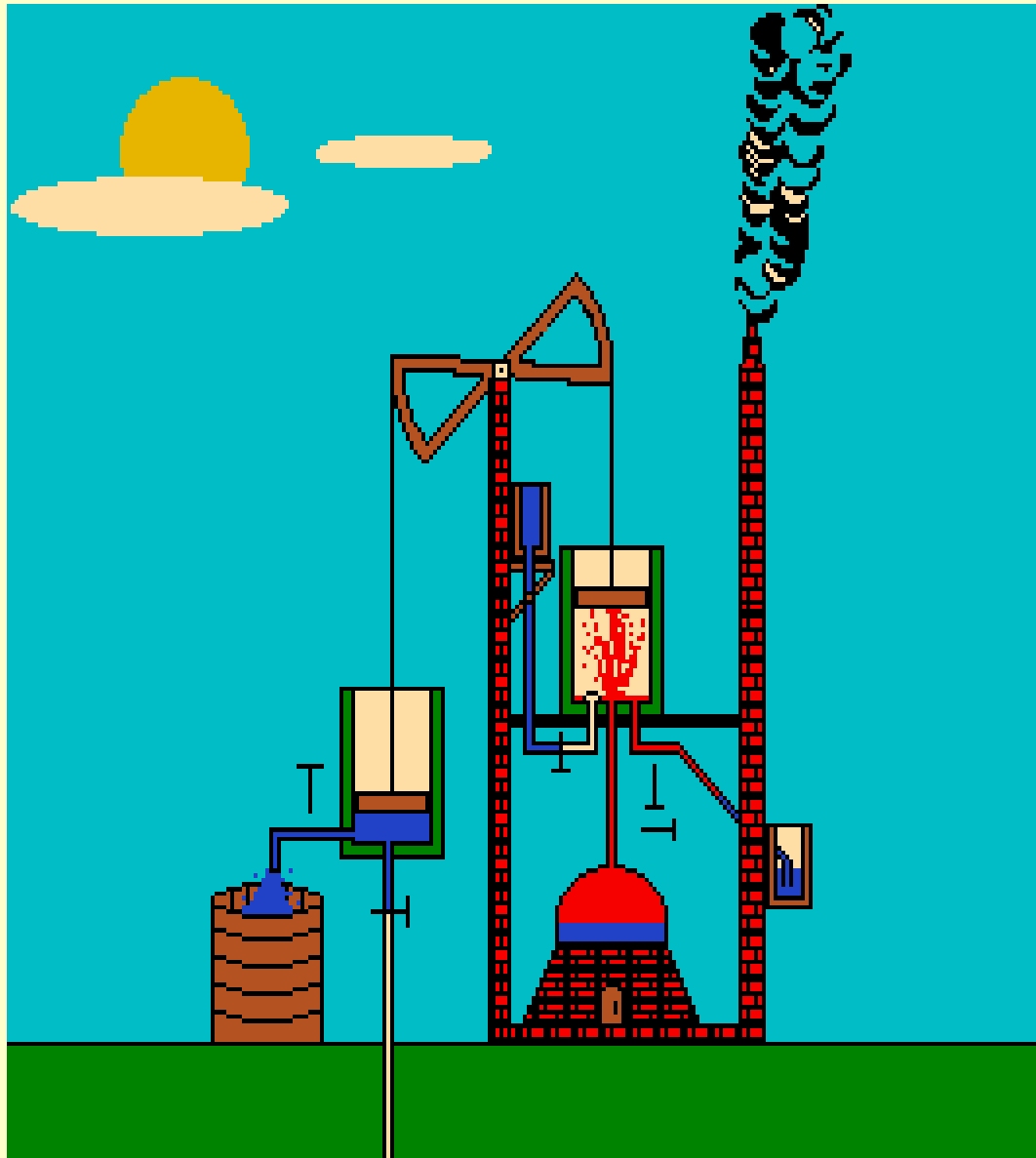
Thomas Savery fu il primo a tentare di risolvere questo problema usando il vapore. La sua pompa obbligava l'acqua a salire in un cilindro entro il quale era stato prodotto un vuoto parziale mediante la condensazione del vapore.

L'acqua era poi spinta ancora più in alto ed espulsa mediante un violento getto di vapore alla pressione di circa 10 atmosfere.

Nel 1698 a Savery venne concesso il brevetto per la sua macchina chiamata "L'Amico del minatore" capace di "tirare su l'acqua col fuoco" e per qualsiasi altra macchina che prevedesse l'uso del fuoco.

Questo brevetto costrinse T. Newcomen a mettersi in società con Savery (1712) per sfruttare economicamente la sua macchina che, funzionando con vapore a pressione atmosferica fu subito affidabile e venne adottata dalle miniere dell'epoca.





Il pregio di questa macchina fu quello di funzionare con vapore alla pressione atmosferica, compatibile con la tecnologia dell'epoca.

Essa fu usata per oltre 60 anni e non solo in Inghilterra.

La macchina di Newcomen del 1712 aveva una piccola caldaia che produceva vapore alla pressione atmosferica, il bilanciere vibrava 12 volte al minuto e ad ogni corsa lo stantuffo della pompa aspirava 45 litri di acqua che venivano poi sollevati a 46 metri di altezza. La potenza della macchina era di circa 5,5 cavalli vapore. La salita del pistone della macchina (fase passiva) era dovuta alla discesa della pesante asta e del pesante stantuffo della pompa.

