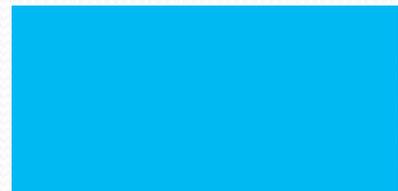


CONFERENZA - DIBATTITO POLITECNICO MI. INTRODUZIONE PERCHE'

- **NOVEMBRE 2015**
- **INGEGNERI E TECNICI DEL TRIANGOLO INDUSTRIALE MILANO – GENOVA – TORINO**
- **COLLEGHI PRESENZA IN GRANDI GRUPPI**
- **SPIRITO DEL PRODUTTORE**

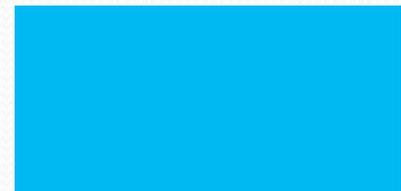




CONFERENZA - DIBATTITO POLITECNICO MI. INTRODUZIONE

COSA

- **PRESENZA SINDACALIZZAZIONE**
- **ORIENTAMENTO**
- **SPIRITO di COALIZIONE**
- **NECESSITÀ SINDACATO EUROPEO**

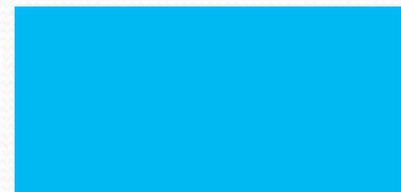




CONFERENZA - DIBATTITO POLITECNICO MI. INTRODUZIONE

STRUMENTI

- **BOLLETTINO**
 - Editoriale
 - Grandi Gruppi Europei
 - Informativa tendenze
 - L'ingegnere nella storia
 - Reporting incontri confronto esperienze in Europa
- **INCONTRI del Coordinamento**
 - Informativa generale
 - Approfondimenti
 - Confronto dibattito
 - Dalle aziende
 - Coordinamento





POLITECNICO DI MILANO - 19 Febbraio

CONFERENZA - DIBATTITO

Nascita della termodinamica e rivoluzione industriale

Relatore: Franco Prati
Università dell'Insubria
Dipartimento di scienza e alta tecnologia

- Per contatti: coordinamento.ing.tec@gmail.com





Prima metà del XIX secolo:

TERMODINAMICA = scienza del calore

Basata su principi fondamentali (Feynman):

I principio: l'energia dell'universo si conserva

II principio: l'entropia dell'universo aumenta

Einstein: «la termodinamica è la sola teoria fisica di natura generale
che sono convinto non sarà mai sovvertita»

Nasce con la rivoluzione industriale ignorata dal mondo accademico

CARNOT - STUDIO DELL'EFFICIENZA DELLE MACCHINE A VAPORE

JOULE - EQUIVALENTE MECCANICO DEL CALORE

**RUMFORD, MAYER, HELMHOLTZ – FORMULAZIONE DEL PRINCIPIO
DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA**

La forza meccanica, il calore, la luce, l'elettricità, il magnetismo, le reazioni chimiche sono particolari forme , modi di essere di un'unica energia.

XVII-XVIII secolo: due teorie del calore

calore = movimento di corpuscoli (teoria cinetica)

Eulero (1738):

«il calore consiste in un certo moto delle piccole particelle dei corpi»

Daniel Bernoulli (1738):

«i gas sono costituiti da particelle in rapido movimento in tutte le direzioni
pressione e temperatura sono gli effetti macroscopici del moto microscopico»

calore = sostanza (calorico)

De Boerhaave (1705):

parla di «quantità di fuoco», sostanza materiale che può passare da un corpo a un altro ma non si può creare né distruggere

Joseph Black:

costruisce il calorimetro a ghiaccio

Lavoisier (1789):

parla di «calorico», elemento simile all'idrogeno e ad altri elementi

conservazione del calorico equivale a conservazione della massa

SE IL CALORICO SI CONSERVA NON PUO' TRASFORMARSI IN QUALCOS'ALTRO

Lavoisier e la respirazione

Usando il calorimetro a ghiaccio inventato da Black, la quantità di CO₂ prodotta dalla respirazione di un porcellino d'India e dalla combustione del carbone «la respirazione è una combustione, molto lenta, ma esattamente simile a quella del carbone». **La stessa reazione chimica può produrre calore o lavoro**

Laplace e la velocità del suono

Newton, usando la legge di Boyle $pV = \text{costante}$ se $T = \text{costante}$

aveva trovato il valore troppo basso $v_{s,Newton} = \sqrt{\text{pressione/densità}} \approx 280 \text{ m/s}$

Laplace **assumendo che il calorico si conservi** usa la legge di Poisson

$$pV^\gamma = \text{costante}, \quad \gamma = c_p / c_v = 1.4 \quad \text{per l'aria}$$

e trova il valore corretto $v_{s,Laplace} = v_{s,Newton} \sqrt{\gamma} \approx 330 \text{ m/s}$

Interpretato come successo della teoria del calorico.

