

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

## APPLICAZIONI DEL 2° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Per poter illustrare alcune applicazioni del 2° principio della termodinamica penso sia necessario riprendere l'enunciato stesso e ciò che da esso consegue, per avere gli strumenti che ci permettano di valutare gli esempi reali. Nella fattispecie qui consideriamo gli impianti di riscaldamento e quindi possiamo indagare quelli più vantaggiosi sia dal punto di vista ecologico che economico.

### ENUNCIATO DEL 2° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

**"è impossibile realizzare una trasformazione il cui risultato sia quello di assorbire calore da un serbatoio caldo e di convertirlo integralmente in lavoro"**

Mentre il primo principio pone in evidenza la natura energetica del calore e la sua equivalenza al lavoro meccanico, il 2° principio chiarisce i limiti di tale equivalenza stabilendo che dal punto di vista dell'utilizzazione esistono forme di energia di prima e di seconda categoria; mentre l'energia meccanica e quella elettrica sono di prima categoria perché integralmente trasformabili in altre forme di energia, il calore è di seconda categoria in quanto non integralmente trasformabile in lavoro meccanico.

### TEOREMA DI CARNOT

**"tutte le macchine reversibili che lavorano tra due termostati hanno lo stesso rendimento e nessun'altra macchina reale che operi fra gli stessi termostati può avere un rendimento maggiore"**

Per macchina termica si intende un sistema che compie delle trasformazioni cicliche durante le quali è capace di trasformare parte del calore  $Q_1$  ricevuto in lavoro  $L$ . Si definisce come *coefficiente economico* per una macchina termica il rapporto tra il lavoro ottenuto e il calore speso

$$e = \frac{L}{Q_1}$$

che in base a  $Q_1 - Q_2 = L$  diventa

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

$$e = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

La macchina di Carnot è una macchina reversibile per cui è possibile invertire il processo: si ottiene così la macchina frigorifera.

La macchina frigorifera assorbe calore dal serbatoio a temperatura  $T_2$  e riceve un lavoro  $L$ , che sommati forniscono un calore  $Q_1$  alla sorgente a temperatura  $T_1$ .

Quindi il calore non viene più scaricato nell'ambiente, fatto assolutamente dannoso, ma viene "estratto" dall'ambiente.

Per una macchina frigorifera si definisce un rapporto chiamato *coefficiente di prestazione*

$$COP = \frac{Q_1}{L}$$

Che rappresenta il rendimento della macchina.

$$COP = \frac{Q_1}{L} = \frac{Q_2 + L}{L} = \frac{Q_2}{L} = h + 1$$

$$h = \frac{Q_2}{L} = 2 \quad COP = h + 1 = 3$$

Il rapporto tra il COP di una macchina reale e il COP di una macchina che opera attraverso Carnot è dato da

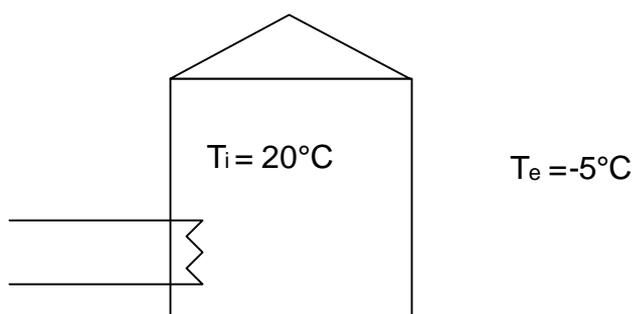
$$h = \frac{COP}{COP_c}$$

ed è indicatore di quanto è efficiente una macchina frigorifera.