Il vapore che era immesso nel cilindro serviva esclusivamente a fare un vuoto parziale sotto il pistone mediante la condensazione del vapore prodotta con un getto di acqua fredda.

Il vuoto risultante consentiva alla pressione atmosferica di spingere lo stantuffo verso il basso (fase attiva) con conseguente salita del pistone della pompa. L'acqua di condensazione veniva espulsa attraverso un tubo e una valvola a chiusura idraulica.



James Watt

E' stato un matematico ed insieme un grande ingegnere Watt inventò una valvola di regolazione (nota ancora oggi come "regolatore di Watt") per mantenere costante la velocità della macchina a vapore. Trovò il modo di trasformare il moto rettilineo alternato dello stantuffo nel moto rotatorio continuo di un volano (la cosa di cui andava più orgoglioso). Introdusse il "doppio effetto" ovvero l'immissione di vapore in maniera alternata alle due estremità del cilindro, in modo da azionare il pistone sia nella corsa di andata che in quella di ritorno. Infine inventò l'indicatore per misurare la pressione del vapore durante tutto il ciclo di lavoro del motore.

Watt fu di grande aiuto nello sviluppo dell'allora embrionale macchina a vapore trasformandola in una sorgente di potenza economica e sfruttabile. Egli realizzò che la macchina di Newcomen sprecava quasi tre quarti dell'energia del vapore nel riscaldamento del pistone e della camera. Watt sviluppò una camera di condensazione separata, che aumentò considerevolmente l'efficienza. Ulteriori raffinamenti resero la macchina a vapore il lavoro della sua vita.

Estratto del brevetto di Watt del 1769

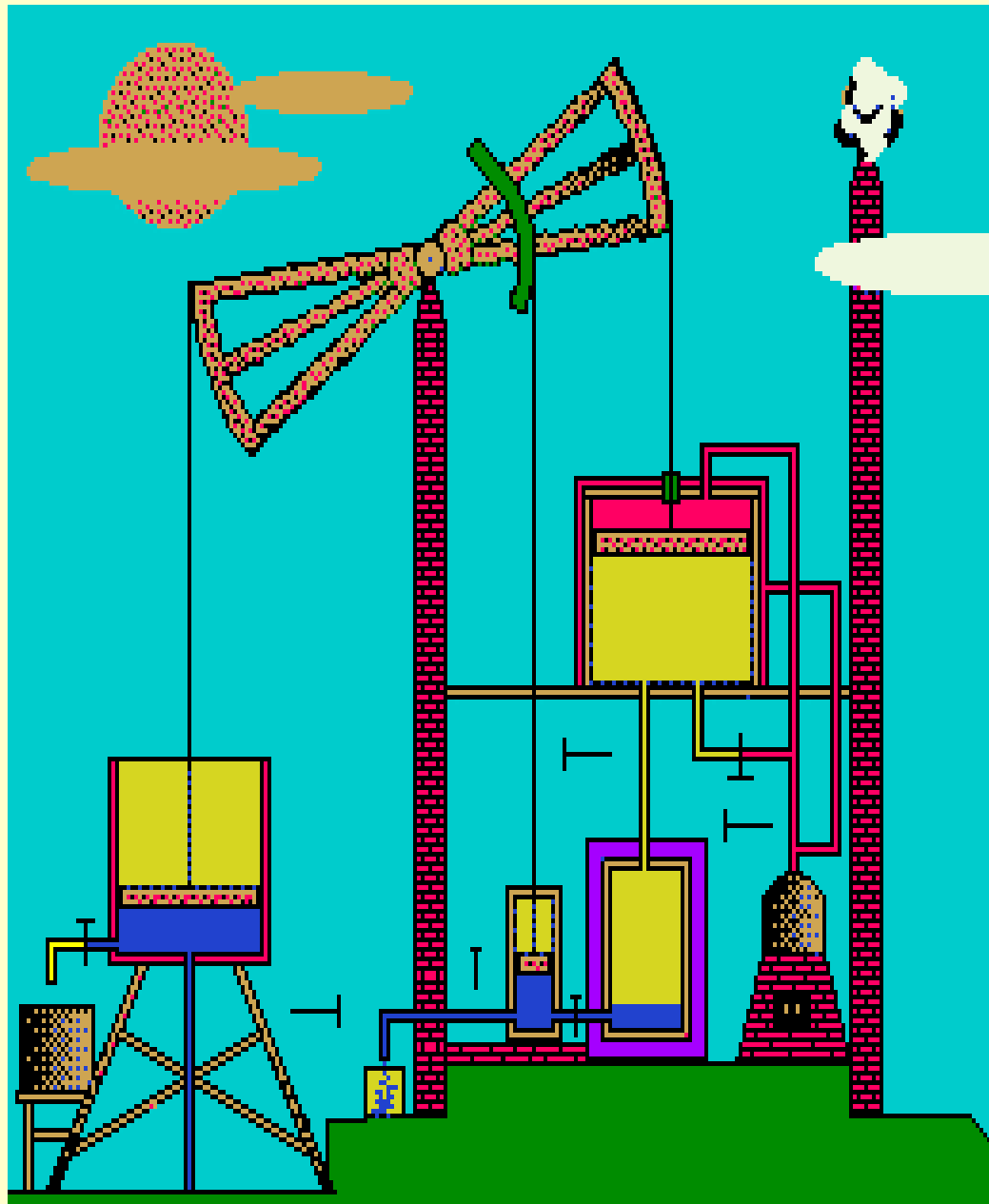
Il mio metodo di ridurre il consumo di vapore, e conseguentemente di combustibili, nelle macchine a fuoco, consiste nei seguenti principi:

Primo: *Quel recipiente in cui la potenza del vapore deve essere impiegata per azionare la macchina, che è chiamato cilindro nelle comuni macchine a fuoco, e che io chiamo recipiente per il vapore, deve, durante tutto il tempo che la macchina è in funzione, essere mantenuto caldo come il vapore che vi entra; in primo luogo racchiudendolo in una fodera di legno o qualunque altro materiale che trasmetta il calore lentamente; in secondo luogo circondandolo con vapore od altri corpi caldi; ed in terzo luogo, impedendo sia all'acqua che a qualunque altra sostanza più fredda del vapore di entrare o di toccarlo durante quel tempo.*

Secondo: *Nelle macchine che devono essere azionate interamente o parzialmente dalla condensazione del vapore, il vapore deve essere condensato in recipienti separati da quelli del vapore o cilindri, benché occasionalmente comunicanti con essi; io chiamo condensatori questi recipienti e, mentre le macchine sono in funzione, questi condensatori dovrebbero essere mantenuti freddi almeno come l'aria in vicinanza delle macchine, mediante l'applicazione di acqua o di altri corpi freddi.*

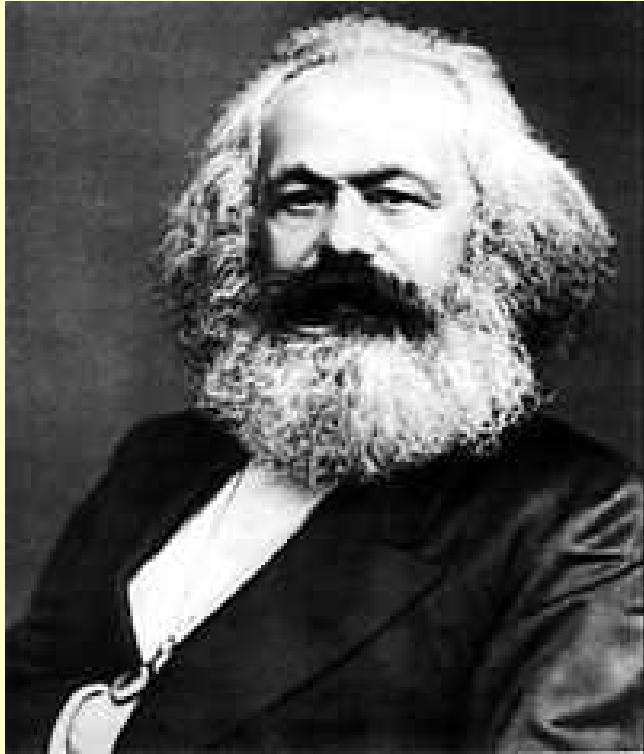
Terzo: *Qualunque quantità d'aria o di altro vapore elastico che non venga condensata dal freddo del condensatore, e possa impedire il funzionamento della macchina, deve essere espulsa dai recipienti del vapore o dai condensatori per mezzo di pompe, azionate dalle macchine stesse, od in altro modo.*

Quarto: *Ho intenzione in molti casi di impiegare la forza espansiva del vapore per premere sui pistoni, o qualunque cosa possa essere usata al loro posto; nello stesso modo in cui la pressione dell'atmosfera viene ora impiegata nelle comuni macchine a fuoco. In casi in cui non si può avere acqua fredda in abbondanza, le macchine possono essere azionate da questa sola forza del vapore scaricando il vapore nell'aria dopo che esso ha svolto il suo compito.*



La versione definitiva della nuova macchina di Watt, in uso nel 1788, consumava meno di 1/3 di quella di Newcomen, aveva il cilindro chiuso e mantenuto caldo da una camicia di vapore.

Il condensatore, era raffreddato e tenuto vuoto con una pompa. Quando lo stantuffo si trovava al punto morto superiore veniva aperta la valvola di scarico per produrre un vuoto sotto di esso, dall'altra parte (sopra) veniva fatto entrare il vapore. Il pistone scendeva sia per effetto della pressione atmosferica che per la forza del vapore. Col pistone al punto morto inferiore veniva chiusa la valvola di immissione vapore e aperta la valvola equilibratrice che metteva in comunicazione la parte superiore del cilindro con quella inferiore. Lo stantuffo, avendo adesso ugual pressione da ambo le parti, veniva tirato in alto dal peso dell'asta e dello stantuffo della pompa che scendevano per il loro grande peso. Notare il condensatore raffreddato da una camicia di acqua fredda e il cilindro riscaldato da una camicia di vapore caldo.



*Quando gli strumenti, fino ad allora, mossi dall'organismo umano, si trasformarono in strumenti di un congegno meccanico, cioè diventarono macchine utensili, anche **la macchina motrice ricevette una forma indipendente, completamente emancipata dai limiti della forza umana.***

*In una officina dove l'oggetto del lavoro percorre una serie continua di processi gradualmente differenti, eseguiti da una catena di macchine utensili diverse, si ripresenta **la divisione del lavoro**, già attuata nella manifattura precedente: ma ora si presenta come una combinazione di macchine operatrici parziali.*

Nella manifattura sono gli operai che eseguono col loro strumento ogni processo parziale. L'officina mossa dalla forza del vapore diventa un solo grande automa dove l'operaio ha compiti di sorveglianza o poco più.