In realtà funziona perché il processo è adiabatico (non c'è scambio di calore)

La famiglia Carnot

Lazare (1753-1823) – Generale, membro del direttorio durante la Rivoluzione
Matematico (teorema del coseno) – Fisico (energia persa in un urto anelastico)
Ideatore dell'Ecole Polytechnique e dell'Ecole Normale. Dal 1815 in esilio a Magdeburgo.

Sadi (1796-1832)



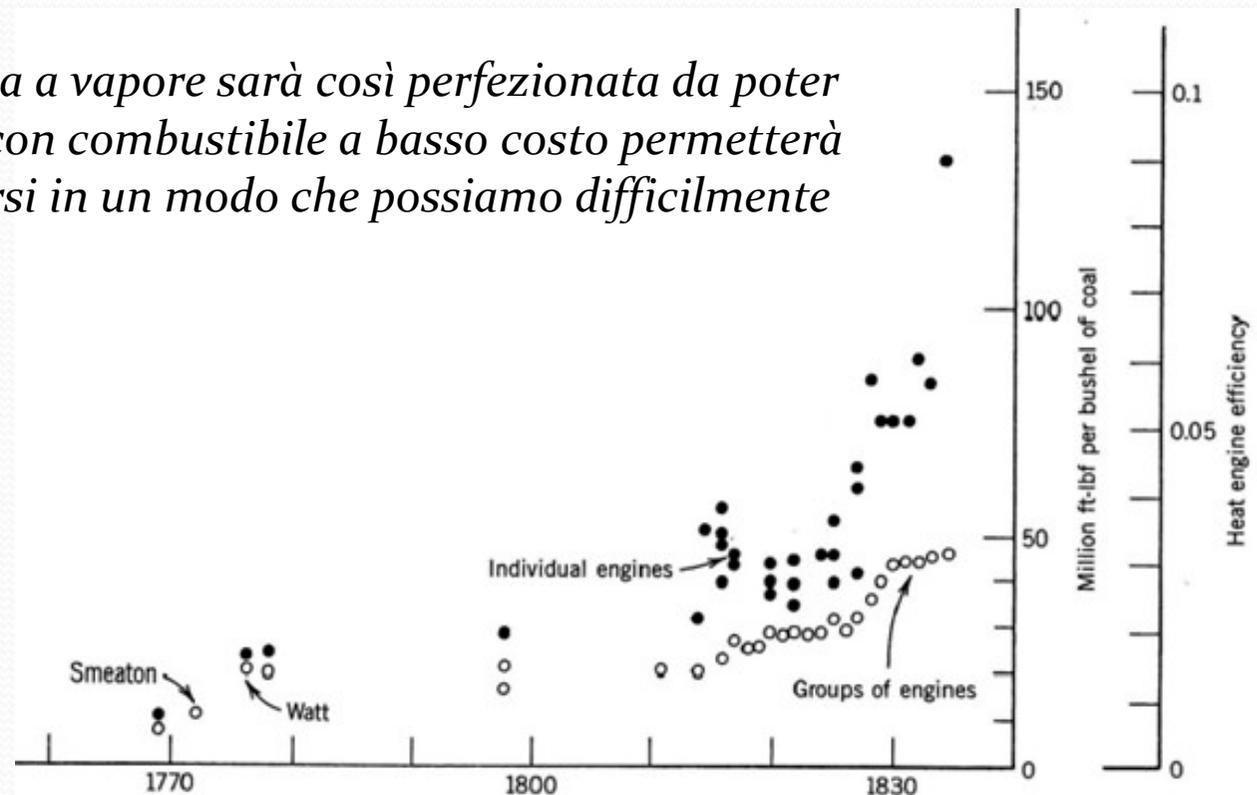
Hyppolite (1801-1888) – politico
repubblicano
all'opposizione con Luigi Filippo
ministro dell'istruzione nel 1848
all'opposizione con Napoleone III

Sadi (1837-1894) – presidente della
repubblica dal 1887 al 1894
Ucciso da anarchico italiano
Sante Caserio

1824: Reflections sur la puissance motrice du feu

Già ora la macchina a vapore fa funzionare le nostre miniere, muove le nostre navi, scava i nostri porti e i nostri fiumi, forgia il ferro, modella il legno, macina il grano, tesse i nostri abiti, trasporta i più grandi pesi. E' probabile che servirà un giorno come motore universale, sostituendo gli animali, l'acqua e il vento.

Se un giorno la macchina a vapore sarà così perfezionata da poter essere fatta funzionare con combustibile a basso costo permetterà all'industria di svilupparsi in un modo che possiamo difficilmente prevedere.