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

## IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

### Pompa di calore



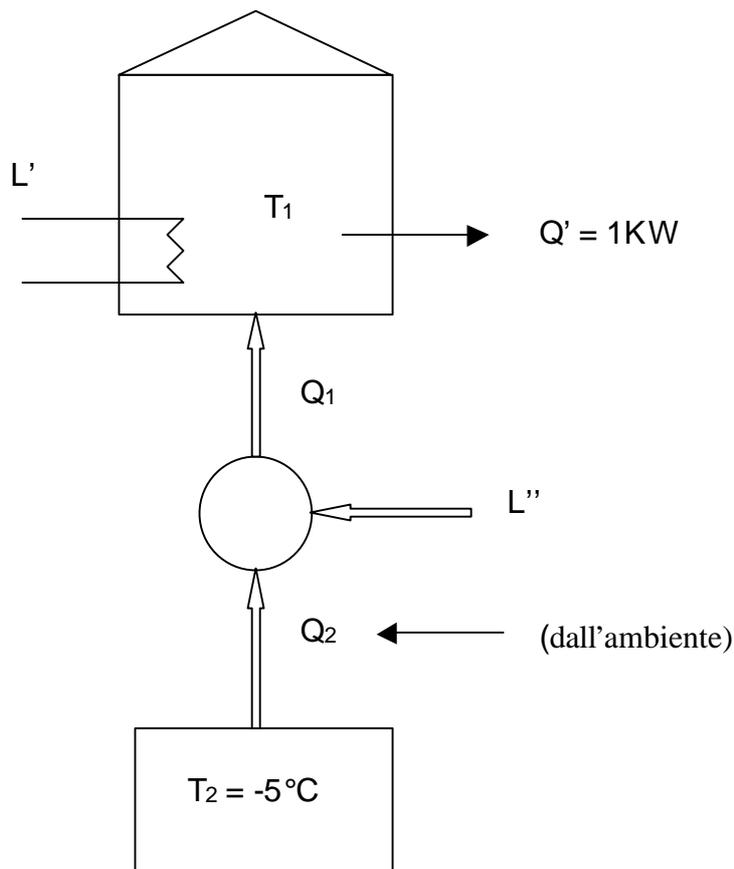
Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

Devo riscaldare un'abitazione che ha una temperatura interna di  $20^{\circ}\text{C}$ , mentre la temperatura dell'ambiente esterno è di  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Possiamo usare due dispositivi per il riscaldamento - una resistenza elettrica  
- una macchina termica

La macchina termica funziona come un ciclo inverso e quindi come una macchina frigorifera: viene chiamata pompa di calore.

La pompa di calore presenta il vantaggio di rinfrescare l'ambiente interno d'estate, mandando acqua fredda dentro l'abitazione e di riscaldare d'inverno, mandando acqua calda all'interno dell'abitazione.



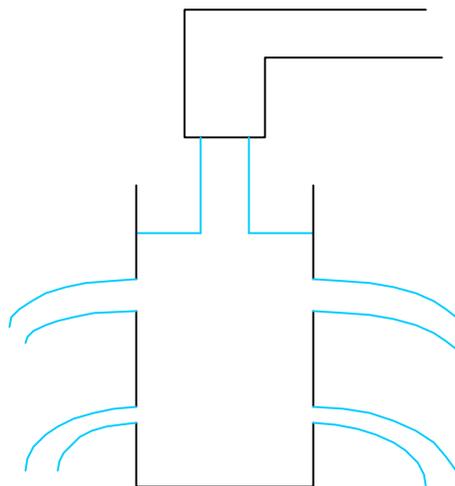
Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

Consideriamo la macchina termica come una macchina reversibile.

La macchina fornisce calore  $Q$  all'abitazione, che deriva dalla somma del calore  $Q_2$  assorbito dall'ambiente esterno e del lavoro  $L''$  che entra nella macchina. Per poter scaldare il locale è necessaria una potenza termica pari a 1 KW, che nel caso della resistenza corrisponde a un lavoro  $L'=1kw$ , mentre nel caso della pompa di calore si ha un lavoro  $L'' < L'$ .

Bilancio energetico dell'edificio: tanto calore esce tanto calore deve entrare, così si mantiene costante la temperatura.

(Così come un recipiente in cui entra acqua da un rubinetto: si riempie ma grazie alla presenza di fori l'acqua fuoriesce. Quindi l'acqua che esce è uguale a quella che entra)



Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

$$L' = 1KW$$

perché la resistenza è un apparecchio che dissipa energia in calore

$$\mathbf{h} = 1$$

Il COEFFICIENTE ECONOMICO della macchina definito come

$$\mathbf{e}_c = \frac{L}{Q} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\mathbf{e}_c = 1 - \frac{268}{293} = 0,085$$

$\mathbf{E}_c$  è molto piccolo perché essendo il ciclo inverso ottengo molto calore con poco lavoro.

"COEFFICIENT OF PERFORMANCE"

$$COP = \frac{Q'}{L} = \frac{1}{0,085} = 11,7$$

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

Ciò dimostra che la pompa di calore è amplificatore di energia perché aumenta di 11,7 volte il lavoro che riceve.

Quindi

$$L'' = \frac{1}{11,7} 1KW = 85W$$

con la pompa di calore quindi pagherei solo 85 w, mentre con la resistenza pago 1KW.

