



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA “Aldo Pontremoli”

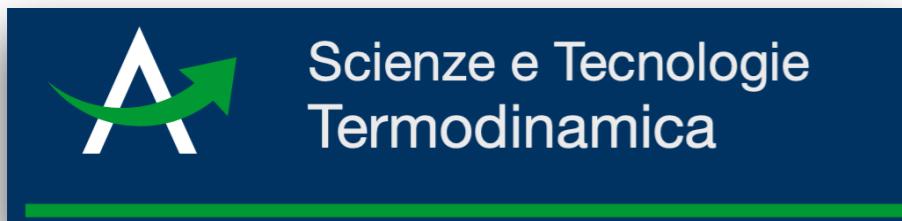
Il secondo principio della termodinamica – 2

Termodinamica - Corso B

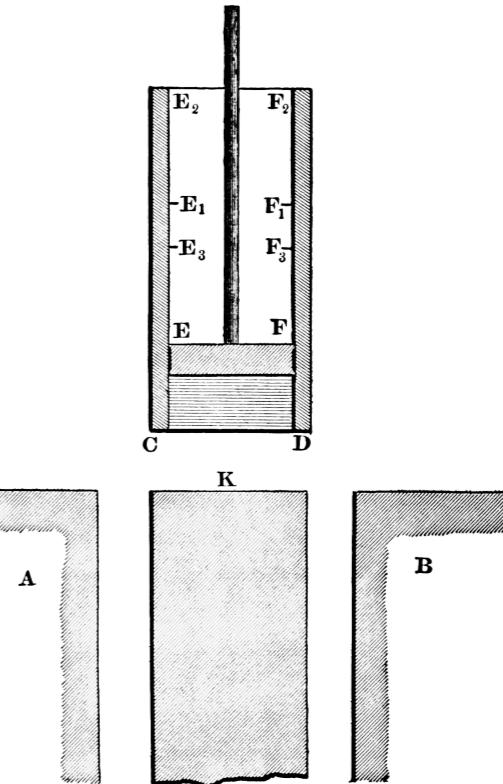
Stefano Olivares

*Quantum Technology Lab
Dipartimento di Fisica “Aldo Pontremoli”
Università degli Studi di Milano, Italy*

stefano.olivares@unimi.it
<http://users.unimi.it/aqm>



<https://solivarest.ariel.ctu.unimi.it>

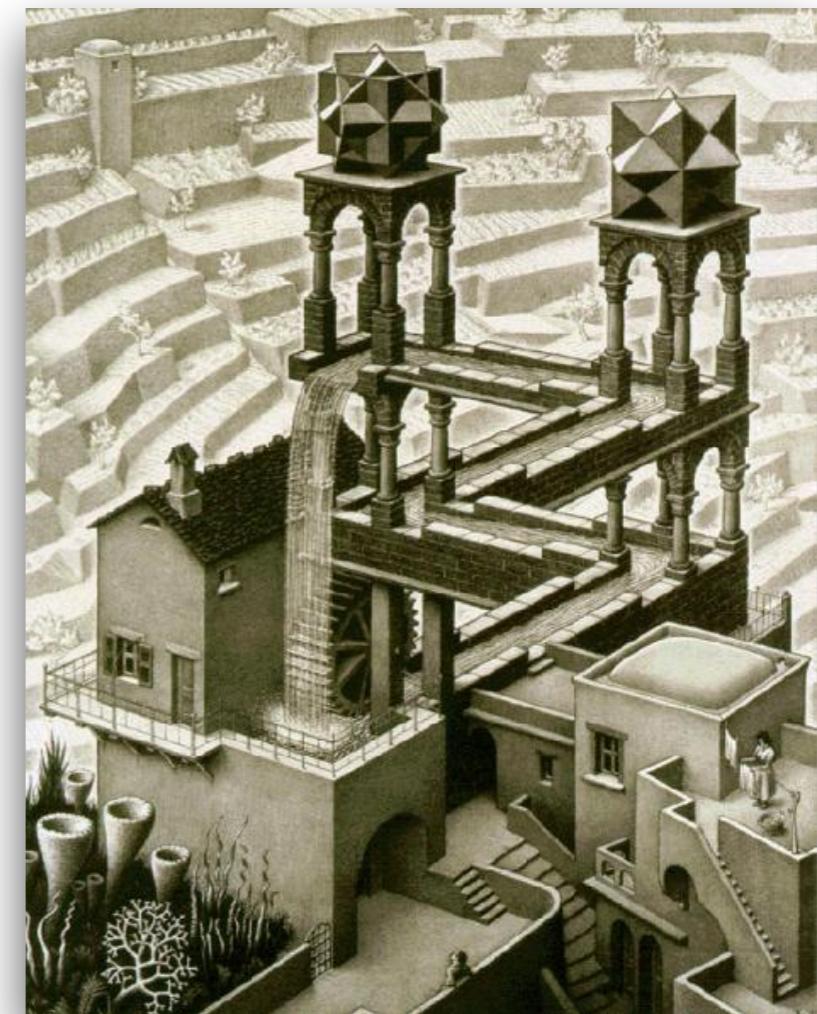


Il secondo principio

È possibile trasformare tutto **il lavoro in calore...**

... ma ci sono delle **limitazioni ben precise**
sulla possibilità di trasformare **il calore in lavoro!**

Il secondo principio si fonda
sull'impossibilità di costruire una
macchina che trasforma tutto il
calore assorbito in lavoro
(*moto perpetuo di prima specie*).



Il secondo principio

Il secondo principio si propone di formalizzare **leggi naturali** per cui certi fenomeni, possibili secondo il primo principio, non avvengono in realtà.

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Il **risultato di Carnot** (inizio Ottocento) non venne recepito dagli ingegneri del suo periodo: si pensava di migliorare l'efficienza finale di una macchina termica con altri tipi di accorgimenti.

Nella seconda metà dell'Ottocento il problema della trasformazione del calore in lavoro venne studiato da una **nuova prospettiva...**



Il secondo principio (Kelvin–Planck)

Lord Kelvin (William Thomson) mise in luce la struttura delle macchine termiche e il ruolo cruciale della sorgente a bassa temperatura.

Secondo principio (Kelvin–Planck)

È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo integralmente in lavoro.

Una sorgente di calore è un corpo che si trovi ad una temperatura uniforme T e che sia in grado di scambiare calore ma non lavoro con i corpi che lo circondano.



Il secondo principio (Kelvin–Planck)

Lord Kelvin (William Thomson) mise in luce la struttura delle macchine termiche e il ruolo cruciale della sorgente a bassa temperatura.

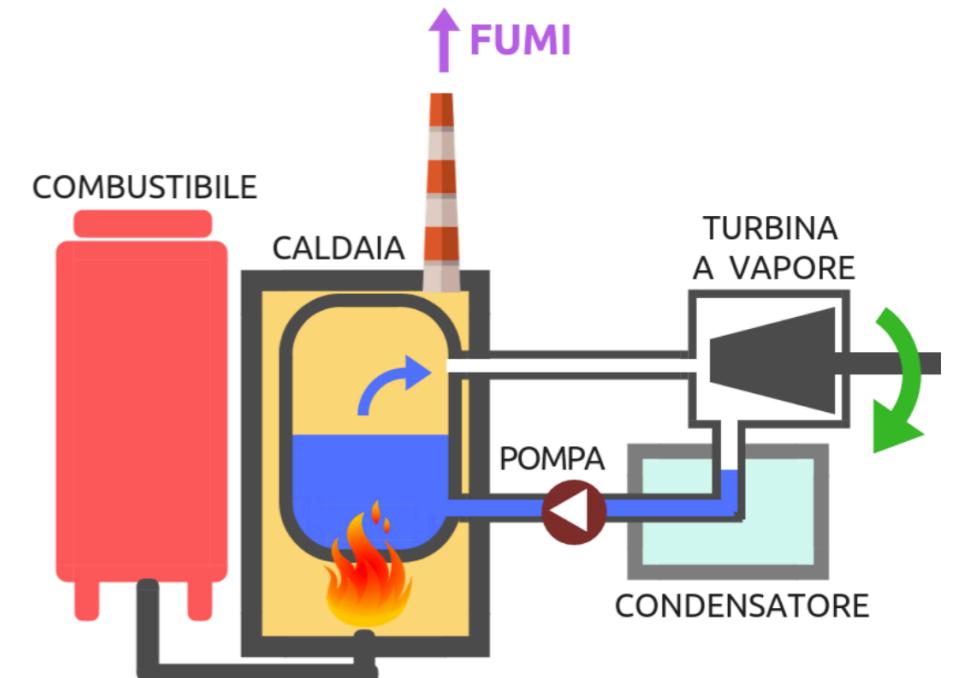
Secondo principio (Kelvin–Planck)

È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo integralmente in lavoro.