Carnot e la macchina a vapore

Nonostante il lavoro di ogni tipo prodotto dalle macchine a vapore, nonostante il livello di funzionamento raggiunto, la loro teoria è poco compresa e i tentativi per migliorarle sono ancora dettati dal caso

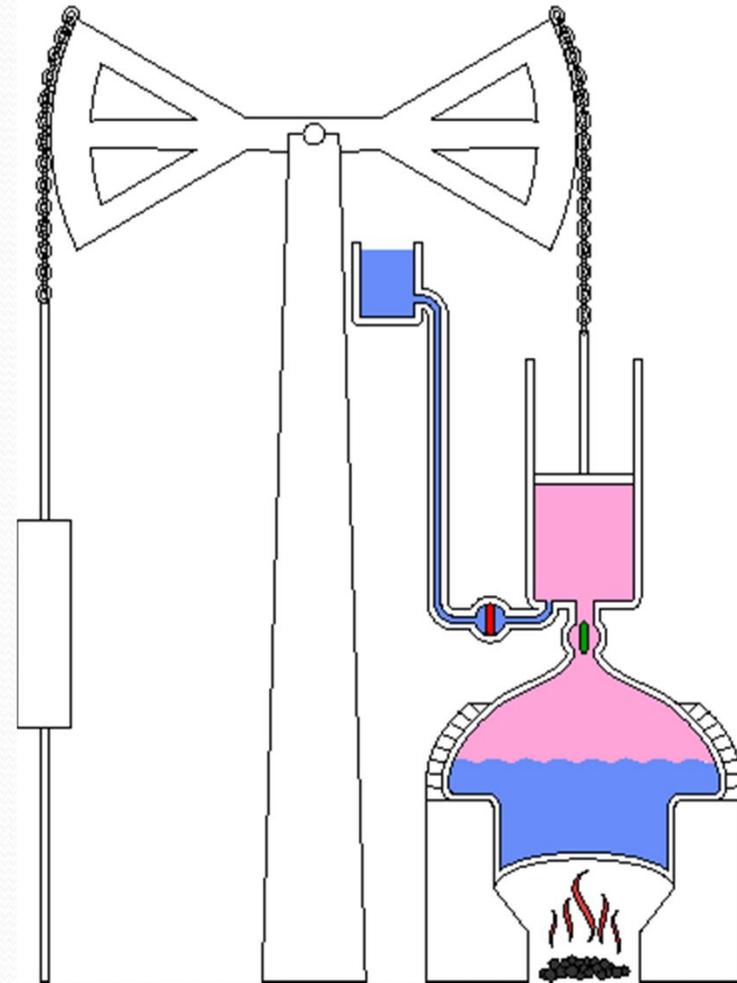
DOMANDE:

Che legame c'è tra il lavoro prodotto e la quantità di calore utilizzata ?

C'è un limite superiore a questo lavoro e come ci si può avvicinare a questo limite ?

Se si usa un fluido diverso dall'acqua, ad esempio l'aria, si può produrre più lavoro ?

Newcomen:



Il teorema di Carnot

$$\text{efficienza massima} = \frac{\text{lavoro prodotto}}{\text{calore fornito}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = \frac{\Delta T}{T_2}$$

Esempio:

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 293\text{K}$$

$$T_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C} = 373\text{K}$$

$$\text{rendimento} = \frac{\Delta T}{T_2} = \frac{80}{373} = 0.21 = 21\%$$

L'efficienza massima si ottiene quando non c'è nessun processo irreversibile.
Bisogna evitare il passaggio di calore diretto tra corpi a diversa temperatura

Il mezzo utilizzato è indifferente

Per avere il massimo rendimento bisogna aumentare la differenza tra T_2 e T_1

Se questa differenza è fissata, bisogna lavorare a temperature più basse

Sadi Carnot e la macchina termica ideale

Cardwell: «da Galileo in poi è difficile pensare a un'astrazione più efficace nella storia della scienza»

Galileo:

Senso comune: un corpo si muove finché è soggetto a una forza.

Velocità proporzionale alla forza: $F = mv$

Ma se si elimina l'attrito, si scopre che l'accelerazione è proporzionale alla forza $F = ma$

In assenza di una forza un corpo si muove con velocità costante (principio d'inerzia).

Se teniamo conto dell'attrito $ma = F - bv$ $a = 0 \leftrightarrow bv = F$

Carnot:

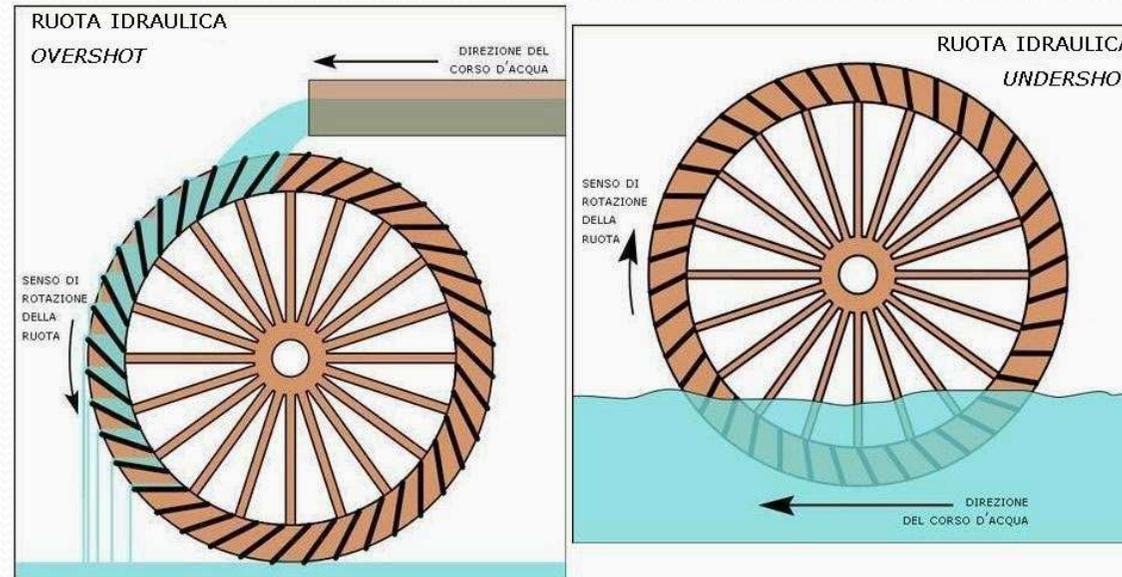
Apparentemente l'efficienza della macchina termica dipende dalle varie componenti della macchina e dal mezzo usato.

Ma se si astrae da tutti i processi che possono portare a uno spreco di energia il rendimento della macchina dipende solo dalle due temperature

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Il rendimento delle macchine all'epoca era il 5% !!!!

Lazare Carnot e la macchina idraulica ideale

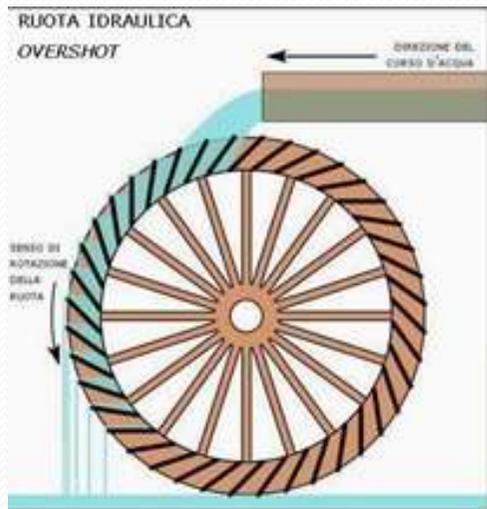


MACCHINA IDEALE: massimo rendimento se l'acqua entra nella ruota senza turbolenza ed esce a velocità praticamente nulla e se si elimina l'attrito nella ruota. Allora la ruota messa in moto dalla caduta dell'acqua può mettere in moto un'altra ruota che solleva l'acqua ad un'altezza uguale al diametro della ruota. La macchina è reversibile. Principio di conservazione dell'energia meccanica La **vis viva** è equivalente al **momento di attività** (forza per distanza)

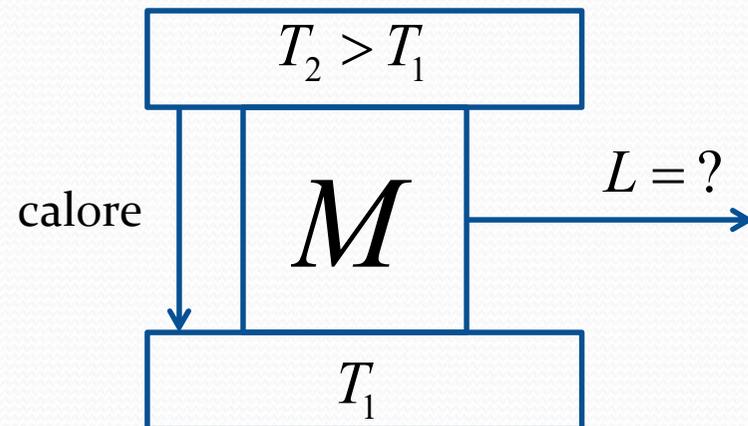


Coriolis: forza per distanza = lavoro (1829)