La grande industria si trovò costretta a produrre macchine mediante macchine.

*Per produrre macchine mediante macchine era necessaria una macchina motrice capace di qualunque potenzialità di forza. **Questa macchina esisteva già: era la macchina a vapore***

***Lo strumento artigiano diventa ciclopico:** l'operatore del trapano meccanico è un immenso succhiello mosso da una macchina a vapore, senza il quale non sarebbe possibile produrre i cilindri delle macchine a vapore e quelli delle presse idrauliche.*

Il tornio meccanico è la rinascita ciclopica del comune tornio a pedale; la piallatrice meccanica è un falegname di ferro che lavora sul ferro con gli stessi strumenti del falegname che lavora sul legno

Karl Marx



Finalmente un grande sforzo intellettuale sui principi!

Antoine Laurent de Lavoisier

E' stato un grande chimico francese. Enunciò il principio di conservazione della massa, scoprì l'Ossigeno, confutò la teoria del calore basata sul flogisto, introdusse con Laplace e Fourier la teoria del calorico senza però arrivare a comprendere la teoria molecolare del calore.

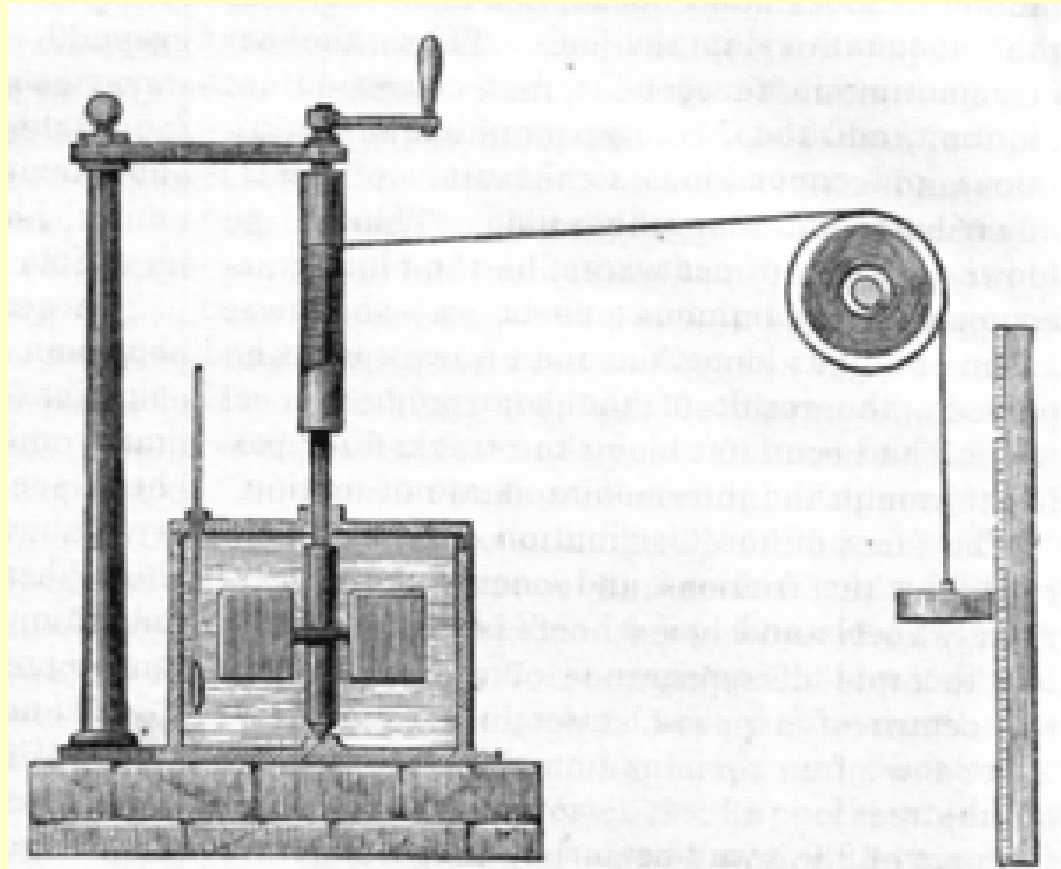
Introdusse la nomenclatura chimica. Viene indicato il padre della chimica moderna.

Divenne Fermier General (esattore delle imposte); questo incarico gli fu fatale durante la Rivoluzione Francese, venne condannato a morte e ghigliottinato.

Il commento di Lagrange:

“E' bastato un attimo per tagliare questa testa, non basteranno cento anni per crearne una simile”

Verso la conservazione dell'energia allargata al calore !!!



Il fisico inglese James Prescott Joule fu tra i primi scienziati a eseguire misure accurate di cambiamenti di temperatura e di quantità di calore scambiate tra diversi sistemi termodinamici. Convinto che il calore fosse una forma di energia, Joule realizzò i famosi esperimenti con il calorimetro a mulinello che gli permisero di verificare l'equivalenza tra energia meccanica e calore! Siamo arrivati al Primo Principio della Termodinamica!!!!

Verso il Secondo Principio della Termodinamica !!!