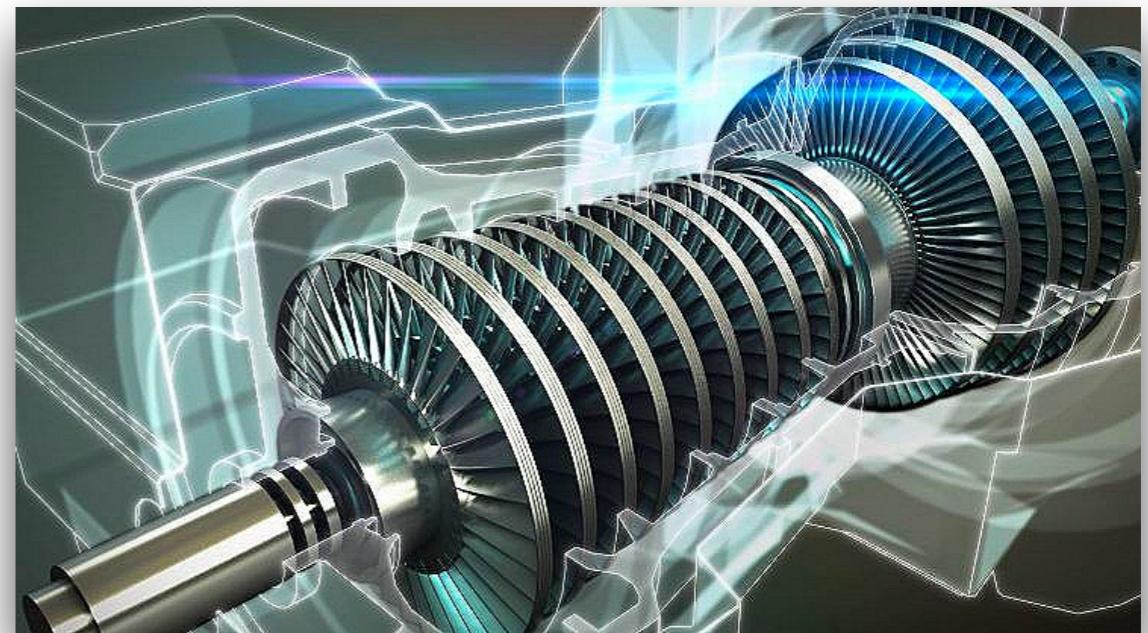
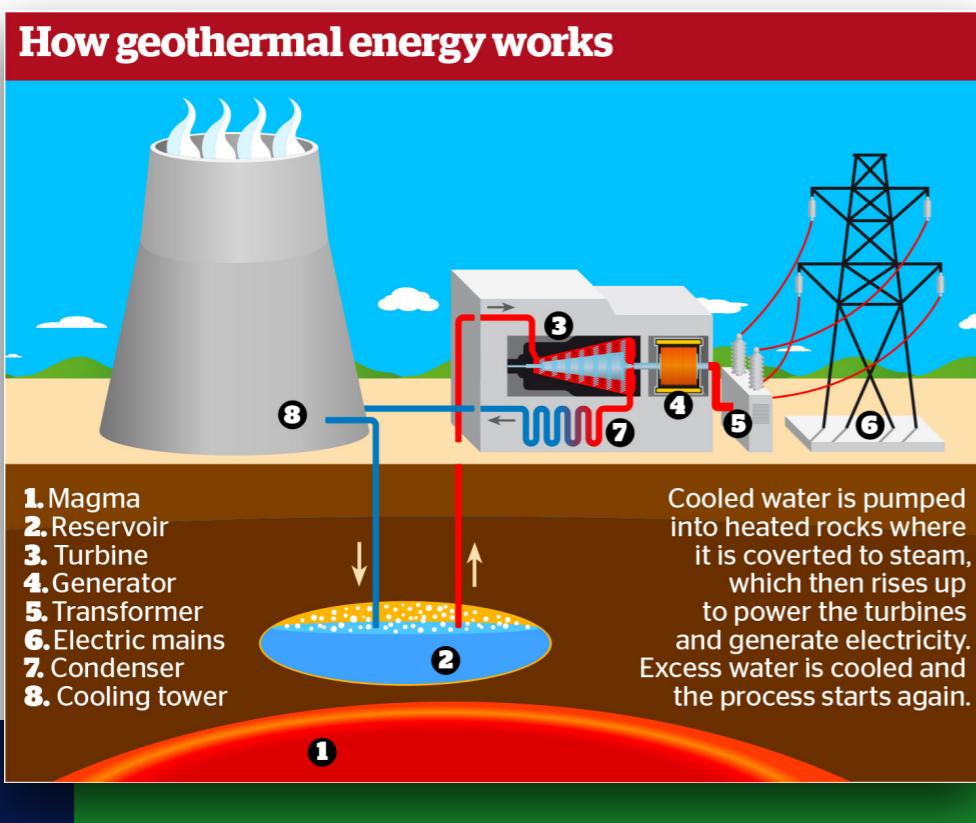
Analogamente: è impossibile realizzare una macchina termica che, funzionando ciclicamente, possa trasformare completamente in lavoro il calore assorbito da una sorgente a temperatura uniforme.



Il secondo principio (Kelvin–Planck)



Centrale geotermica “Sasso 2”, Toscana



Il secondo principio (Kelvin–Planck)

Secondo principio (Kelvin–Planck)

È **impossibile** realizzare una trasformazione il cui **unico risultato** sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo **integralmente** in lavoro.

Si mette in risalto che **parte dell'energia** fornita dalla sorgente di calda **DEVE** essere **ceduta all'ambiente** (sorgente fredda) sotto forma di calore.

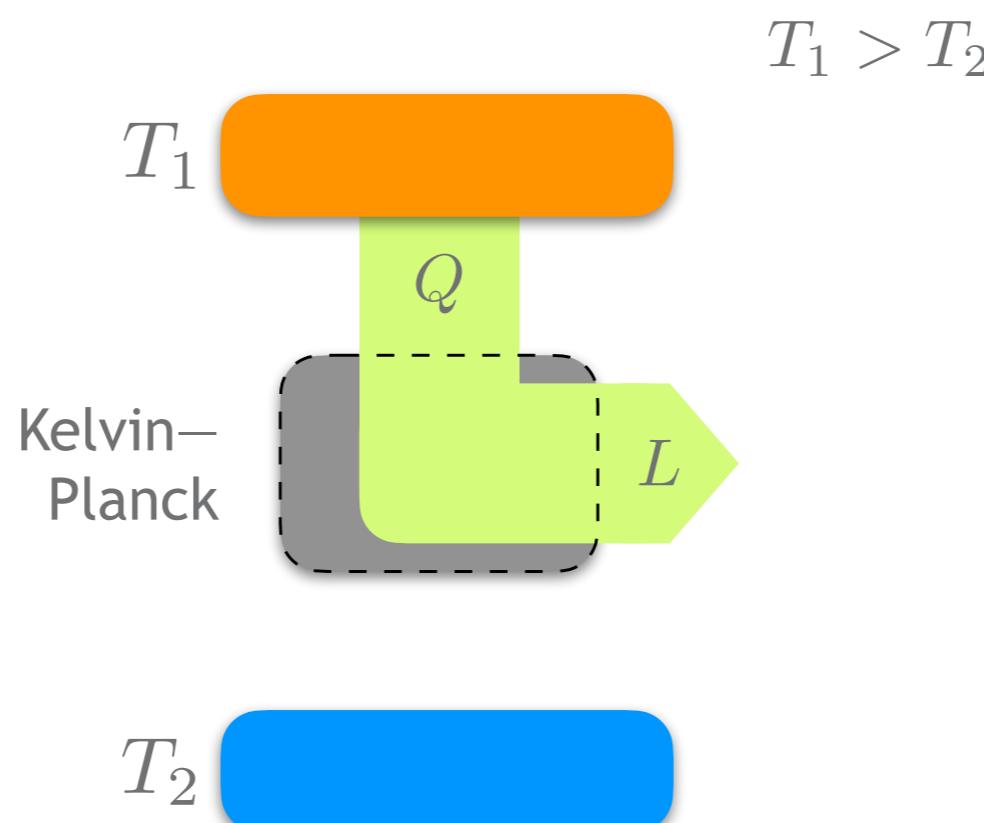
Se pensiamo ad una **macchina termica** che lavora **ciclicamente**, questo enunciato risulta chiarissimo: lavorando tra **due sorgenti** termiche, deve necessariamente **assorbire** calore da una una e **cederne** parte all'altra.



