

# SADI CARNOT

Seminario a cura di Roberto Dovesi

Senior Professor di Chimica-Fisica all'Università degli Studi di Torino

Dipartimento di Chimica

## Com'era la scienza ai tempi di Carnot?

Quando Sadi studia all'Ecole Polytechnique, la sola scienza solida, fondata sulla matematica, e' la Meccanica (anche Astronomica, ovviamente; v. Laplace più sotto).

La chimica, lo studio dei fenomeni elettrici, il magnetismo, lo studio del calore si stavano arricchendo di nuove importanti scoperte, ma erano ancora nella fase di classificazione dei fenomeni, ed erano ben lungi dall'essere scienze formalizzate .

La scienza «del calore» era stata resa possibile dall'invenzione del termometro (Santorio), ma era principalmente roba da medici e chimici Thompson, Laplace, Biot, Poisson, Fourier cominciamo ad interessarsi al trasferimento di calore.

I venti, le correnti oceaniche, il raffreddamento e riscaldamento dell'aria vengono analizzati in termini di trasferimento di calore

Le prime macchine a vapore appaiono all'inizio del XVIII secolo

- Molto usate nelle miniere: in Cornovaglia vi sono numerose miniere dove l'acqua marina che vi si infiltra va pompata via.
- Numerose in Inghilterra (15.000 contro solo 3.000 in Francia)
- Problemi di ingegneri: come renderla efficace? Come migliorarla?

Quali sono le variabili importanti (pressione, volume, gas o liquido, temperatura, tecnica di costruzione)? **Grande esperienza empirica, NON formalizzata**: James Watt, Arthur Woolf....

Rivista specializzata: **Monthly Engine Reporter**

Pensa, pensa.... Mulino e la caduta d'acqua .....motore e la caduta di T...

## Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832)



Pubblica nel **1824** (a 28 anni) la sua **unica** opera, fondamentale, che crea una nuova scienza: **la termodinamica**.

***Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance.***

*118 pagine, 5 figure, 600 copie stampate, molte copie ritrovate recentemente con le pagine non tagliate.*

*Negli ultimi anni, con buona probabilità pensava che tutta la sua teoria fosse sbagliata.*

Lo stile è chiaro, ma i ragionamenti delicati e sottili sono difficili da seguire perché rinuncia deliberatamente al linguaggio algebrico, che relega in qualche nota a fondo pagina.

Non si fa pubblicità; non ne manda copia all'Accademia, agli Annales de Chimie et Physique, né agli Annales des Mines, né alle biblioteche de l'Ecole des Mines, né dell'Ecole des ponts et Chaussées.

Solo nel 1834 Clapeyron ne fa una nuova edizione, rende più formale matematicamente i ragionamenti di Sadi, e le sue idee cominciano a diffondere, piano piano.

Muore, a soli 36 anni, di colera dopo un ricovero in una clinica psichiatrica  
«l'application excessive a laquelle il se livrait le rendait malade»

Il fratello Hippolyte pubblica postumi molti scritti, tra cui una *Recherche d'une formule propre a représenter le puissance motrice de la vapeur d'eau*

Scritta probabilmente dopo *Les Reflexions*, ma uscita solo nel 1878 (troppo tardi per influenzare lo sviluppo della termodinamica) in cui pare rinunciare all'idea del «calorico» (fluido che trasporta il calore) e sostenere che il calore non è null'altro che una forma di energia; propone anche un'equivalenza tra lavoro e calore più precisa di quella di Joule (ma che esce 20 anni dopo)

**1824** [Sadi Carnot](#) dimostra che si può ottenere [lavoro](#) dallo scambio di [calore](#) tra due sorgenti a temperature differenti. Attraverso il [teorema di Carnot](#) e la [macchina ideale di Carnot](#) (basata sul [Ciclo di Carnot](#)) quantificò questo lavoro e introdusse il concetto di [rendimento termodinamico](#).

**1848** [Lord Kelvin](#), un enunciato del [secondo principio della termodinamica](#).

**1850** [Joule](#) dimostra l'uguaglianza delle due forme di [energia](#) (allora si credeva esistesse ancora il fluido calorico).

**1855** [Clausius](#) introdusse la sua [disuguaglianza](#) per riconoscere i [processi reversibili](#) da quelli [irreversibili](#) e la funzione di stato [entropia](#).

**1876** [Gibbs](#) pubblicò il trattato "*On the Equilibrium of Heterogeneous Substances*" ([Sull'equilibrio delle sostanze eterogenee](#)) in cui mostrò come studiando l'energia, l'entropia, il volume, la temperatura e la pressione si potesse prevedere l'eventuale spontaneità del processo considerato.

Il teorema di Carnot e le macchine termiche:  
Se definiamo l'efficienza della macchina termica come

$$\eta = 1 - W_{\text{out}} / Q_{\text{in}}$$

dove  $W_{\text{out}}$  è il lavoro meccanico prodotto, e  $Q_{\text{in}}$  il calore assorbito, il teorema afferma che l'efficienza massima

$$\eta_{\text{max}} = 1 - T_{\text{F}} / T_{\text{C}}$$

dipende solo dal rapporto tra le temperature, **NON** dal tipo di sostanza o da altre variabili.