Nicolas Léonard Sadi Carnot

Fisico ed ingegnere del genio militare francese nella sua opera “Riflessioni sulla forza motrice del fuoco” dette la prima interpretazione teorica delle macchine termiche ponendo le basi del Secondo Principio della Termodinamica

“... occorre elaborare dei ragionamenti applicabili non solo alle macchine a vapore, ma a qualsiasi macchina termica immaginabile, qualunque sia la sostanza adoperata e quali che siano le azioni a cui essa è sottoposta”



A. Volta



J. Dalton



J. L. Gay-Lussac



P. Dulong

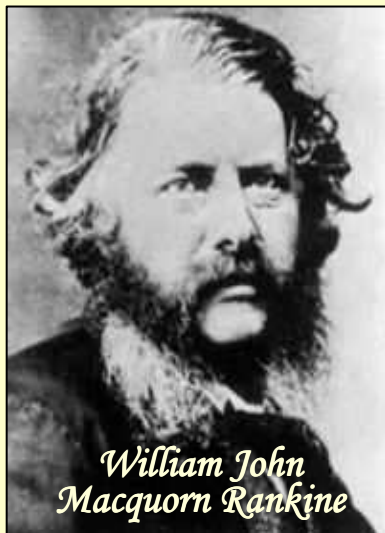
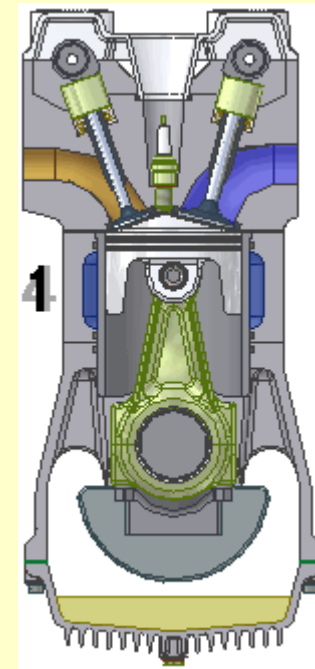
Nel frattempo grandi fisici studiavano le proprietà dei gas, arrivando a definirne le proprietà di stato, i calori specifici, il comportamento delle principali trasformazioni

...e grandi ingegneri concepivano le macchine che avrebbero cambiato la nostra vita!

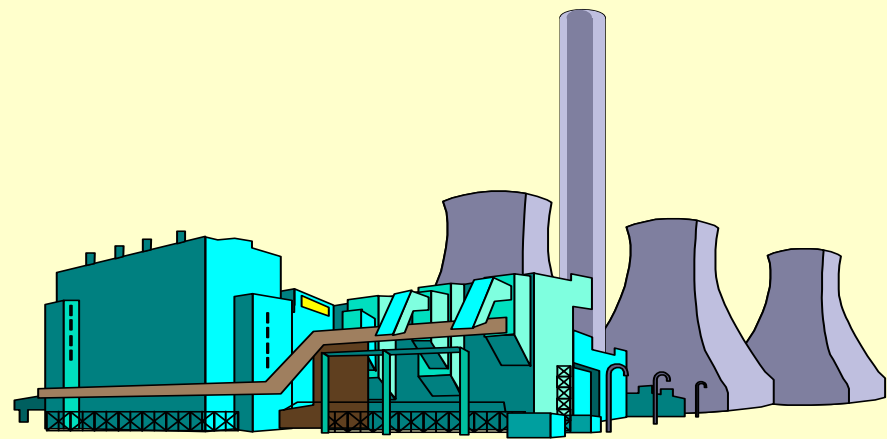
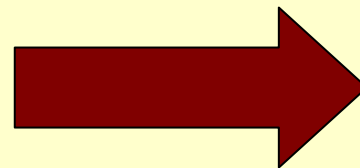
Nikolaus August Otto



Rudolf Diesel



*William John
Macquorn Rankine*



*La scienza di base prende due strade diverse;
riusciranno a riconciliarsi ?*

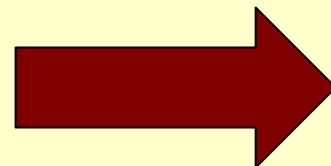
*Carnoy
Kelvin
Clausius*



Termodinamica

*Pochi principi generali di valenza
universale, indipendenti dalle caratteristiche
specifiche delle sostanze, basati sulle
grandezze macroscopiche, come temperatura
e pressione*

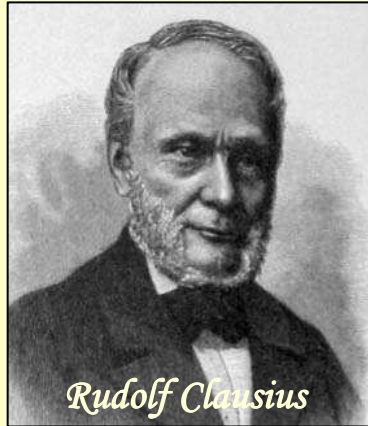
*Maxwell
Boltzman
Gibbs*



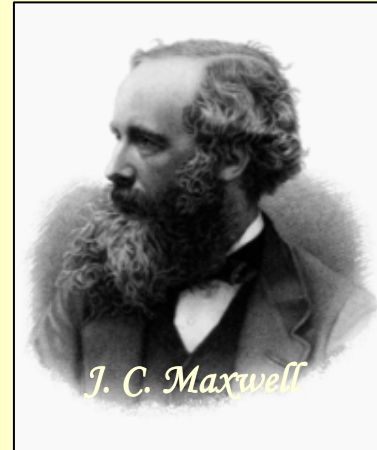
Meccanica statistica

*Tentativo poi riuscito di calcolare le
proprietà macroscopiche attraverso un
modello microscopico del calore basato
sulla velocità delle molecole*

