

Cenni di Termodinamica

Principio zero della termodinamica

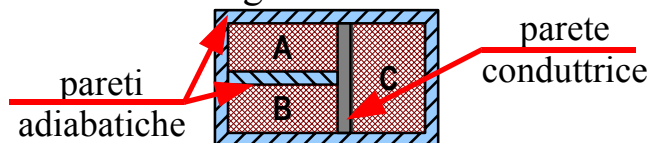
Fisica_I
F.Bloisi(05)

FG1 : 2 . 2 . 1

- Termodinamica:

studia i fenomeni in cui intervengono due nuove grandezze fisiche

- temperatura
- quantità di calore



- Contatto termico

Due sistemi si dicono in contatto termico tra loro se tra di essi si può avere scambio di energia, senza che si abbia lavoro meccanico (macroscopico).

Note:

- il contatto termico non richiede contatto fisico.
- un sistema è *isolato termicamente* quando può scambiare energia con l'esterno solo sotto forma di energia meccanica.

- Equilibrio termico

Due sistemi si dicono in *equilibrio termico* tra loro se tra di essi non si ha scambio di energia se non sotto forma di lavoro meccanico (macroscopico) anche se vengono posti in contatto termico.

- Principio zero della termodinamica:

se due sistemi sono separatamente in equilibrio termico con un terzo, allora essi risultano essere in equilibrio termico tra loro.

Cenni di Termodinamica

Temperatura

Fisica_I
F.Bloisi(05)

FG1 : 2 . 2 . 2

- Temperatura

la proprietà fisica comune a tutti i sistemi che sono in equilibrio termico tra loro.

- due sistemi sono in equilibrio termico solo se sono alla medesima temperatura.
- due sistemi hanno la stessa temperatura se, posti in contatto termico, restano in equilibrio termico.

- Termometro

un qualunque dispositivo in grado di misurare (in maniera quantitativa) la temperatura, una volta che siano stati fissati i valori di due particolari temperature.

- misura una grandezza fisica che dipende dalla temperatura
 - lunghezza o volume di un solido
 - volume di un liquido
 - pressione di un gas (a volume costante)
 - volume di un gas (a pressione costante)
 - resistenza elettrica di un conduttore
 - ...

Cenni di Termodinamica

Scale termometriche

Fisica_I
F.Bloisi(05)

FG1 : 2 . 2 . 3

• Scale termometriche:

- Celsius (gradi centigradi, °C): [unità non SI]
 - 0°C temperatura di fusione del ghiaccio a pressione atmosferica
 - 100°C temperatura di ebollizione dell'acqua a pressione atmosferica
- assoluta (Kelvin, K): [unità SI]
 - in pratica $T_{in\ K} = T_{in\ ^\circ C} - T_0$ con $T_0 = -273.16\ ^\circ C$ (zero assoluto)
 - Nota: $\Delta T_{in\ K} = \Delta T_{in\ ^\circ C}$

• Zero assoluto:

si osserva, sperimentalmente, che per un gas sufficientemente rarefatto

- $p(T)_{V=cost} \rightarrow 0$ per $T \rightarrow T_0$
- $V(T)_{p=cost} \rightarrow 0$ per $T \rightarrow T_0$

Nota:

temperature inferiori od uguali a T_0 non sono fisicamente raggiungibili utilizzando la temperatura assoluta $pV \propto T$ per un gas perfetto

• Pressione:

forza normale per unità di superficie esercitata su di una superficie (reale o ideale) all'interno di un fluido (liquido o gas)

Cenni di Termodinamica

Quantità di calore

Fisica_I
F.Bloisi(05)

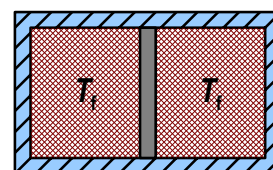
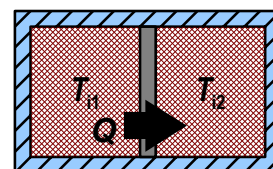
FG1 : 2 . 2 . 4