Nella realtà non posso far funzionare la macchina fra quelle due temperature:  
 $T_1$  deve essere minore di  $-5^\circ C$  e quindi arriva a  $-15^\circ C$ , e la pompa di calore dovrà produrre  $Q_1$  a  $40^\circ C$ .

Quindi il coefficiente economico reale sarà

$$e_c = 1 - \frac{258}{313} = 0,1757$$

e il COP reale sarà  $COP = 05,69$

La potenza elettrica reale assorbita sarà

$$L'' = 175,7W$$

La pompa di calore è una macchina tecnologicamente avanzata ed ecologica in quanto assorbe calore dall'ambiente, fattore di assoluta convenienza dal punto di vista ambientale e climatico.

La pompa di calore è quindi più vantaggiosa della resistenza, ma non è una soluzione così eccellente. Di fatto c'è sempre una percentuale di perdita perchè la pompa di calore non funziona come un ciclo di Carnot.

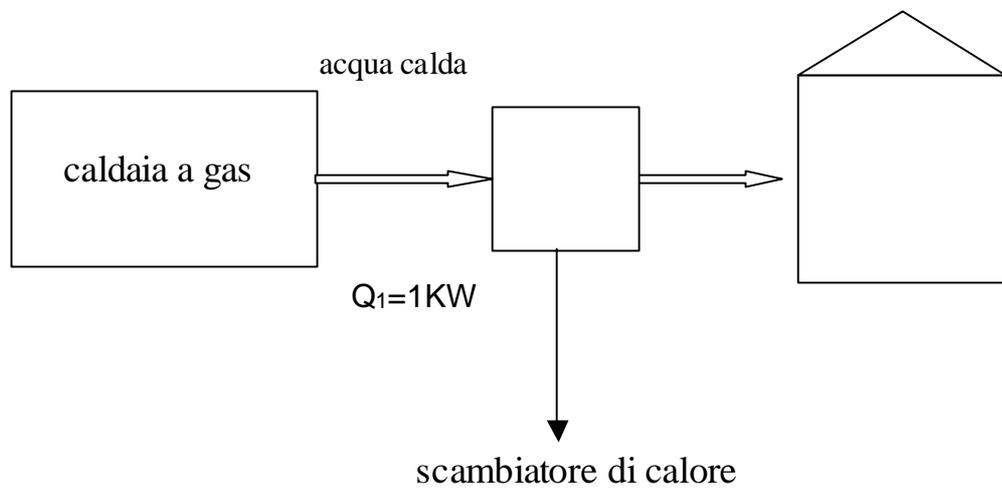
Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

Infatti

$$COP_{vero} = 80\% COP_c = 4,55$$

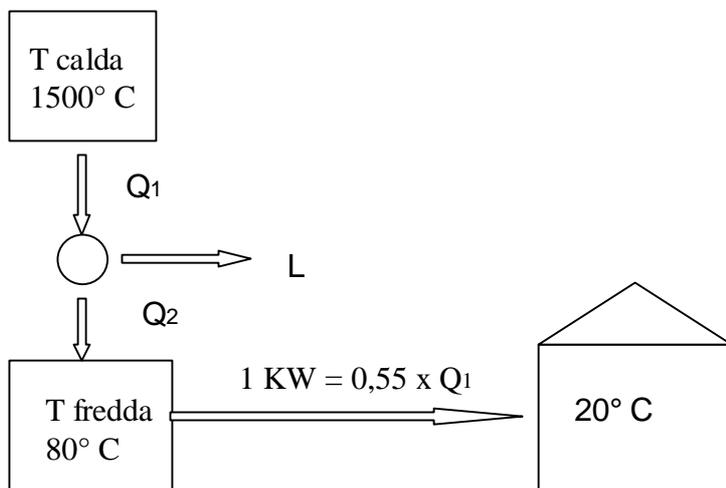
$$L_{vero}'' = 220W$$

## Teleriscaldamento



Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

Con la caldaia a gas produco acqua calda che attraverso uno scambiatore di lavoro mi porta calore nella casa.  
Costa come 220w della pompa di calore, quindi può essere conveniente.