Sadi condizionato da Lazare



$$L = mgh$$

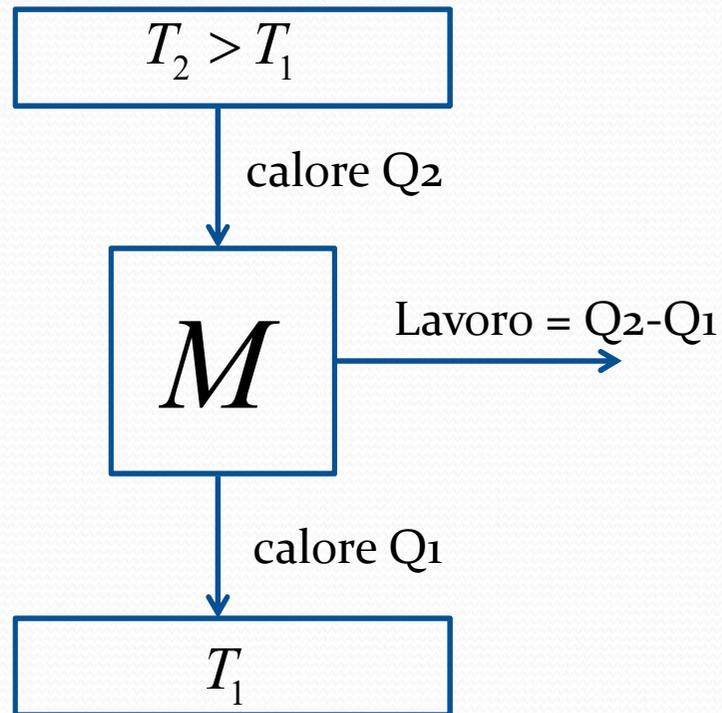


Il rendimento è massimo se gli scambi di calore sono legati solo a cambiamenti di volume e pressione del vapore . In questo caso la macchina è reversibile

Nella ruota idraulica la forza motrice prodotta dipende dalla massa dell'acqua e dall'altezza della caduta. Nella macchina termica la forza motrice prodotta dipende dalla quantità di calore che passa dal corpo caldo a quello freddo e dalla differenza di temperatura. MA IL CALORE SI CONSERVA

Limiti di Carnot

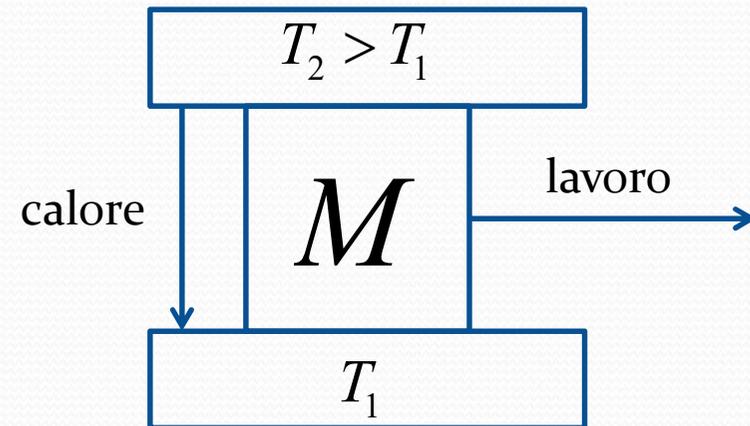
Visione attuale



Il calore si trasforma in lavoro

$$\eta = \frac{L}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

Visione di Carnot



Il calore (calorico) si conserva

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{C(T_2)} \quad \frac{dC}{dT} > 0$$

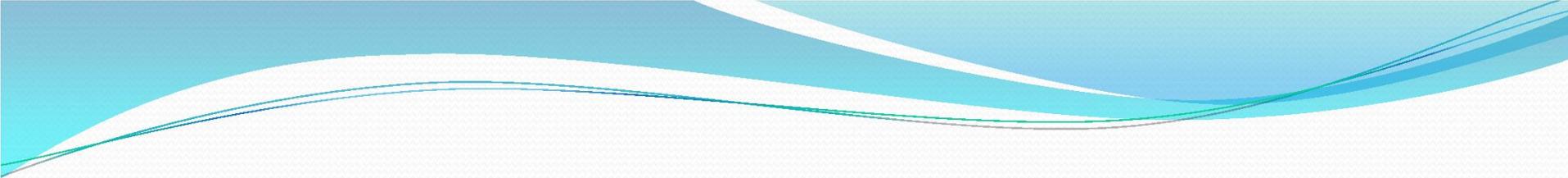
$$Q = K [B(T) - C(T) \log p]$$

(formulazione di Clapeyron)

Carnot oltre il calorico ?