$\eta_{\text{max}}$  sempre minore di 1...

apre la strada al II Principio della termodinamica, nelle varie formulazioni (Clausius, Kelvin)

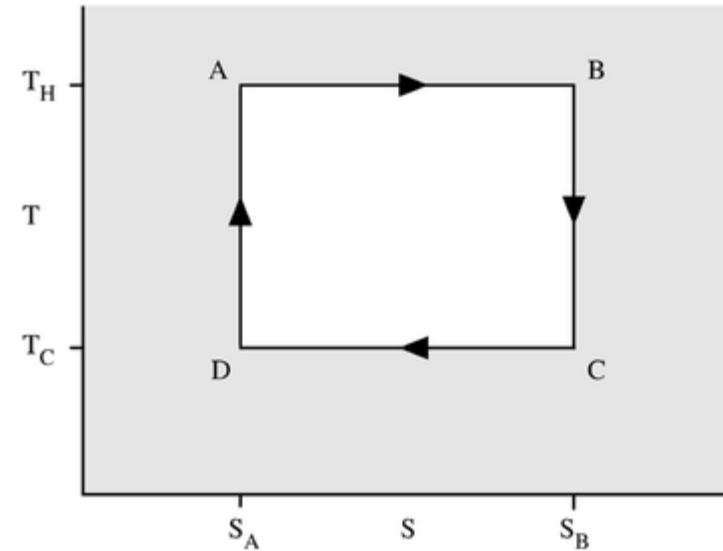
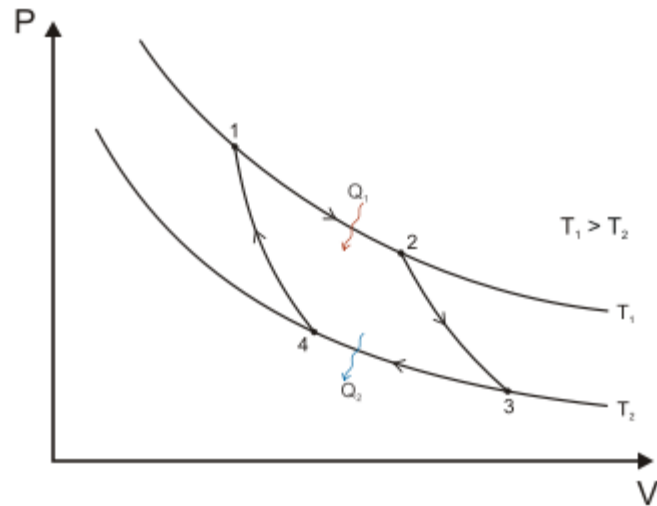
Il ciclo di Carnot, macchina ideale, che passa attraverso 4 trasformazioni (a sinistra):

1-2 **espansione isoterma** (a temperatura costante  $T_1$ , durante la quale il sistema assorbe calore  $Q_1$ )

2-3 **espansione adiabatica** (sistema avvolto in stagnola, non scambia calore,  $T$  scende da  $T_1$  a  $T_2$ )

3-4 **compressione isoterma** (come 1-2, ma in compressione, dato che  $T = T_2$  è costante, il calore  $Q_2$  viene buttato fuori)

4-1 **compressione adiabatica** (come 2-3, ma in compressione, quindi  $T$  sale da  $T_2$  a  $T_1$ )



Se invece dello spazio P-V, guardiamo cosa capita alla temperatura  $T$  e all'entropia  $S$ , abbiamo il quadro della figura di destra (dove 1, 2, 3, 4 diventano A, B, C, D)



# Il padre..... Lazare Nicolas Marguérite Carnot (1753-1823) «le grand Carnot»



Generale della Repubblica, riforma l'esercito, Membro della Convenzione Nazionale e del Direttorio, «salva» la Francia sotto assedio, stronca la rivolta in Vandea, «litiga» con Napoleone, esce e rientra, vota l'esecuzione del Re, cosa che gli costerà l'esilio dopo il 1815

Matematico, fisico, poeta (poésies; odes; Don Quichotte...)

**Fonda l'École polytechnique**

**Muore in Germania (in esilio) a Magdeburgo, dove Sadi lo raggiunge mentre scrive e ragiona sulle macchine**

**Metaphysique du calcul infinitesimal**

**Essai sur les machines en général,**

**Géométrie de position (con Monge uno dei creatori della geometria moderna)**

**E il fratello, Hippolyte, che diventa ministro, e ha un figlio che chiama Sadi, e che diventa Presidente della Repubblica Francese (ucciso da un anarchico italiano di nome Sante Caserio nel 1894)**

# Benoît Paul Émile Clapeyron (1799-1864)



Ingegnere

Fisico

Pioniere della ferrovia.

**Studia all' [École polytechnique](#)**

**[Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur: avec une planche](#)**

# Pierre-Simon Laplace, Marchese di Laplace (1749-1827)

Matematico, fisico, astronomo, nobile francese.



Napoleone lo nomina **ministro** nel 1799

**Senatore** del I Impero dal 1799 al 1814

**Marchese** dal 1817 dopo la Restaurazione dei Borboni

Sistematizza l' Astronomia Matematica:

La meccanica da un approccio Geometrico ad uno basato sulla Analisi Matematica

**Mécanique Céleste, 1799-1825** in 5 ponderosi volumi

Autorevole e autoritario:

« Laplace lascia trasparire del tutto il fatto di considerarsi il migliore matematico della Francia del tempo. L'effetto sui suoi colleghi è soltanto lievemente alleviato dal fatto che ha ragione»

.....egli si appropriò di molti risultati di altri scienziati con nessuno o scarso riconoscimento....

Abusava nell'uso dell'espressione «*Il est aisé à voir...* »... In realtà, la comprensione di queste dimostrazioni avrebbe richiesto una capacità mentale pari alla sua.