Il *coefficiente economico* è

$$e_c = 1 - \frac{353}{1773} = 0,800 \quad \Longrightarrow \quad \text{il rendimento effettivo è la metà}$$



$$e = 0,45$$

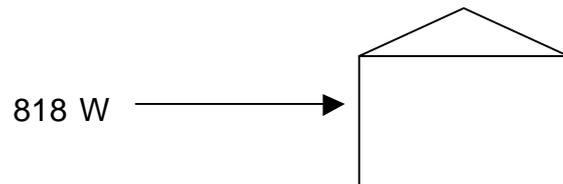
Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

$$Q_1 = \frac{1}{0,55} = 1818W \quad \Longrightarrow \quad \text{Questo sistema non conviene}$$

Il ciclo combinato ha un rendimento minore rispetto a quello della caldaia. Ed inoltre viene anche prodotto un lavoro

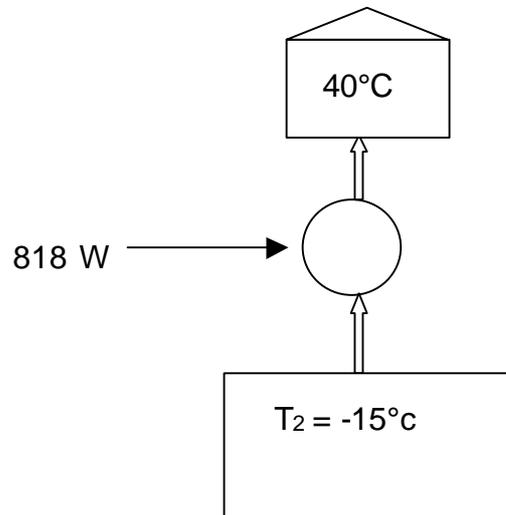
$$L = 1818 \cdot 0,45 = 818W$$

E questi watt di lavoro sul mercato valgono 4 volte di più perché l'energia elettrica è 4 volte l'energia termica.



Questi 818 W li posso utilizzare o con una resistenza elettrica o con una pompa di calore.

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30



$$COP_r = 4,5$$

La mia energia può tornare a diventare 4 volte tanto il calore reso.

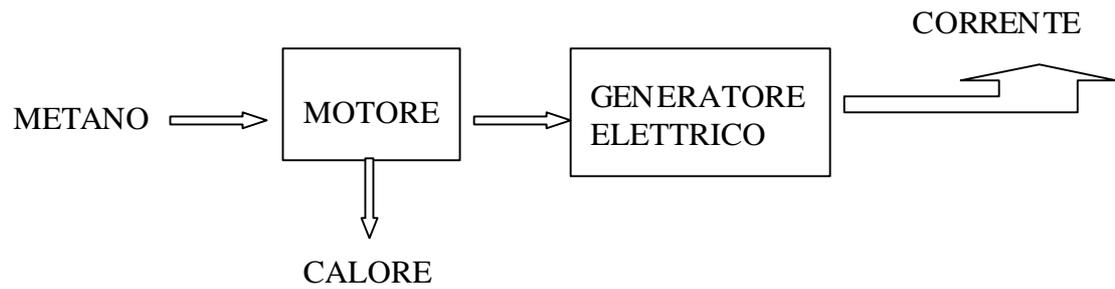
Quindi rubinetto e pompa di calore sono più o meno uguali; la pompa di calore mi permette anche di rinfrescare d'estate.

(Il teleriscaldamento è la soluzione attiva oggi a Brescia)

### **Impianti autonomi - Totem**

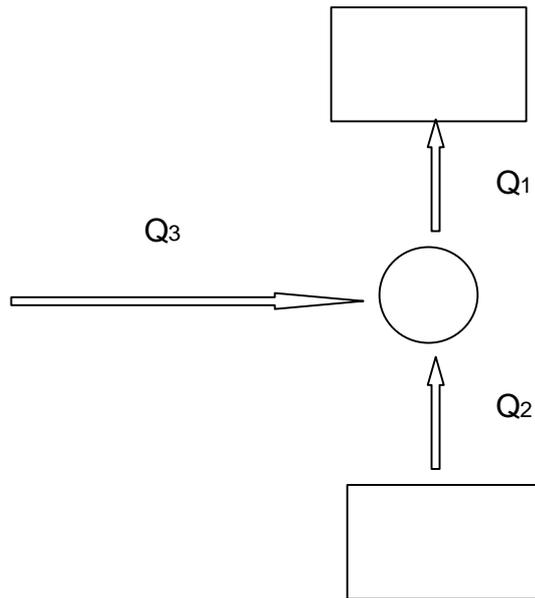
Il totem è un apparecchio costituito da un motore alimentato a metano e collegato a un generatore elettrico; produce corrente tramite il generatore e calore tramite il motore.