• Osservazione sperimentale:

isolando termicamente dall'ambiente esterno e ponendo in contatto termico tra loro due oggetti (masse m_1 ed m_2 rispettivamente) inizialmente a due temperature differenti ($T_{i1} < T_{i2}$), si osserva che, una volta raggiunto l'equilibrio termico (temperatura T_f con $T_{i1} < T_f < T_{i2}$) si ha:

$$m_1 c_{s1} (T_f - T_{i1}) = m_2 c_{s2} (T_{i2} - T_f)$$

- $Q = m c_s (T_f - T_i)$ quantità di calore scambiata (ceduta se $T_f < T_i$, ricevuta se $T_f > T_i$)
- $c_s = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT}$ calore specifico (per unità di massa, a pressione costante)



Nel caso di gas, si utilizzano:

- $c_p = \frac{1}{n} \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_{p=const}$ calore specifico molare a pressione costante
- $c_v = \frac{1}{n} \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_{V=const}$ calore specifico molare a volume costante

Cenni di Termodinamica

Unità di misura

- Unità di misura della quantità di calore:
una chilocaloria (kcal), detta talvolta grande caloria (Cal) per distinguerla dalla caloria o piccola caloria ($1 \text{ cal} = 10^{-3} \text{ Cal}$, $1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal}$), è la quantità di calore (energia) che deve essere fornita ad una massa di 1 kg di acqua distillata per portarla dalla temperatura di 15.5°C alla temperatura di 16.5°C .

- Nota: si ha di conseguenza che il calore specifico dell'acqua distillata a 16°C ed a pressione atmosferica vale esattamente

$$c_s = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

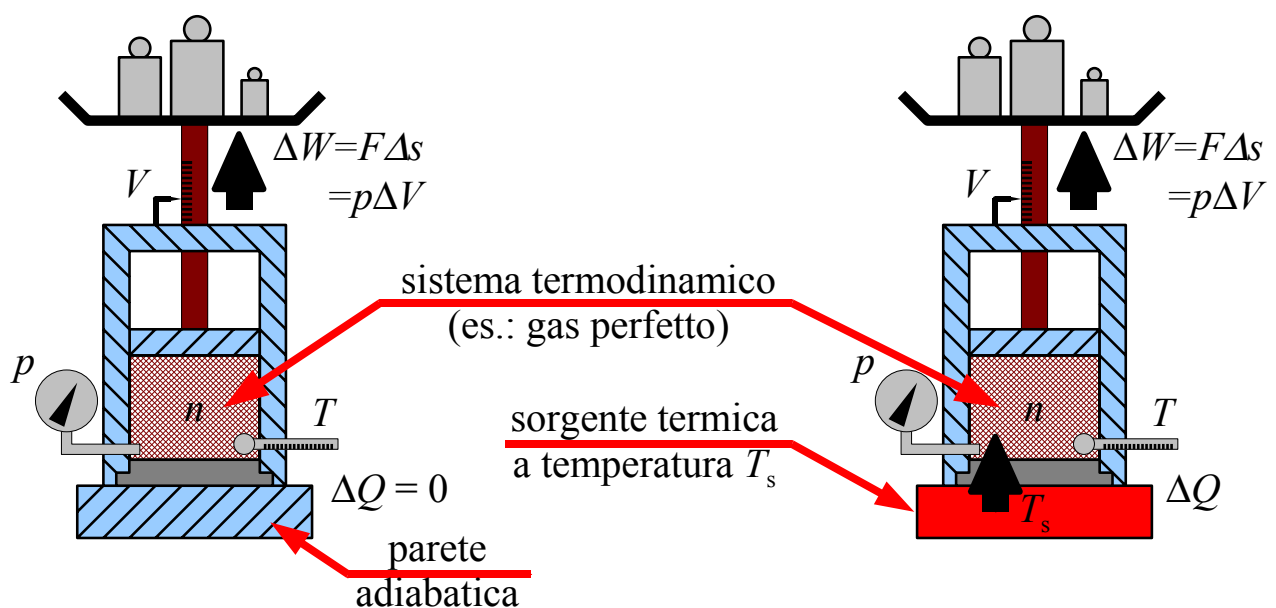
- Osservazione sperimentale:
gli stessi effetti ottenuti fornendo una certa quantità di calore possono essere ottenuti fornendo una opportuna quantità di lavoro meccanico (esperimenti di Joule sull'equivalente meccanico della caloria)