Nota a piè di pagina delle Reflexions:

Assumiamo tacitamente nelle nostre dimostrazioni che quando un corpo, dopo una serie di trasformazioni, ritorna nello stato originale, esso contiene la stessa quantità di calore. Negare questo significherebbe rovesciare l'intera teoria del calore. D'altra parte i principi di questa teoria vanno esaminati attentamente. Molti fatti sperimentali appaiono quasi incomprensibili allo stato attuale della teoria



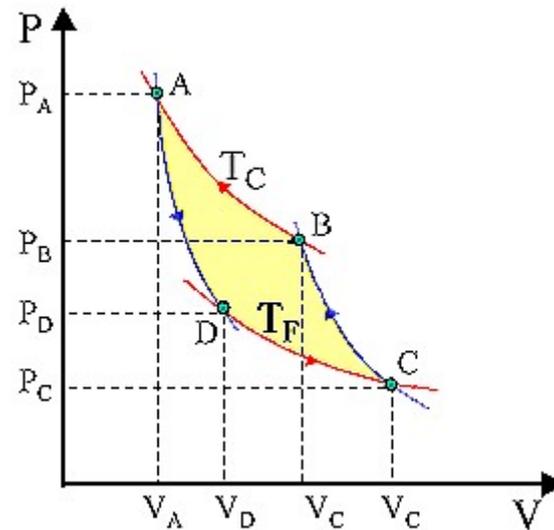
Carnot ignorato dai contemporanei

Due tesi:

1. Carnot era troppo in anticipo sui tempi per essere capito dagli scienziati francesi di quegli anni
2. Sadi, figlio di Lazare, uno dei principali protagonisti della Rivoluzione francese, non aveva il supporto degli scienziati che avevano accettato la restaurazione borbonica

Clapeyron

L'articolo di Carnot viene ignorato per dieci anni
(1834) «Memoire sur la puissance motrice de la chaleur»



Piano di Clapeyron

«Una quantità di azione meccanica e una quantità di calore che può passare da un corpo caldo a uno freddo sono quantità della stessa natura e sostituibili una all'altra. Lo stesso accade in meccanica, dove un corpo che può cadere da una data altezza e una massa in moto con una data velocità sono quantità dello stesso ordine, che sono trasformabili l'una nell'altra con mezzi fisici»

$$mgh = \frac{m}{2}v^2$$

Principio di conservazione dell'energia meccanica

La situazione attuale

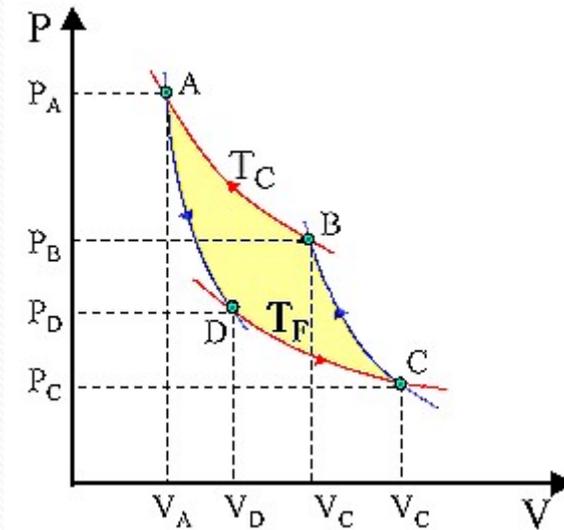
$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

La temperatura inferiore T_1 è quella dell'ambiente
Per aumentare il rendimento bisogna aumentare la
temperatura superiore T_2 e quindi aumentare la
pressione

La sfida di oggi è costruire turbine a vapore che
lavorano a temperatura e pressione sempre più alte

1900: temperatura 280 gradi, pressione 10 bar, rendimento: 5% (ideale: 50%)
2000: temperatura 540 gradi, pressione 170 bar, rendimento: 30% (ideale: 66%)
Oggi: temperatura 610 gradi, pressione 300 bar, rendimento: 45% (ideale: 69%)

Centrale nucleare di Olkiluoto, Finlandia, più grande turbina a vapore del mondo
Potenza: 1.6 GW = 2 milioni CV
Più del doppio di tutti i cavalli che lavoravano in Gran Bretagna nel 1750 !!



La scienza inglese nel XIX secolo

Cardwell: «le tre maggiori conquiste della scienza fisica nel XIX secolo sono state:

- Teoria chimica atomica (Dalton – Manchester)
- Principio di conservazione dell'energia (Joule – Manchester)
- Teoria dell'elettromagnetismo (Maxwell – Edimburgo)

- William Thomson (Lord Kelvin-Glasgow)

Il contributo di Oxford e Cambridge quasi nullo

Importanza degli ISTITUTI MECCANICI che nascevano spontaneamente nelle città industriali su iniziativa di ricchi borghesi o di operai qualificati.

Nessun ruolo dello stato.

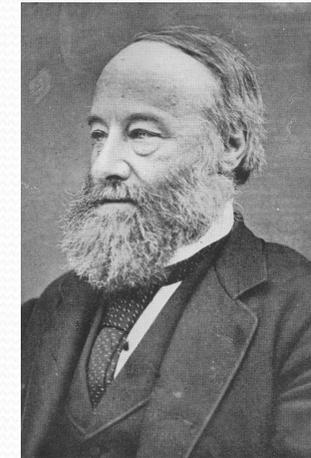
British Association for the Advancement of Science (BAAS) fondata nel 1831
in contrapposizione con la Royal Society

James Prescott Joule (1818-1889)

1829: William Joule & Son è il più grande birrificio di Manchester

James viene mandato a studiare chimica presso Dalton
Oltre alla chimica studia gli elementi di Euclide

1832: viene inventato il motore elettrico ,
basato sulla pila di Volta



Joule pensa di sostituire la macchina a vapore del birrificio con un motore elettrico e si dedica al confronto dell'efficienza tra i due tipi di motore.