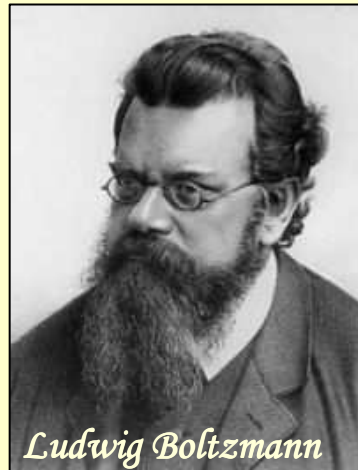
I quattro giganti della Termodinamica



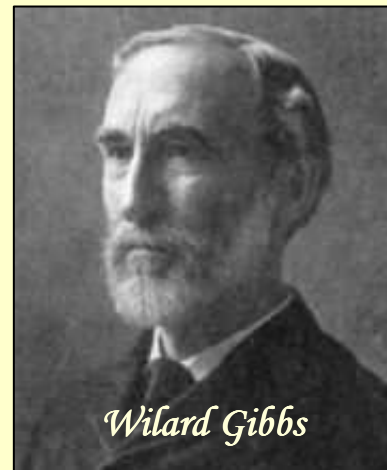
Grande intuizione nel riformulare il secondo principio della termodinamica attraverso una nuova grandezza l'entropia che consente di quantificare l'evoluzione dei sistemi verso l'equilibrio



A livello microscopico Maxwell definì la distribuzione delle molecole di un gas caldo, correlandola con la temperatura e con il peso molecolare (1860)



Boltzmann definì la distribuzione di probabilità dell'energia delle molecole. Il calore viene così correlato non solo all'energia ma anche al modo con cui essa si distribuisce a livello molecolare. (1877)



Tra il 1901 ed il 1903 Gibbs sviluppò la formulazione generale della Meccanica Statistica, a partire dalla teoria cinetica dei gas. Trovano conferma a livello microscopico le leggi macroscopiche della Termodinamica

L'entropia, la grande idea che quantifica due aspetti connaturati al mondo reale:

- *L'imperfezione dei processi naturali*
- *L'esaurimento progressivo delle potenzialità energetiche*

Implicazioni fisiche

- *Il calore va dal corpo più caldo a quello più freddo in maniera spontanea ma non viceversa*
- *Un sistema di molecole ordinato si porta spontaneamente verso una condizione di disordine*

Implicazioni metafisiche

- *Il tempo non può invertire l'ordine del suo corso (irreversibilità del nesso "causa effetto")*
- *La materia tende spontaneamente a degradare la sua configurazione ordinata ("morte")*

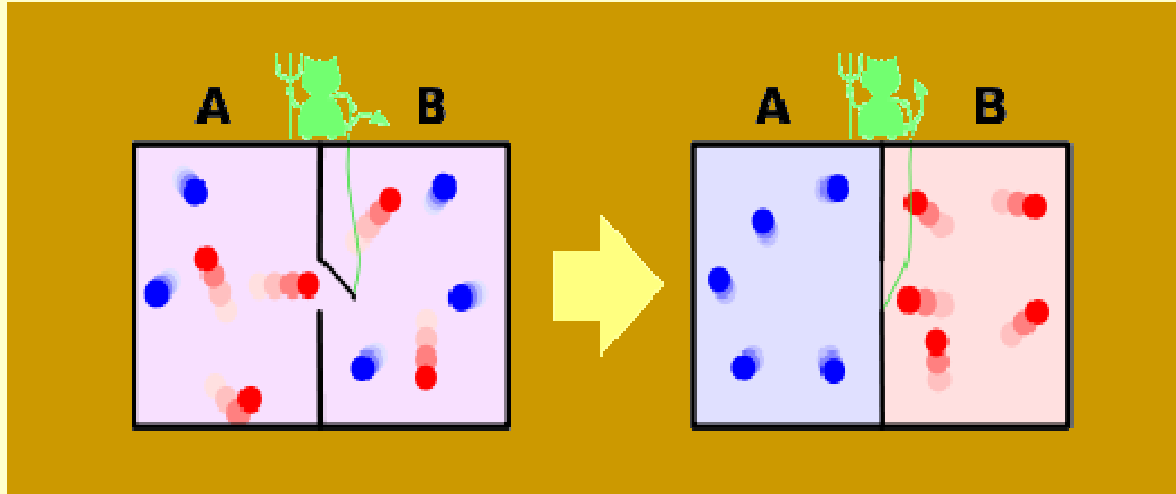
*Il grande dibattito sul secondo principio
e la teoria cinetica del calore*

Una domanda impertinente!

*“Se il calore è essenzialmente energia meccanica
come si spiega l’enigma dell’irreversibilità?”*

Maxwell

Il paradosso del diavoleto: è possibile passare dallo stato ordinato senza spendere energia, solo con un misterioso diavoleto che seleziona le molecole



Il diavoleto apre la piccola botola quando vede una molecola dirigersi verso questa con velocità B

La fisica moderna con la teoria quantistica ed il principi di indeterminazione ha spiegato il paradosso . Per misurare la velocità della molecola il diavoleto ha bisogno di spendere una certa energia, (quella del fotone per osservare la molecola). L'energia calcolata in questo modo è effettivamente quella che occorre per ricostruire l'ordine iniziale