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

- Nel SI la quantità di calore si misura in Joule (J)

Cenni di Termodinamica

Sistema termodinamico / Macchina termica

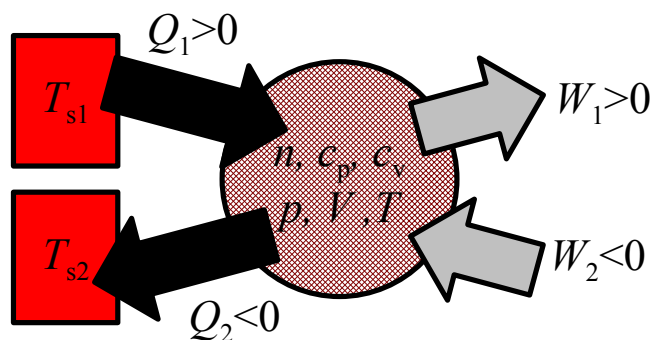


Cenni di Termodinamica

Grandezze termodinamiche

Grandezze termodinamiche

- relative ad uno stato (variabili di stato)
 - locali (o intensive): pressione (p), temperatura (T), etc.
 - globali (o estensive): volume (V), energia interna (U), etc.
- relative ad una trasformazione
 - dipendono dalla trasformazione: quantità di calore (Q , δQ), lavoro (W , δW)
 - dipendono solo dagli stati iniziale e finale: variazione dell'energia interna (ΔU , dU)



Cenni di Termodinamica

Gas perfetto

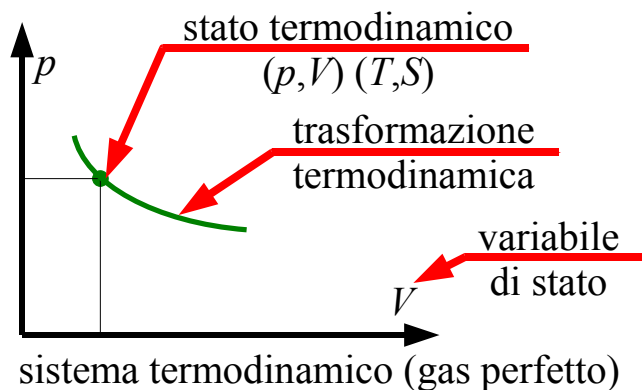
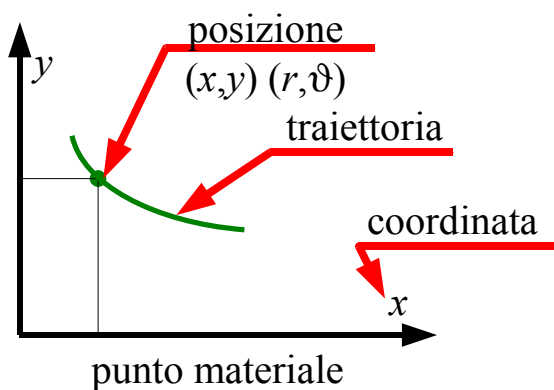
gas reale rarefatto
 \downarrow
 interazione tra molecole trascurabile
 \downarrow
 gas perfetto

Gas perfetto:

- Equazione di stato: $p V = n R T$
- Energia interna: $U = U(T)$

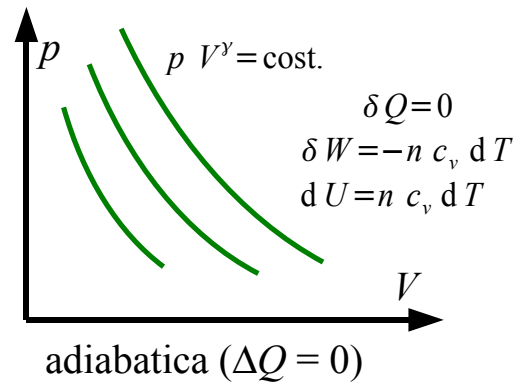
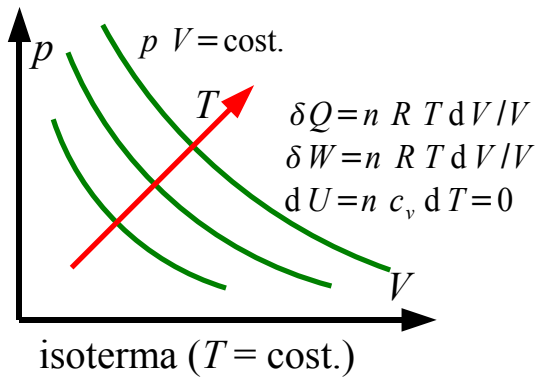
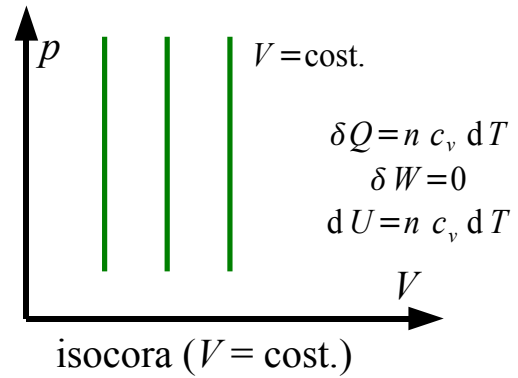
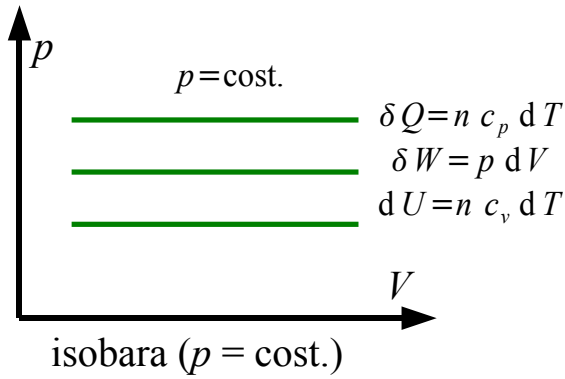
$R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol K})$
 $U(T) = n c_v T$

costante dei gas perfetti
 energia interna



Cenni di Termodinamica

Principali trasformazioni di un gas perfetto



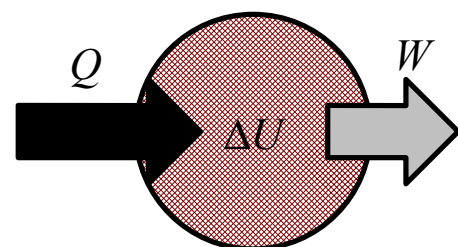
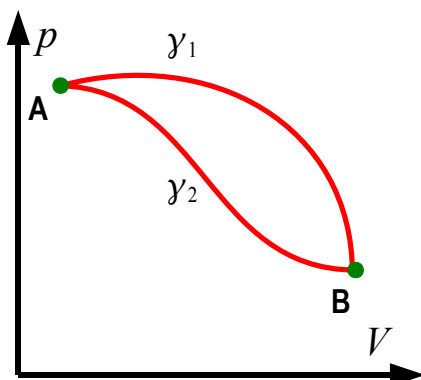
Cenni di Termodinamica

Primo principio della termodinamica

- In una trasformazione termodinamica dallo stato A allo stato B la somma algebrica dell'energia fornita sotto forma di lavoro meccanico ($-W_{AB}$) e sotto forma di calore ($+Q_{AB}$) dipende solo dagli stati iniziale e finale e non dalla trasformazione.

$$Q_{AB\gamma_1} - W_{AB\gamma_1} = Q_{AB\gamma_2} - W_{AB\gamma_2} = f(A, B)$$

- In una trasformazione ciclica la somma algebrica dell'energia fornita sotto forma di lavoro meccanico ($-W_{AB}$) e sotto forma di calore ($+Q_{AB}$) è sempre nulla



Cenni di Termodinamica

Energia interna

Fisica_I
F.Bloisi(05)