Unità di misura:

1 duty = sollevamento di una libbra (453.6 g) all'altezza di un piede (30.5 cm)
($mgh = 0.4536 \times 9.81 \times 0.305 = 1.357$ Joule) per unità di combustibile.

L'effetto Joule

Joule scopre che nei motori elettrici la maggior parte dell'energia viene persa non per l'attrito ma perché la corrente elettrica produce calore (effetto Joule)

$$\Delta Q = RI^2 \Delta t$$

1840: Joule manda un articolo alla Royal Society, non viene pubblicato
«quei gentiluomini di Londra seduti attorno a un tavolo....»

1841: relazione alla Royal Victoria Gallery di Manchester

Motore a vapore Cornish: 1.5 milioni di duties con una libbra di carbone

Motore elettrico: 0.3 milioni di duties con una libbra di zinco (pila di Volta)

Lo zinco costava 60 volte più del carbone: il motore a vapore era 300 volte più efficiente del motore elettrico

Solo con Edison e Tesla (fine XIX sec.) il motore elettrico diventa competitivo

Joule e l'equivalente meccanico del calore

Esperimenti con l'elettricità

1843: saggio sul calore letto a un congresso della BAAS a Cork

«il calore è uno stato di vibrazione , movimento e non sostanza
caldo e freddo non sono due cose diverse ma diversi livelli di intensità
dello stesso moto di vibrazione». Ignorato

«la quantità di calore necessaria per alzare di 1 grado Fahrenheit ($1/1.8$ K)
la temperatura di 1 libbra (453.6 g) di acqua è uguale a, e può essere convertita
in un forza meccanica (lavoro) capace di sollevare 838 libbre per un piede (30.5 cm)»

$$1 \text{ cal} = 4.513 \text{ J}$$

Valore attuale

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

THE ART OF
BREWING AND FERMENTING,
IN THE SUMMER,

AND ALL OTHER SEASONS, TO THE GREATEST ADVANTAGE,

AND THE

Making of Malt,

EXHIBITED IN

ESSAYS, AND DECIMAL TABLES,

ACCURATELY CALCULATED,

THE RESULT OF UPWARDS OF FORTY YEARS' EXPERIENCE;

ALSO

A DESCRIPTION OF THE AUTHOR'S NEWLY-INVENTED

THERMOMETER,

By the Application of which extreme Precision and considerable Saving will be effected:

By **JOHN LEVESQUE,**

FORMERLY OF THE ANCHOR BREWHOUSE, OLD STREET, ST. LUKE'S.

SECOND EDITION.

LONDON,

Printed by **PEARCE & Co.** 10, N. Dow's Lane, and

PUBLISHED BY THOMAS HURST, 65, ST. PAUL'S CHURCH YARD;

And Sold by Grant and Sons, Edinburgh; Cary and Co. Dublin; and all Booksellers.

1836

Tributi di Joule ai predecessori

Locke: «*Heat is a very brisk agitation of the insensible parts of the object, which produces in us that sensation from whence we denominate that object hot, so what is in our sensation **heat**, in the object is nothing but **motion***»

Leibniz: «*The force of a moving body is proportional to the square of its velocity, or to the height to which it would rise against gravity*»

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Rumford: calore prodotto nella lavorazione del ferro

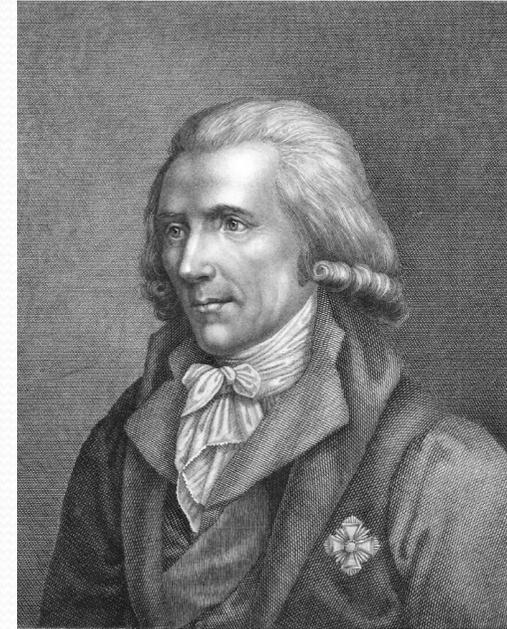
Mayer: osservazioni sul rapporto tra calore e lavoro nel corpo umano

Benjamin Thompson (1753-1814)- conte Rumford

Nato nel Massachusetts da famiglia povera
sposa una ricca vedova

Durante la guerra d'indipendenza scappa in Inghilterra
e diventa sottosegretario di Stato per le Colonie.