Il secondo principio (Kelvin–Planck)

Secondo principio (Kelvin–Planck)

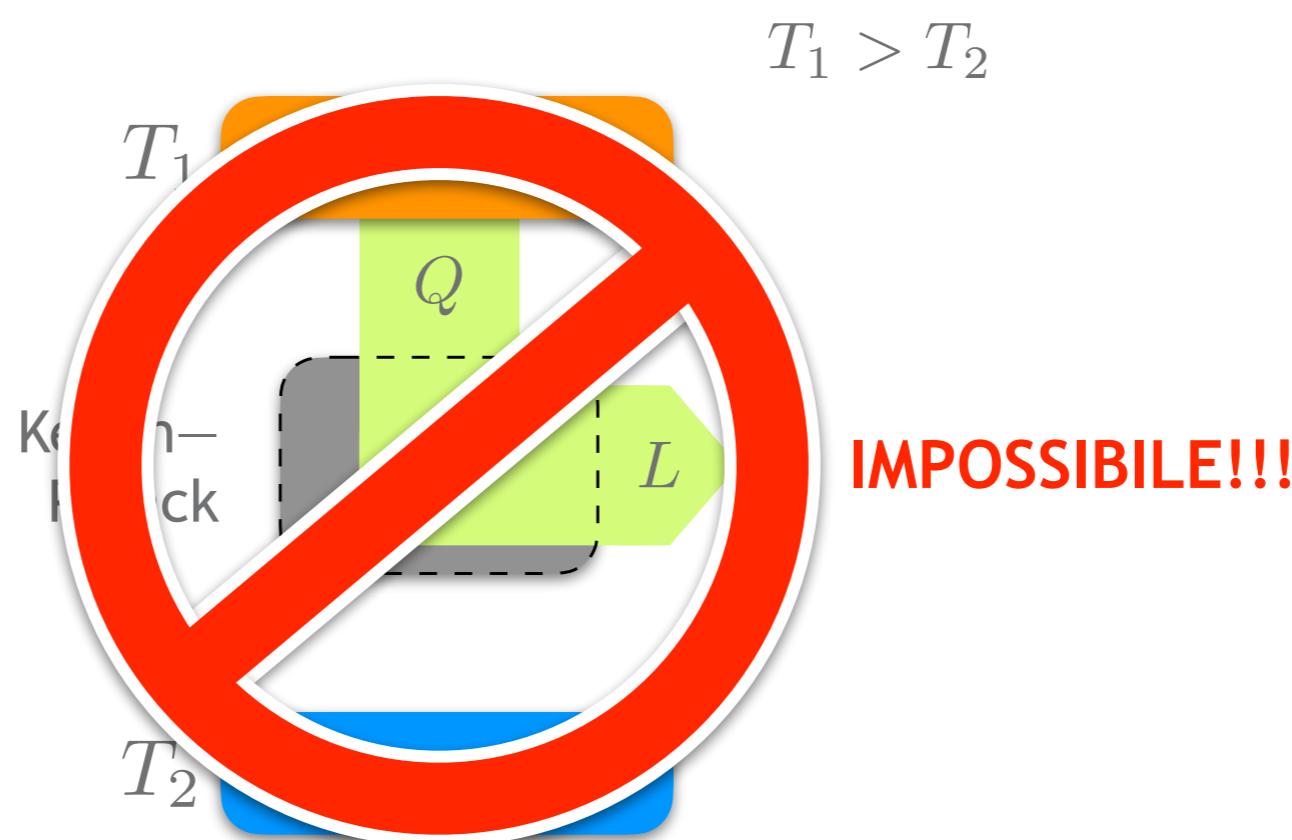
È **impossibile** realizzare una trasformazione il cui **unico risultato** sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo **integralmente** in lavoro.



Il secondo principio (Kelvin–Planck)

Secondo principio (Kelvin–Planck)

È **impossibile** realizzare una trasformazione il cui **unico risultato** sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo **integralmente** in lavoro.



Il secondo principio (Clausius)

Rudolf Clausius, invece, basò le sue ricerche sul **flusso di calore** tra corpi a temperature diverse.

Secondo principio (Clausius)

È impossibile realizzare una trasformazione il cui **unico risultato** sia un **passaggio di calore** da un corpo a una data temperatura a un altro a temperatura più alta.

Analogamente: è impossibile il passaggio **spontaneo*** di calore da un corpo freddo ad uno caldo per **differenza finita** di temperatura...

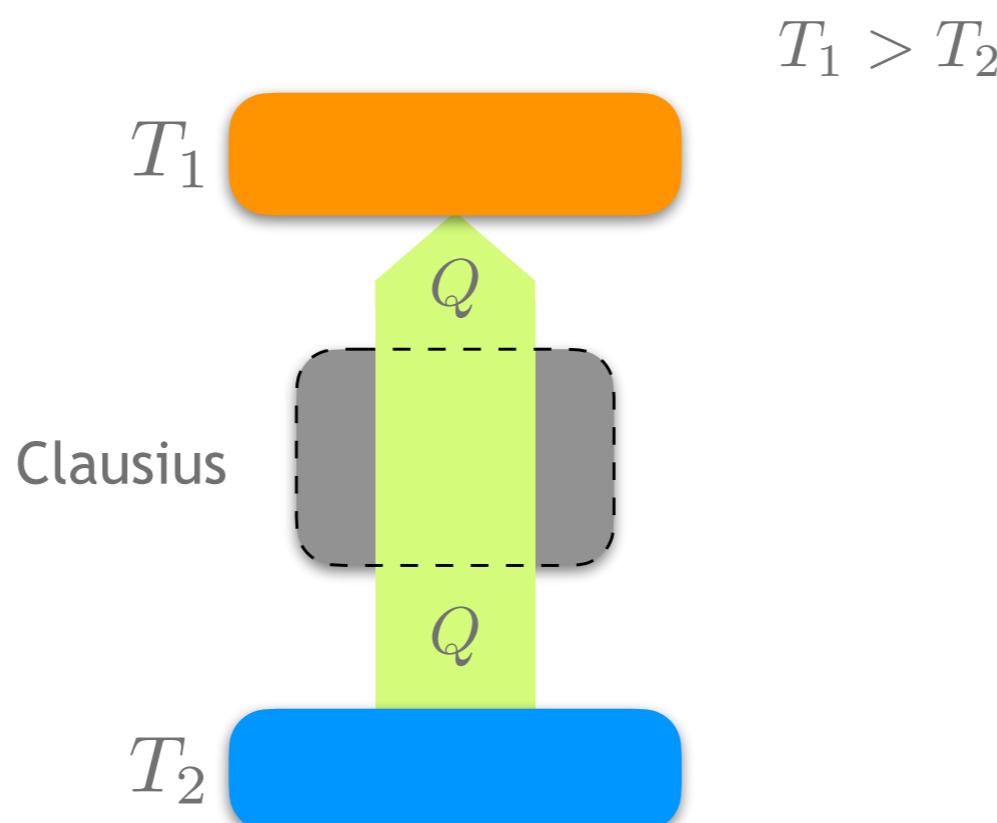
*Spontanea: Trasformazione di un sistema isolato da uno stato di non equilibrio a uno di equilibrio senza scambio di lavoro.