FG1 : 2 . 2 . 11

Punto materiale (forze conservative):

in una *traiettoria chiusa*
la grandezza fisica

lavoro

è sempre nulla

$$L = 0$$



è possibile definire
l'*energia potenziale*
in modo che

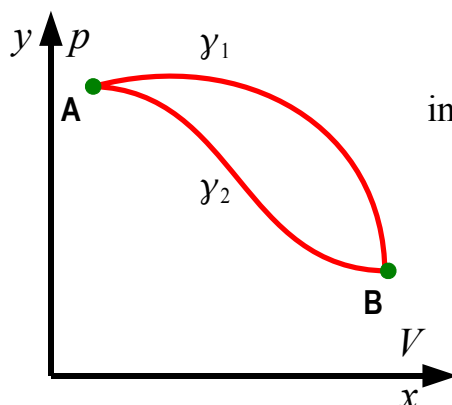


in una *traiettoria aperta*
la grandezza fisica

lavoro

è pari alla variazione di
energia potenziale

$$L = \Delta U$$



Sistema termodinamico:

in una *trasformazione ciclica*
la grandezza fisica

quantità di calore - lavoro

è sempre nulla

$$Q - L = 0$$



è possibile definire
l'*energia interna*
in modo che



in una *trasformazione non ciclica*
la grandezza fisica

quantità di calore - lavoro

è pari alla variazione di

energia interna

$$Q - L = \Delta U$$

$$\delta Q - \delta L = dU$$

Cenni di Termodinamica

Secondo principio della termodinamica

Fisica_I
F.Bloisi(05)

FG1 : 2 . 2 . 12

• Macchina termica

Una macchina termica è un dispositivo costituito da un sistema termodinamico che, nel compiere alcune trasformazioni, scambia calore e/o lavoro meccanico con l'ambiente esterno.

• Macchina termica ciclica

Una macchina termica ciclica è una macchina termica che compie trasformazioni cicliche, ossia tali che, al termine di un ciclo, il sistema sia nuovamente nello stato iniziale.

• Secondo principio della termodinamica

• Enunciato di Kelvin-Planck

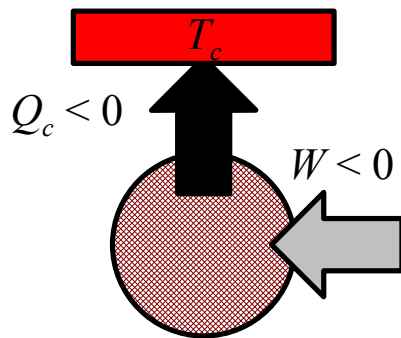
È impossibile realizzare una macchina termica ciclica che sottragga calore ad una sola sorgente termica e lo trasformi tutto in lavoro.

• Enunciato di Clausius

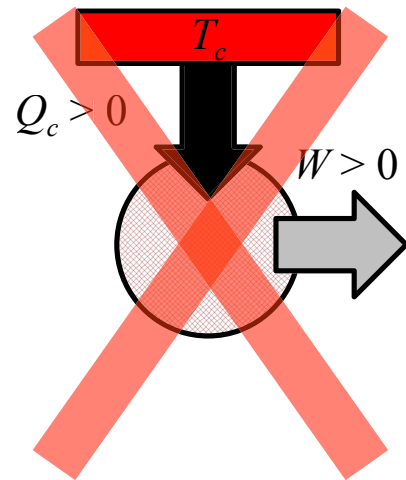
È impossibile realizzare una macchina termica ciclica che sottragga calore ad una sorgente termica e lo trasferisca tutto ad una sorgente termica più calda.

Cenni di Termodinamica

Osservazioni sul Secondo principio



$|Q_c| = |W|$
possibile



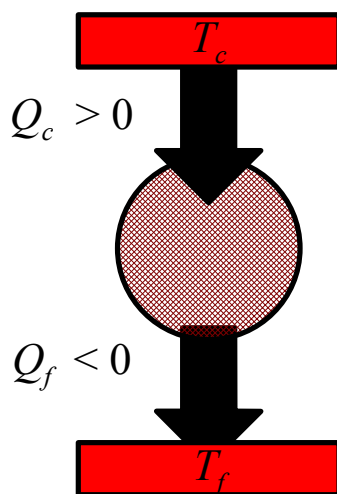
$|Q_c| = |W|$
NON possibile
(2° principio, enunciato di Kelvin-Plank)

Enunciato di Kelvin-Plank

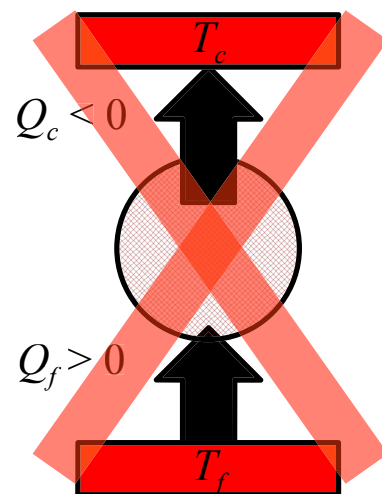
È impossibile realizzare una macchina termica ciclica che sottragga calore ad una sola sorgente termica e lo trasformi tutto in lavoro.