Passa in Germania al servizio del principe elettore
della Baviera, ottiene il titolo di
«conte di Rumford del Sacro Romano Impero»
e diventa ministro della guerra



1797: osserva la perforazione di una canna di cannone
Foro di 10 cm di diametro e 18 cm di lunghezza

La temperatura aumenta 38,5 gradi Celsius dopo 960 giri di trapano in 30 minuti
e l'estrazione di 54 grammi di ferro

Troppo calore per così poco materiale:

«il calore non è una sostanza ma l'effetto del moto irregolare delle particelle»

1798: articolo inviato alla Royal Society, pubblicato ma ignorato

«la fonte di calore in questi esperimenti appare inesauribile e non può essere una
sostanza materiale»

Julius Robert von Mayer (1814-1878)

1840: si laurea in medicina e si imbarca come medico di bordo su un mercantile diretto alle Indie Orientali

Epidemia, salassi: il sangue venoso ai tropici è più chiaro che nei paesi freddi, l'opposto di quanto si credeva

Lavoisier: il sangue si scalda per effetto della respirazione che è combustione tra Carbonio (cibo) e Ossigeno (aria)



Il sangue arterioso (dai polmoni ai muscoli) è rosso chiaro perché è ricco di ossigeno
Il sangue venoso (dai muscoli al cuore) è rosso scuro perché è ricco di CO_2
Nei paesi caldi c'è bisogno di meno combustione per mantenere la temperatura corporea, per questo il sangue venoso è più chiaro che nei paesi freddi.

Ma la combustione serve anche a produrre lavoro meccanico, non solo calore.
Il corpo umano è una macchina termica che produce lavoro attraverso il calore.
Lavoro e calore devono essere intercambiabili.

1841: manda articolo a Annalen der Physik und Chemie, rifiutato

«Ci vuole un numero !»

1842: «Osservazioni sulle forze della natura inanimata»

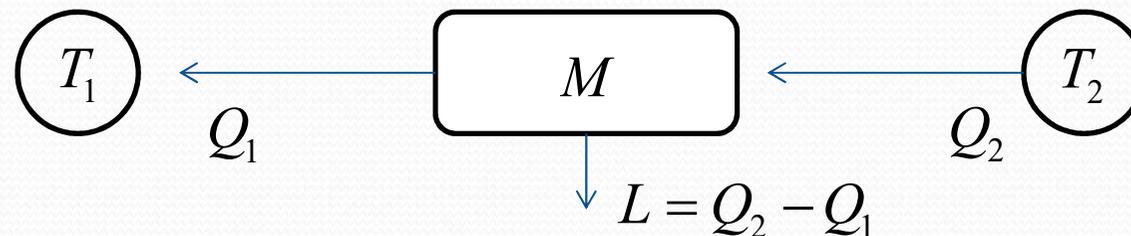
Publicato su Annalen der Chemie und Pharmazie, grazie al chimico Liebig, ignorato dai fisici

1 kcal = lavoro necessario per sollevare di 1 m una massa di 365 kg

$$1\text{kcal} = 9.81 \cdot 365 \cdot 1 = 3581 \text{ J}$$

Il valore attuale è 1 kcal = 4186 J

1845: terzo articolo in cui scrive «nella macchina a vapore il calore che entra è superiore a quello che esce, e la loro differenza è il lavoro utile»



1858: Liebig «padre della scoperta più grande del mondo»

1859: dottorato onorario all'Università di Tubinga

Hermann von Helmholtz (1821-1884)

Medico, fisiologo e fisico

esperimenti sulle rane, dimostra che la combustione che produce energia avviene nei muscoli

1847: «Über die Erhaltung der Kraft»
(sulla conservazione della forza)

«Quel che è stato chiamato finora quantità di calore potrebbe servire d'ora in poi come espressione della quantità di forza viva del movimento termico»

1850: inventa l'oftalmoscopio, strumento per osservare la retina, Scarsa attenzione in Germania, ma diventa famoso in Europa, soprattutto in Inghilterra.

1853-1859: invitato in Inghilterra dalla BAAS, conosce vari scienziati, tra cui William Thomson (Lord Kelvin, Università di Glasgow) che in quegli anni studia Carnot, Clapeyron e Joule, conia il termine «termodinamica», formula il secondo principio

1864: ciclo di conferenze in Gran Bretagna: affermazione definitiva del principio di conservazione dell'energia



Francia

Lavoisier: calore animale

Lazare Carnot: ruota idraulica

Sadi Carnot, Clapeyron: macchina termica

Inghilterra (ingegneri)

Watt: macchina a vapore

Joule: equivalente meccanico

Thomson: secondo principio

Germania (medici e fisiologi)

Mayer: fisiologia umana

Helmholtz: fisiologia animale

Principio di conservazione dell'energia