Il secondo principio (Clausius)

Secondo principio (Clausius)

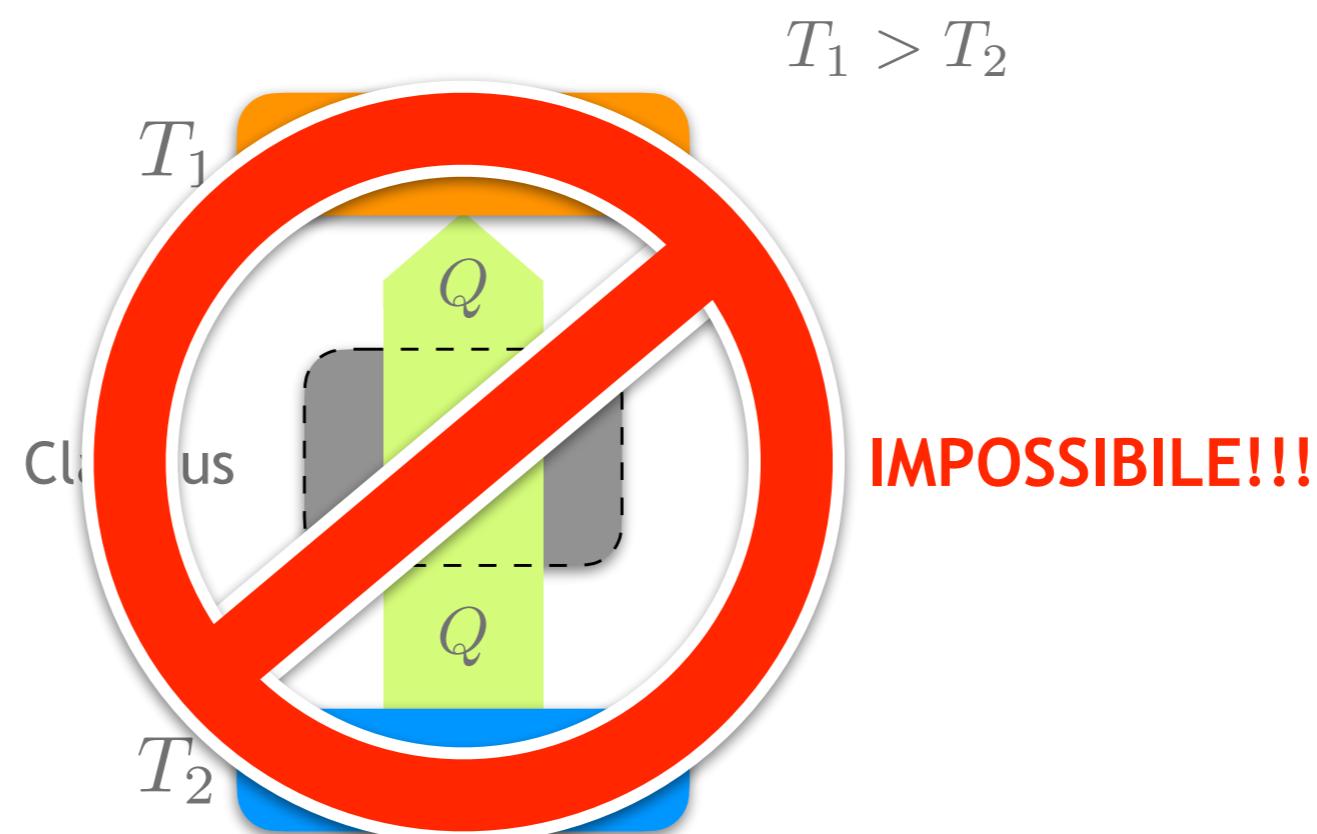
È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia un passaggio di calore da un corpo a una data temperatura a un altro a temperatura più alta.



Il secondo principio (Clausius)

Secondo principio (Clausius)

È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia un passaggio di calore da un corpo a una data temperatura a un altro a temperatura più alta.

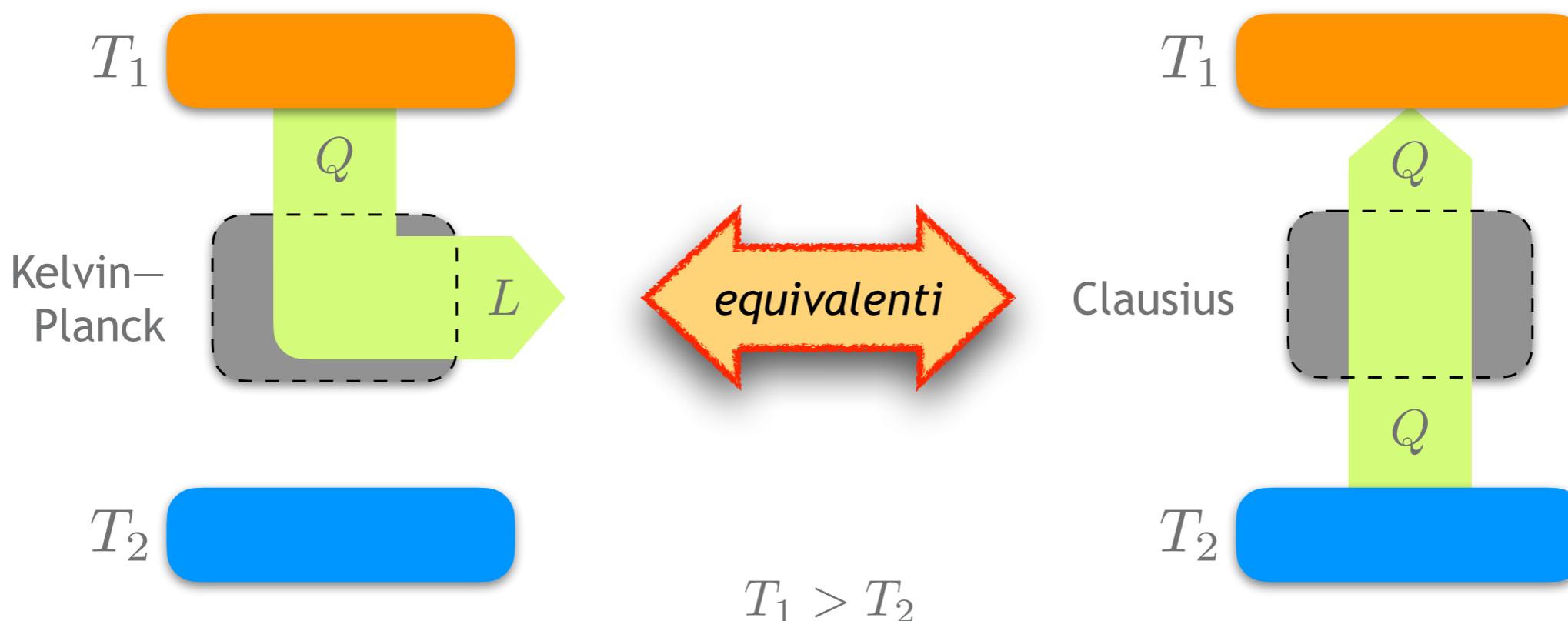


Il secondo principio: Kelvin–Planck & Clausius

Entrambi gli enunciati sono frutto e sintesi di numerose osservazioni sperimentali.

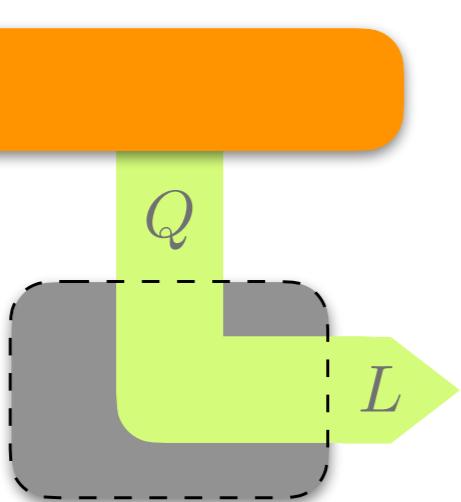
Si tratta a tutti gli effetti
di **leggi della natura**.

Si tratta di due principi differenti? **No!**
Sono logicamente equivalenti.