Cenni di Termodinamica

Osservazioni sul Secondo principio



$|Q_c| = |Q_f|$
possibile



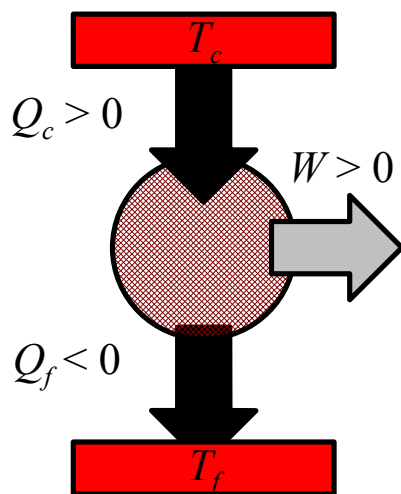
$|Q_c| = |Q_f|$
NON possibile
(2° principio, enunciato di Clausius)

Enunciato di Clausius

È impossibile realizzare una macchina termica ciclica che sottragga calore ad una sorgente termica e lo trasferisca tutto ad una sorgente termica più calda.

Cenni di Termodinamica

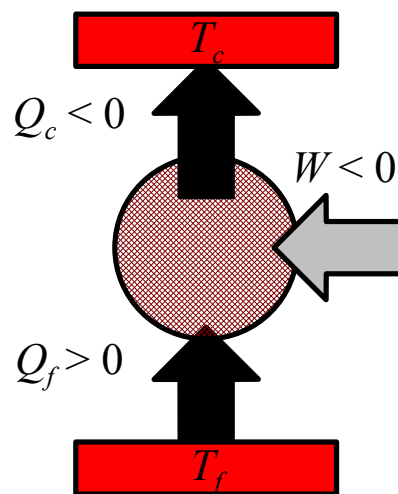
Osservazioni sul Secondo principio



$$|W| = |Q_c| - |Q_f|$$

possibile
(macchina termica)

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} < 1$$



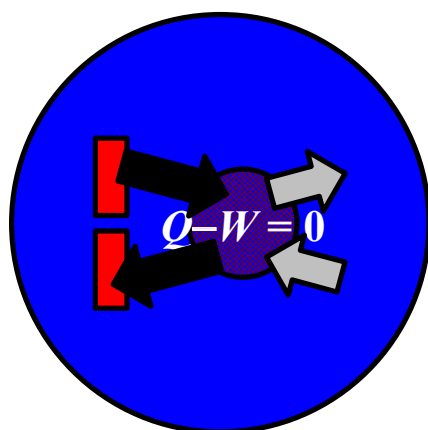
$$|Q_c| = |W| + |Q_f|$$

possibile
(pompa di calore)

$$C.o.P. = \frac{Q_f}{W} = \frac{|Q_f|}{|Q_c| - |Q_f|}$$

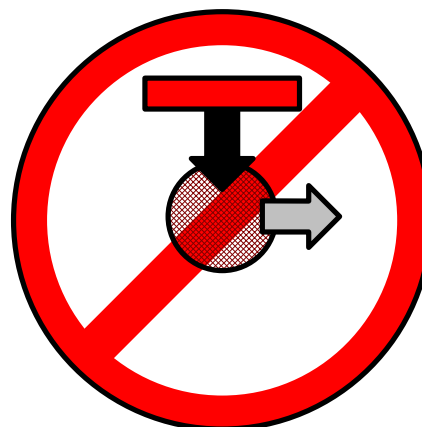
Cenni di Termodinamica

Primo e Secondo principio



1° principio

2° principio
(Kelvin-Planck)



2° principio
(Clausius)