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30



**Macchine alimentate con calore ad alte temperature**

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30



La macchina frigorifera ad assorbimento può venire alimentata a metano, ma non produce energia.

$$COP = 2$$

La quantità di metano che si consuma viene dimezzata.

\* \* \*

Introduciamo adesso un altro importante coefficiente che rapporta l'utilità prodotta con ciò che si è speso; è un parametro distorto, non è quindi il valore economico reale sul mercato.

### **COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE DEL COMBUSTIBILE**

$$CUC = \frac{ENERGIAUTILIZZATA}{ENERGIADISPONIBILE}$$

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

### 1) CALDAIA A GAS

Ho 1 KW di calore derivante dal metano, la caldaia ha un rendimento pari a 0,9.  
Quindi il calore che ho dato all'ambiente e all'impianto di riscaldamento corrisponde a un

$$CUC = 0,9$$

### 2) CENTRALE ENEL

Produce lavoro elettrico ma non usa il calore sottoprodotto, il quale viene scaricato nei fiumi.

$$CUC = 0,45$$

(l'energia prodotta è 0,45 dell'energia primaria)

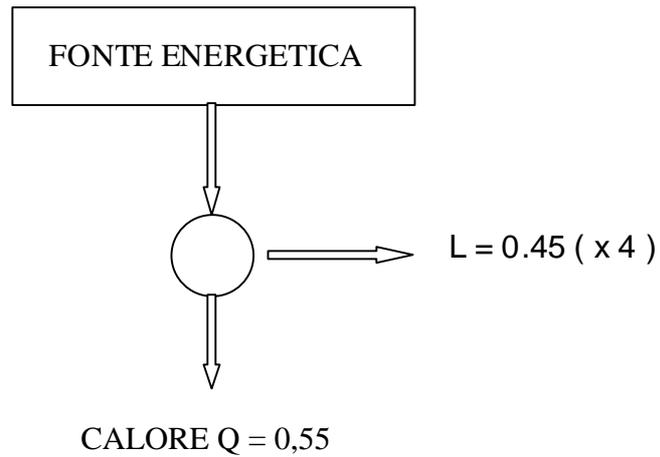
### 3)CENTRALE DI TELERISCALDAMENTO A CICLO NON COMBINATO

Coincide con il primo caso quindi  $CUC_3 = CUC_1$

### 4) CENTRALE DI TELERISCALDAMENTO A CICLO COMBINATO

Produce lavoro e calore

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30



$$CUC = 100\%$$

E' un vantaggio risibile il 10% in più rispetto alle caldaie.

$$L = 0,45 \cdot 4 = 1,9$$

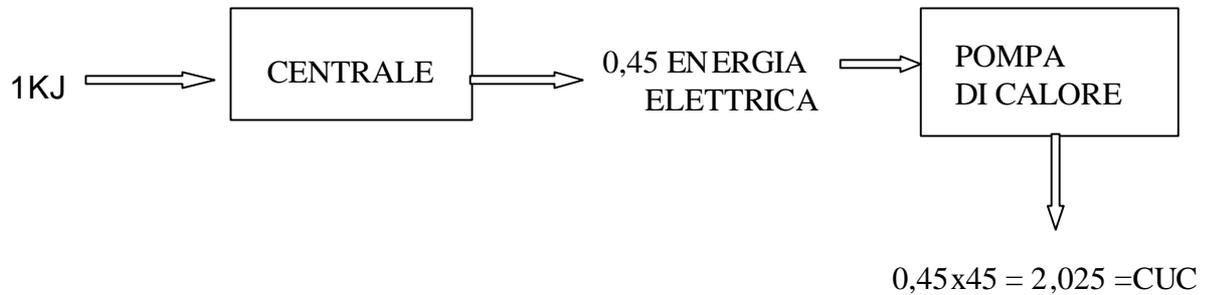
$$L + Q = 1,9 + 0,55 = 2.45 \text{ (rendimento in termini economici)}$$

#### 5) POMPA DI CALORE ALIMENTATA DA CENTRALE ENEL

Pompa di calore  $COP = 4,5$

Centrale Enel  $h = 0,45$

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30



Attraverso questa soluzione si brucia 1 KJ in una centrale elettrica, si ottiene un CUC di 0.45 di energia elettrica. L'energia elettrica alimenta la pompa di calore che produce un CUC = 2,025.

Il risultato è appetibile, perché si riesce a dimezzare il consumo di combustibile e quindi a riscaldare di più.

##### 5) POMPA DI CALORE AD ASSORBIMENTO

Nel ciclo avviene una reazione chimica : si hanno due fluidi uno dei quali viene assorbito dall'altro.