Equivalenza dei due enunciati

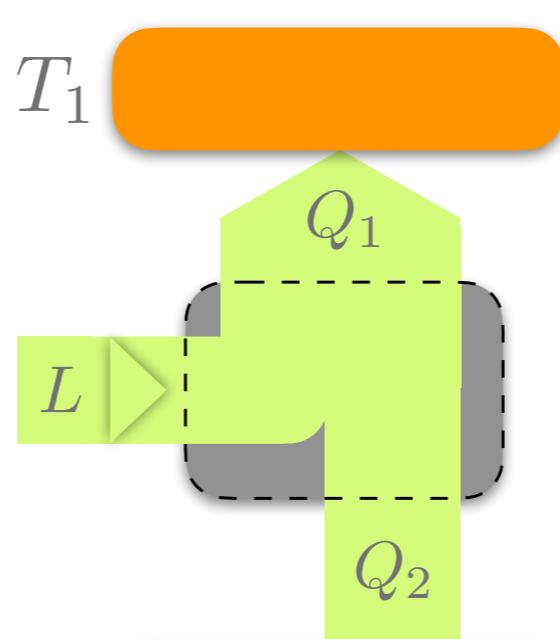
T_1



$$Q = L$$

T_2

T_1



$$Q_2$$

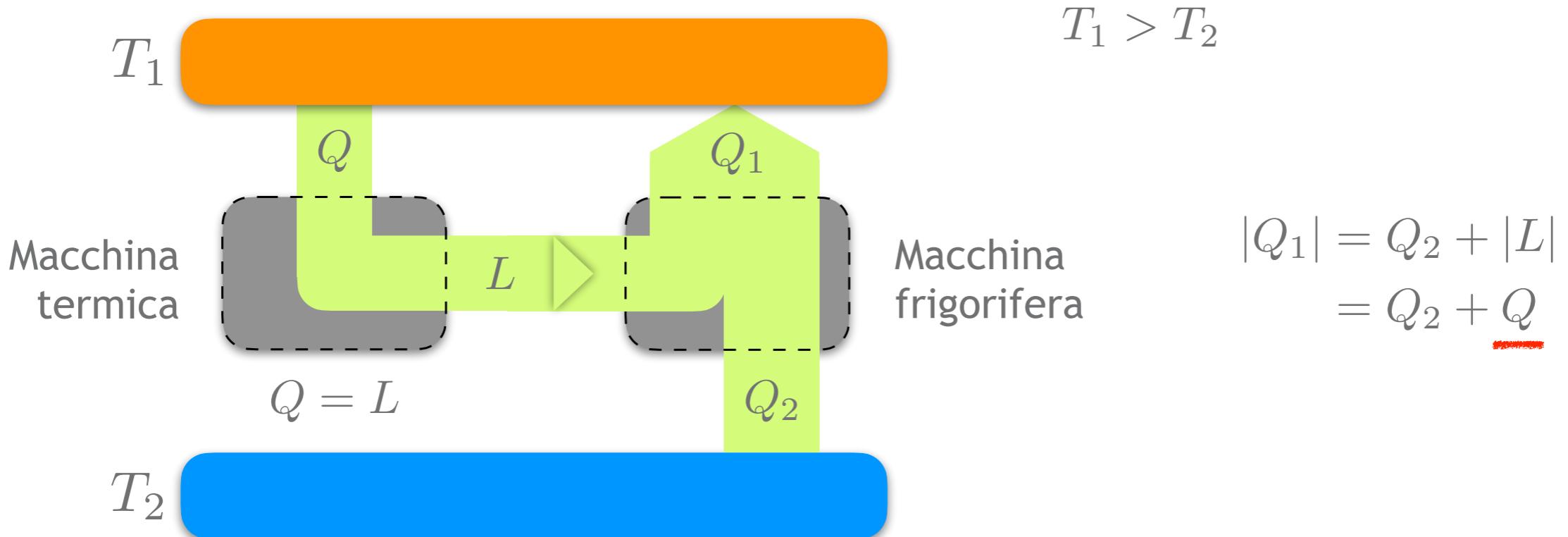
$$T_1 > T_2$$

$$L = Q_2 - |Q_1|$$

*Se neghiamo l'enunciato
di Kelvin–Planck...*



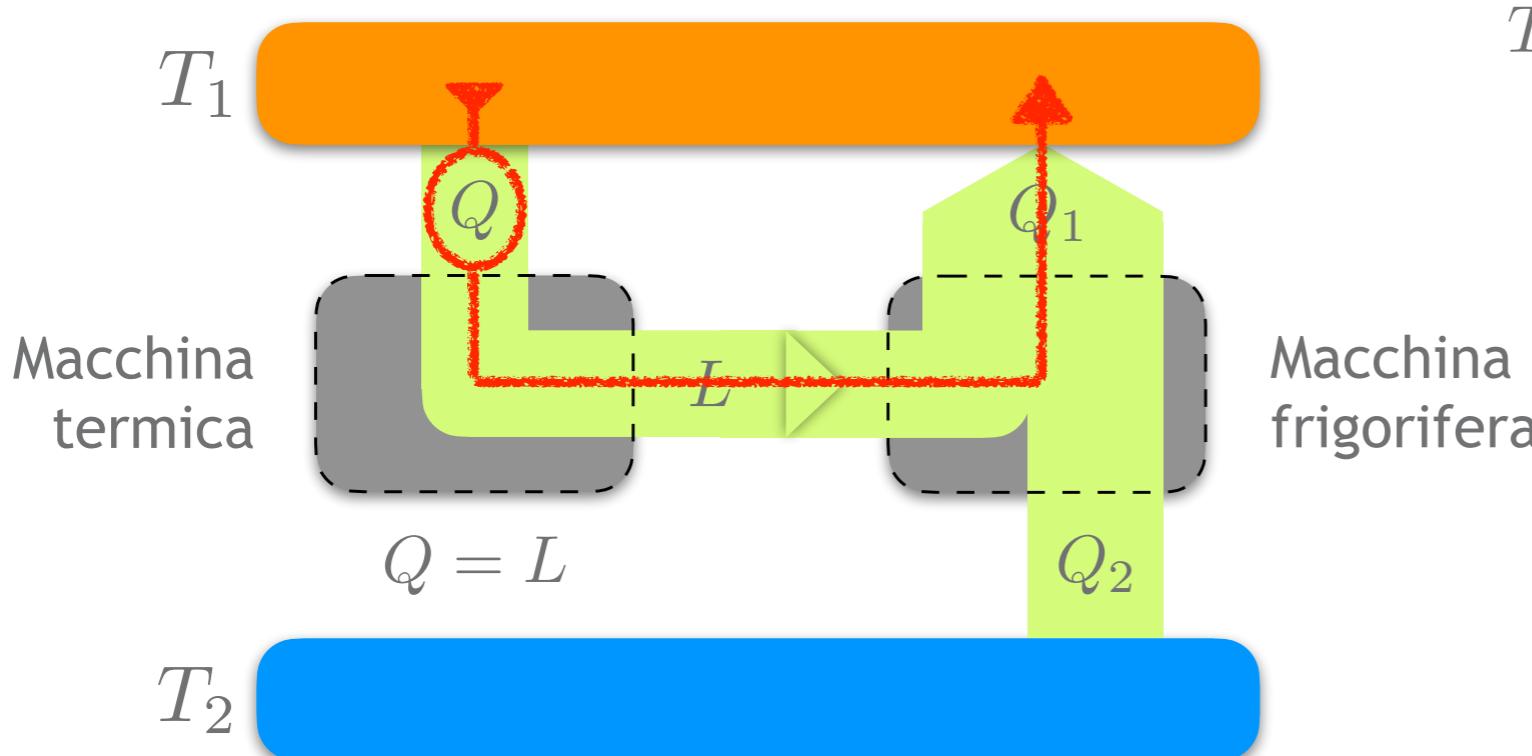
Equivalenza dei due enunciati



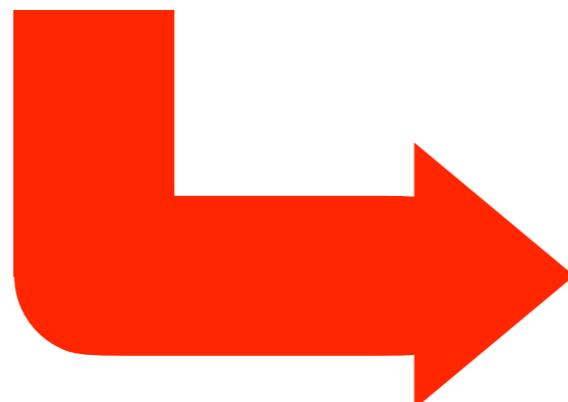
*Se neghiamo l'enunciato
di Kelvin–Planck...*