Poincarè

Teorema della ricorrenza

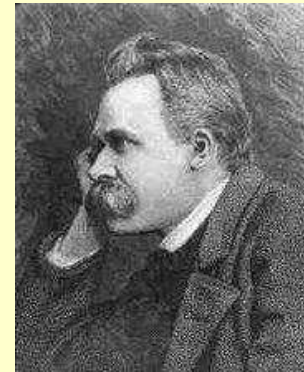
Un sistema isolato e confinato in uno spazio finito ritorna infinite volte in uno stato arbitrariamente vicino a quello iniziale



Nietzsche

Mito dell'eterno ritorno

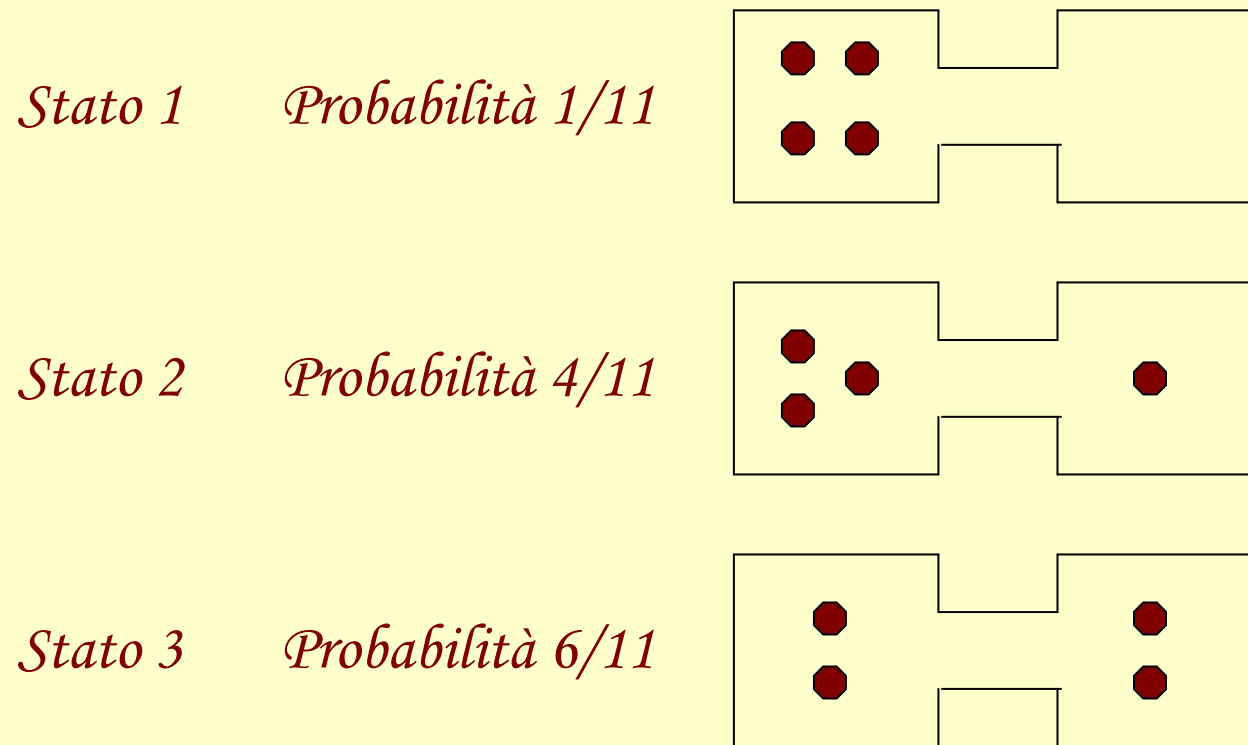
In un sistema finito, con un tempo infinito, ogni combinazione può ripetersi infinite volte (Così parlò Zarathustra)



Boltzman

- *Calcolò che il tempo di ricorrenza per un centimetro cubo di gas era superiore a 10 miliardi di anni, pressappoco l'età dell'universo*
- *Un evento è di fatto impossibile se ha una probabilità molto bassa*
- *“Se si rompe un piatto è inutile aspettare che esso possa aggiustarsi da solo”*

La probabilità risolve l'enigma ... grande intuizione di Boltzmann!



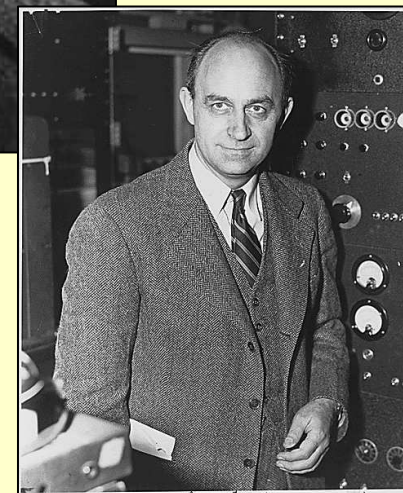
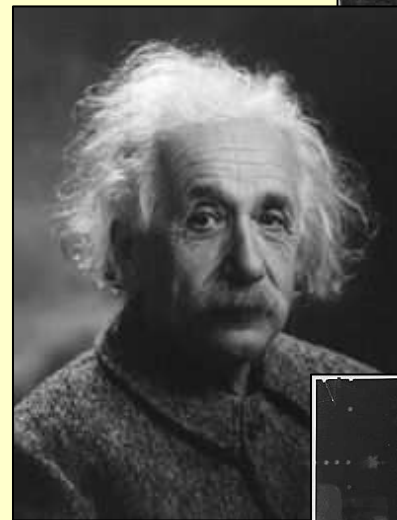
$$S = k \ln W$$
$$S_3 > S_2 > S_1$$