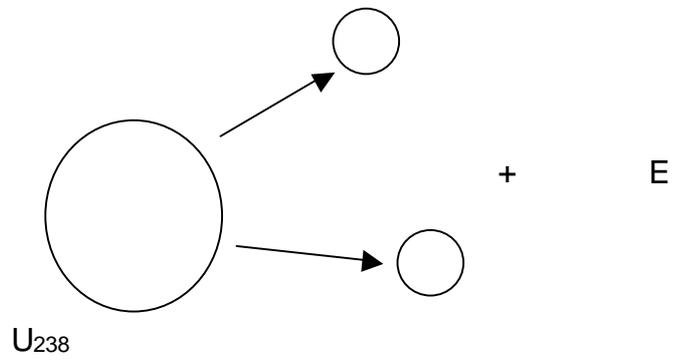
$$COP = 2$$

$$CUC = 2$$

2 KJ di metano vengono convertiti in 2 KJ di calore

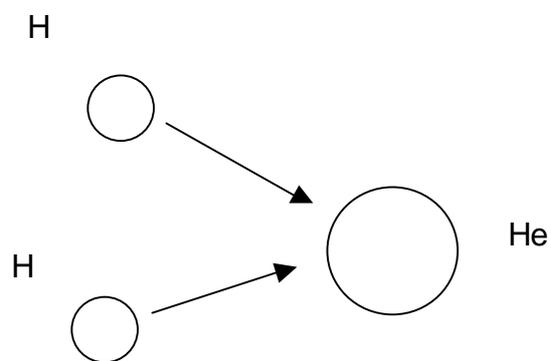


Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30



La fissione nucleare consiste nella scissione di un atomo di uranio in due atomi più piccoli con la liberazione di energia.

#### REATTORE A FUSIONE



Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

L'idrogeno è un gas volatile e per tenerlo insieme bisogna tenerlo dentro un campo magnetico.

Idrogeno pesante : deuterio

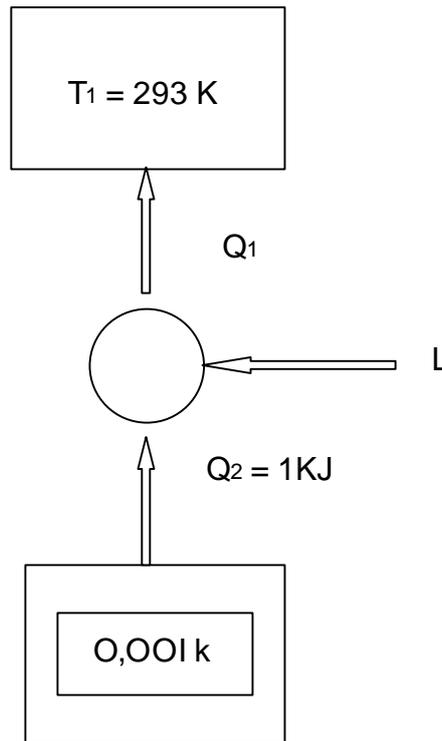
L'acqua pesante è costituita da questo tipo di idrogeno, e viene utilizzata per le bombe a idrogeno.

Reazione a fusione → Spira superconduttiva a bassa temperatura (richiede  
ammontare di) energia )

Quanta energia serve per portare un corpo a temperatura così bassa ?

COSTO ENERGIA = 150 lire / KWH

L ? Quanto costa L = 1KJ ?



$$\frac{L}{Q} = e_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{0,001K}{293} = 0,999996587$$

Calcolo  $Q_2$  attraverso  $Q_1$  e  $L$

$$Q_2 = Q_1 - L = \frac{L}{e_c} - L \left( \frac{1 - e_c}{e_c} \right)$$

$$L = \frac{Q_2 - e_c}{1 - e_c} = \frac{1KJ \cdot 0,999996587}{1 - 0,999996587} = 293000KJ$$

$L$  è il lavoro che ho dovuto spendere per produrre solo un KJ di calore!

Giorgia Zerbini  
N°matricola 131377  
15/11/02  
h: 10.30 - 12:30

HA UN RENDIMENTO SCHIFOSO

$$1KW = 1KW \cdot h = \frac{1KJ}{1s \cdot 36000} = 3600KJ$$

$$L = 293000KJ = \frac{293000}{3600} = 81,38KWH$$

$$C_{1KJ} = 81,38 \cdot 150 = 12.208\text{€}$$

Il costo economico dell'energia è molto alto.