Equivalenza dei due enunciati



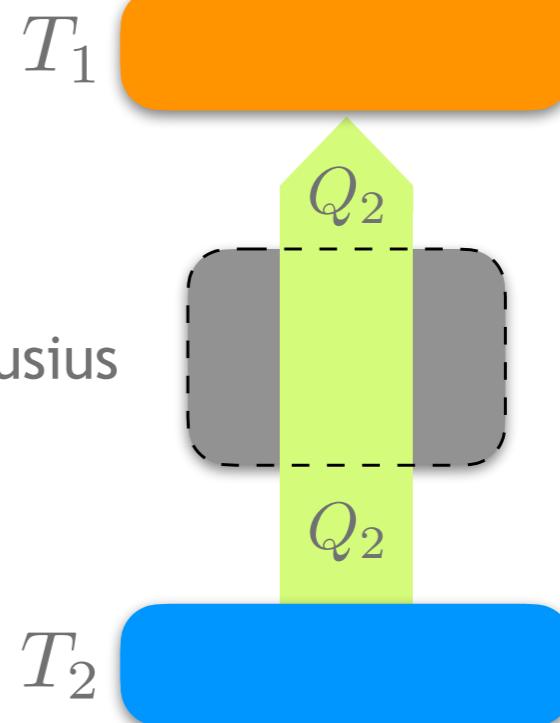
*Se neghiamo l'enunciato
di Kelvin–Planck...*