Boltzmann è isolato dalla scienza ufficiale

- *Mach, Ostwald e Kelvin lo osteggiano fortemente*
- *Maxwell e Clausius muiono e Boltzmann scrive:*

“Sarebbe una grande tragedia per la scienza se la teoria cinetica dei gas cadesse nell’oblio come avvenne per la teoria ondulatoria osteggiata da Newton”

- *Solo nel XX secolo fu riconosciuta la validità della sua teoria per merito di Planck, Bose, Einstein, Fermi*

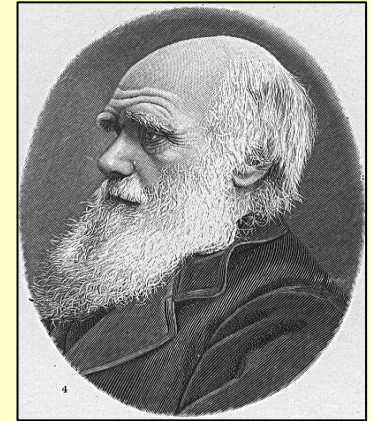


Una nuova sfida ... la termodinamica della vita!!

Una domanda ambiziosa!

“Può la termodinamica spiegare il formarsi della vita?”

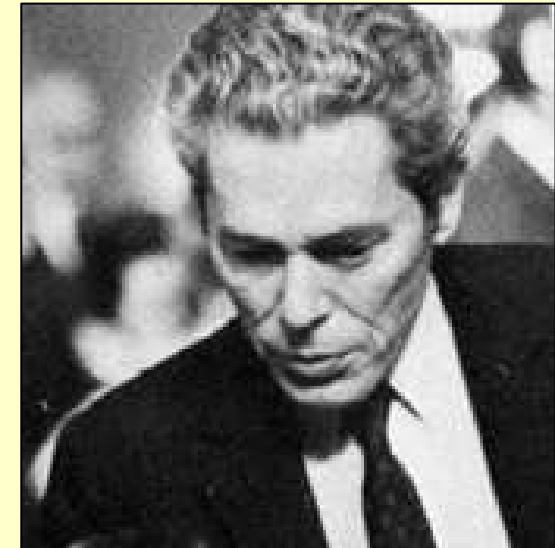
La rivisitazione di Darwin



Jacques Lucien Monod

Biologo francese, premio Nobel per la Medicina

*L'organizzazione di ogni forma vivente è determinata dal DNA che, attraverso le proteine, trasforma le informazioni in strutture e funzioni biologiche ben definite. E' il **Caso** a modificare il DNA attraverso fluttuazioni quantistiche, non ci sono Demiurghi esterni. Appena la modifica si è verificata, essa verrà deterministicamente e fedelmente riprodotta in moltissimi esemplari dal sistema di replicazione dell'organismo stesso, che opera con **Necessità** inderogabile. La selezione naturale privilegia poi le strutture più adatte*



« É del tutto cretino pensare che una cellula viva abbia potuto nascere per caso. Però non vedo altra alternativa. »

Determinismo e complessità

La termodinamica spiega l'enigma!!!

Ilya Prigogine

Chimico, premio Nobel per la Chimica

Nel pensiero di Prigogine ha un'importanza cruciale il concetto di Entropia; ogni processo naturale è irreversibile e tende ad aumentare la sua entropia (e quella dell'ambiente in cui si trova). Tuttavia in natura esistono organismi viventi in grado di auto organizzarsi, assorbendo energia e diminuendo la propria entropia a discapito dell'ambiente, vincolati ad un maggior o minor disordine entropico



"Il reale è meno ricco del possibile"

Il formarsi della vita ha quindi una probabilità estremamente bassa, ma può accadere in virtù della enorme complessità dell'universo!!!!

butterfly effect

“il battito delle ali di una farfalla in Brasile, a séguito di una catena di eventi, può provocare una tromba d'aria nel Texas”

Edward Lorenz, Conferenza annuale della American Association for the Advancement of Science, dicembre 1979

I sistemi lontani dall'equilibrio a causa della loro non linearità possono dar luogo ad organismi complessi, a seguito di una fluttuazione casuale. La non linearità è il motivo della imprevedibilità dell'organismo e quindi della variabilità delle speci viventi.

Tutto avviene però rispettando il secondo principio della termodinamica. Il processo è irreversibile e la vita è quindi possibile a spese dell'ambiente che ci circonda ed è destinata a disgregarsi nel disordine dell'ambiente stesso



*“Siamo tutti nati nel passato, e moriremo tutti nel futuro: soltanto in un romanzo come *La freccia del tempo* di Martin Amis, la vita di una persona può andare dalla bara alla culla, invece che dalla culla alla bara. La direzione dal passato al futuro è la stessa che va dall'ordine al disordine: solo in un film proiettato al contrario, infatti, una tazza a pezzi sul pavimento può ricomporsi e saltare sul tavolo, invece che cadere e rompersi”*

Piergiorgio Odifreddi

.... per finire una frase di Monod

“...l'uomo deve infine ridestarsi dal suo sogno millenario per scoprire la sua completa solitudine, la sua assoluta stranezza. Egli ora sa che, come uno zingaro, si trova ai margini dell'universo in cui deve vivere. Universo sordo alla sua musica, indifferente alle sue sofferenze, ai suoi crimini”

La termodinamica non può certo rimediare a questo disagio esistenziale, ma forse può aiutarci a sentirsi un po' meno estranei