*... neghiamo anche
l'enunciato di Clausius!*

$$T_1 > T_2$$

$$|Q_1| = Q_2 + |L| \\ = Q_2 + \underline{Q}$$

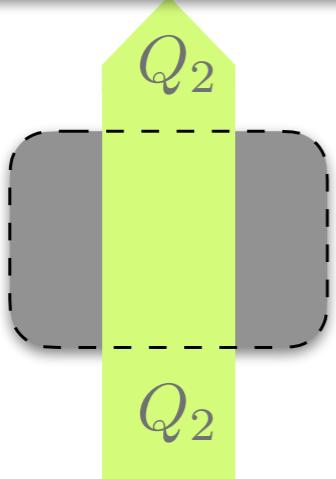


Equivalenza dei due enunciati

T_1

Macchina
frigorifera

T_2



T_1

Q_1

$T_1 > T_2$

Macchina
termica

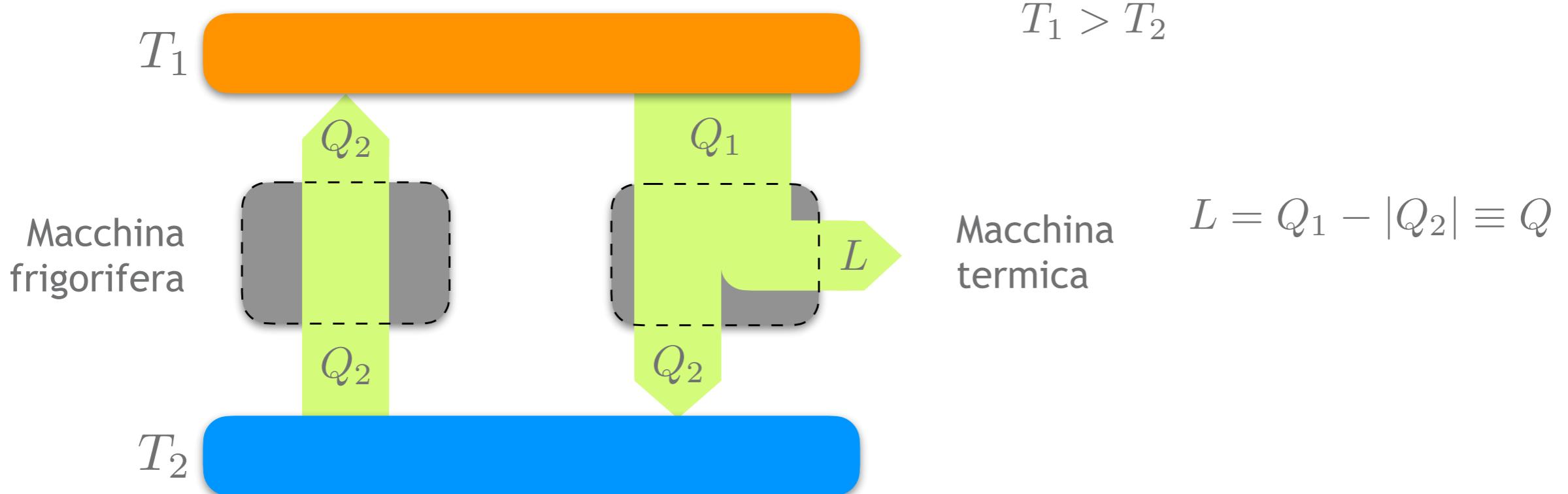
T_2

$$L = Q_1 - |Q_2|$$

*Se neghiamo
l'enunciato di Clausius...*



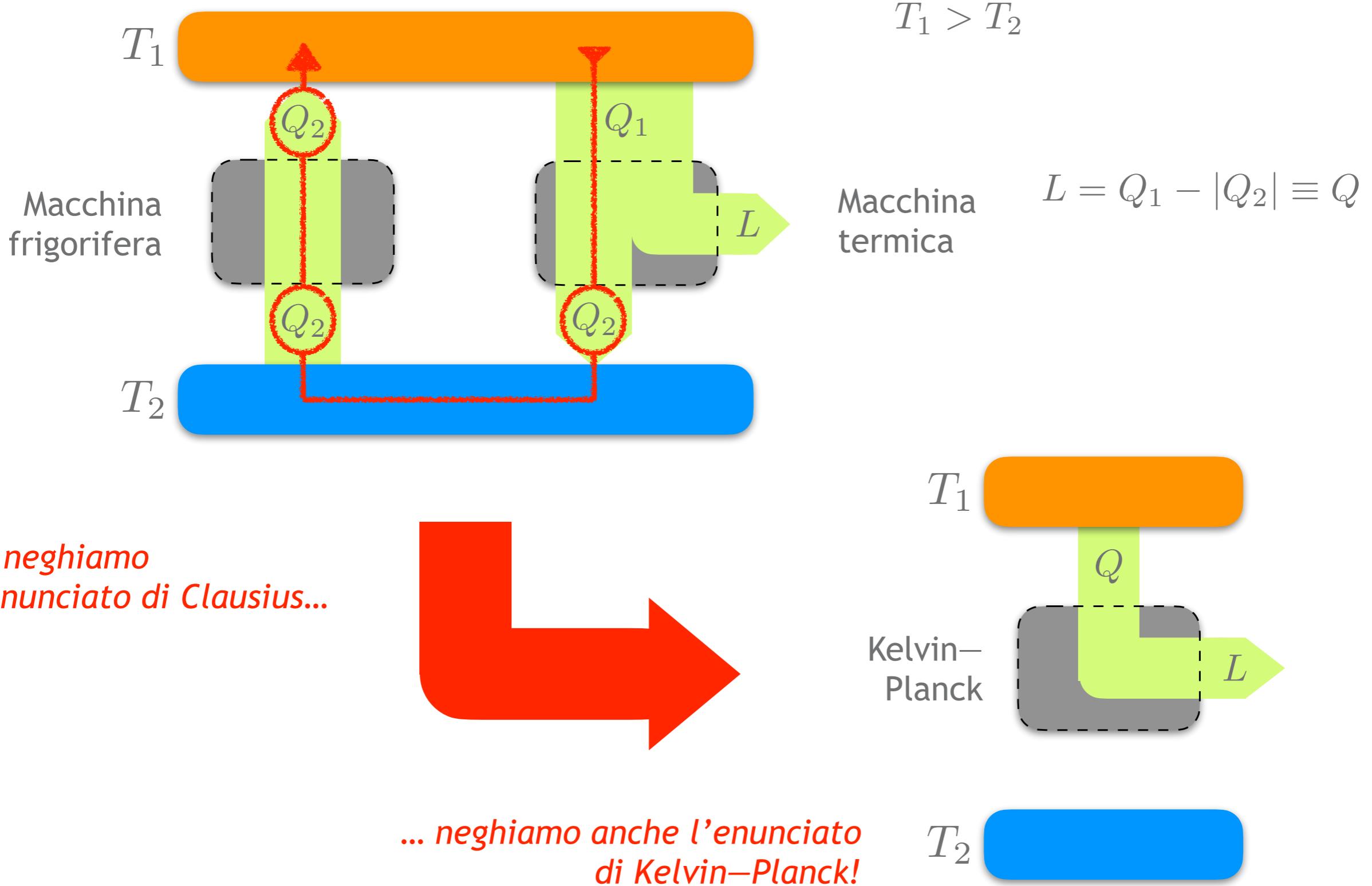
Equivalenza dei due enunciati



*Se neghiamo
l'enunciato di Clausius...*



Equivalenza dei due enunciati

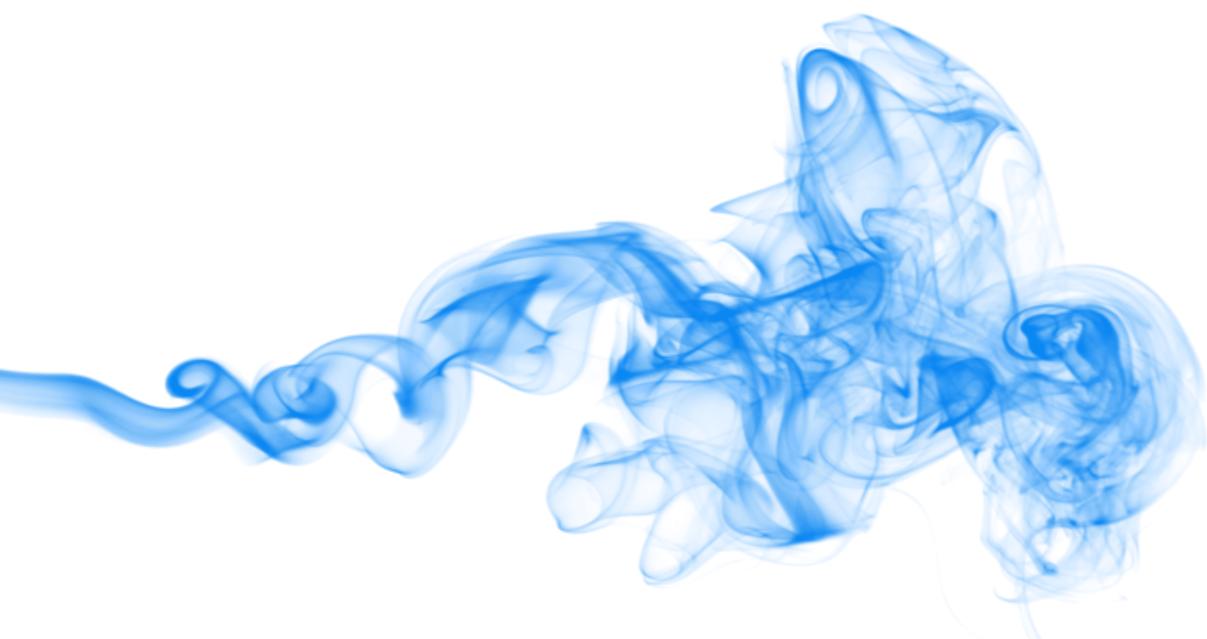


Reversibilità e secondo principio

Una trasformazione termodinamica è **reversibile** quando attraversa **stati di equilibrio** termodinamico...

... a trasformazione ultimata è possibile riportare il sistema nello stato iniziale **senza introdurre modificazioni nell'ambiente esterno**.

Maggior parte delle **trasformazioni spontanee***: riportando il sistema nello stato iniziale rimane una **traccia o modifica nell'ambiente esterno**.



- Espansione libera di un gas perfetto.
- Mulinello di Joule.
- Passaggio di calore.
- Diffusione di due gas uno nell'altro.

*Spontanea: Trasformazione di un sistema isolato da uno stato di non equilibrio a uno di equilibrio, senza scambio di lavoro.

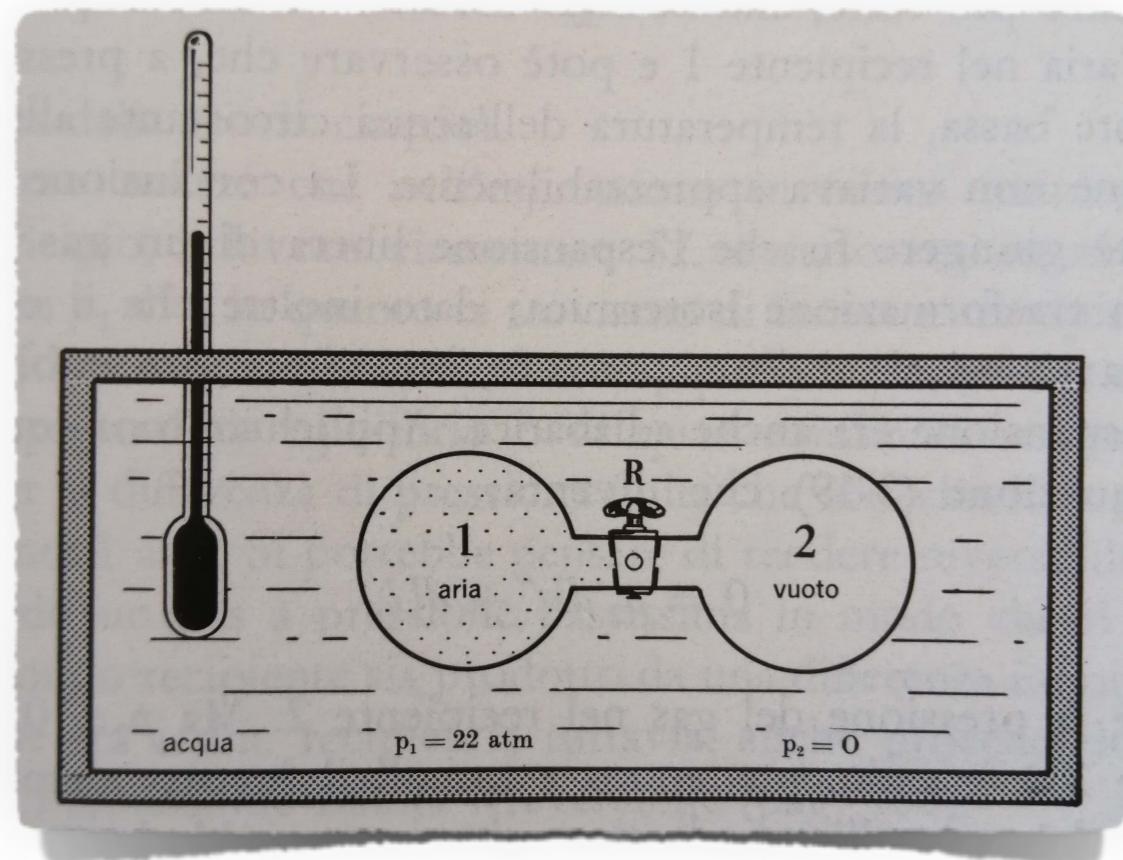


Reversibilità e secondo principio

Espansione libera di un gas perfetto:

ADIABATICA, ISOTERMA e IRREVERSIBILE

Per ripristinare le condizioni iniziali occorre una **COMPRESIONE ISOTERMA**, in cui, però, il **lavoro** richiesto è uguale al **calore** scambiato ($L = Q$)...



Perché l'**ambiente esterno** torni nelle **condizioni iniziali** occorrerebbe trasformare **tutto il calore** prodotto dall'**isoterma** **in lavoro**...

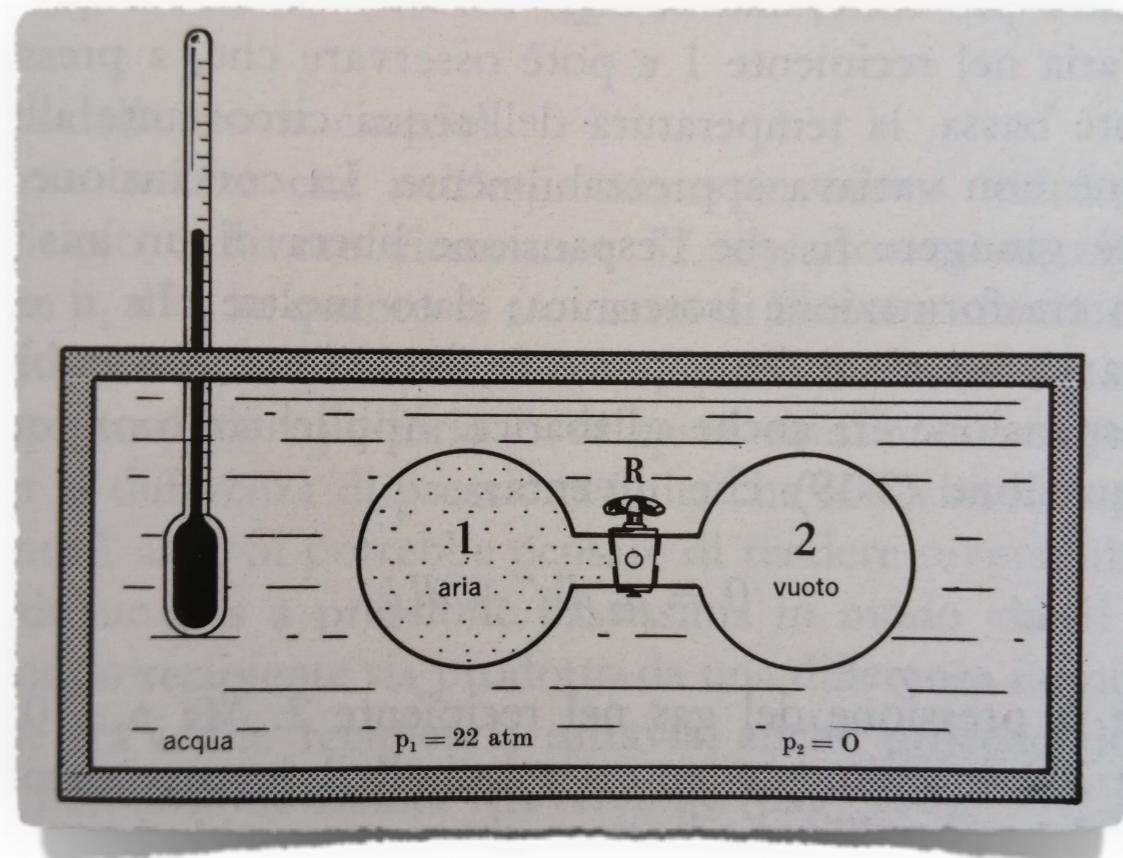
... ma questo è proibito
dall'enunciato di Kelvin—Planck!



Reversibilità e secondo principio

Secondo principio (Kelvin–Planck)

È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo integralmente in lavoro.



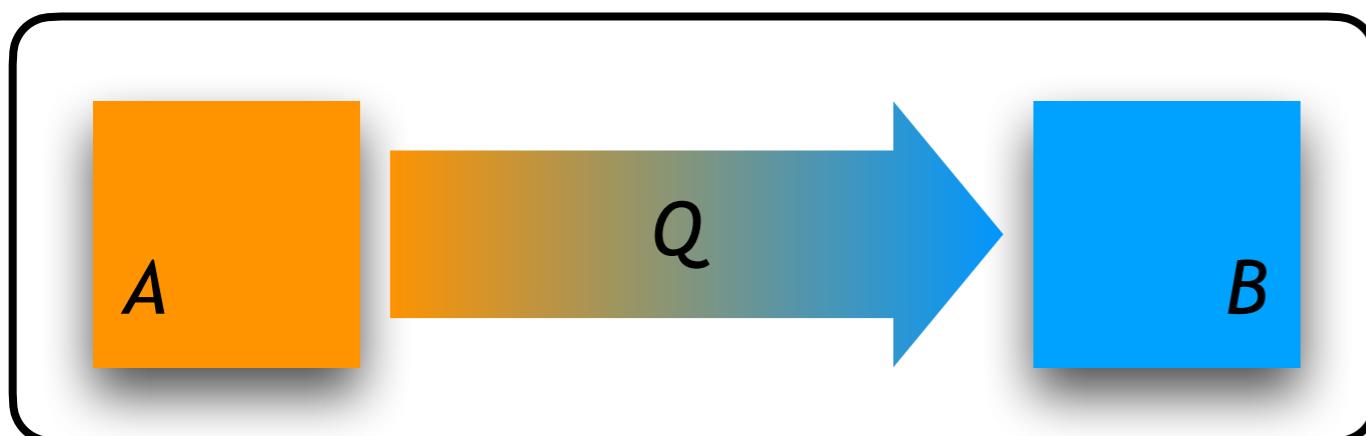
Perché l'**ambiente esterno torni nelle condizioni iniziali** occorrerebbe trasformare tutto il calore prodotto dall'isoterma in lavoro...

... ma questo è proibito dall'enunciato di Kelvin–Planck!



Reversibilità e secondo principio

Trasferimento di calore tra due corpi a temperature diverse:
si raggiunge **spontaneamente** una temperatura di equilibrio.



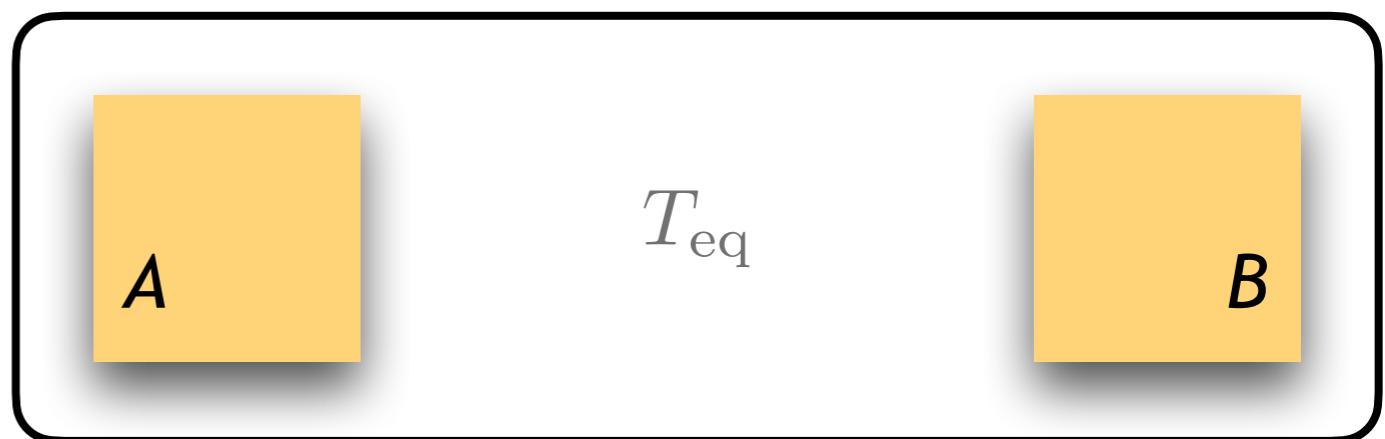
$$T_A > T_B$$

L'enunciato di Kelvin–Planck vieta $L = Q$!

Occorre **estrarre lavoro L** dal corpo B e trasferirlo **sotto forma di calore** al corpo A .

Il processo è **irreversibile**
(non è quasi-statico).

spontaneo



Reversibilità e secondo principio

Tutti i processi in cui si ha una **trasformazione spontanea di lavoro in calore** sono **irreversibili**: non è infatti possibile trasformare il calore in lavoro **senza apportare** altre modifiche all'ambiente!

La reversibilità richiede che una trasformazione sia **quasi-statica e senza attriti**. Infatti, per l'enunciato di Kelvin–Planck, la trasformazione di lavoro in calore (dovuta agli attriti) è irreversibile.

Secondo principio (Kelvin–Planck)

È **impossibile** realizzare una trasformazione il cui **unico risultato** sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e di trasformarlo **integralmente** in lavoro.

