

OTTOBRE SCIENZA - Bricolage della fisica

Torino, 12 ottobre 2007

Il ruolo dell'energia nei fenomeni naturali

- 1 - Alcuni esperimenti
- 2 - Il modello di riferimento
- 3 - Rappresentazione grafica
- 4 - La potenza
- 5 - Discussione di alcuni esempi

Michele D'Anna - Liceo cantonale di Locarno

Angelo Merletti – Liceo Curie di Pinerolo

1 – Alcuni esperimenti

Qui di seguito presentiamo alcuni esperimenti negli ambiti:

Meccanica

Termologia

Elettricità Chimica

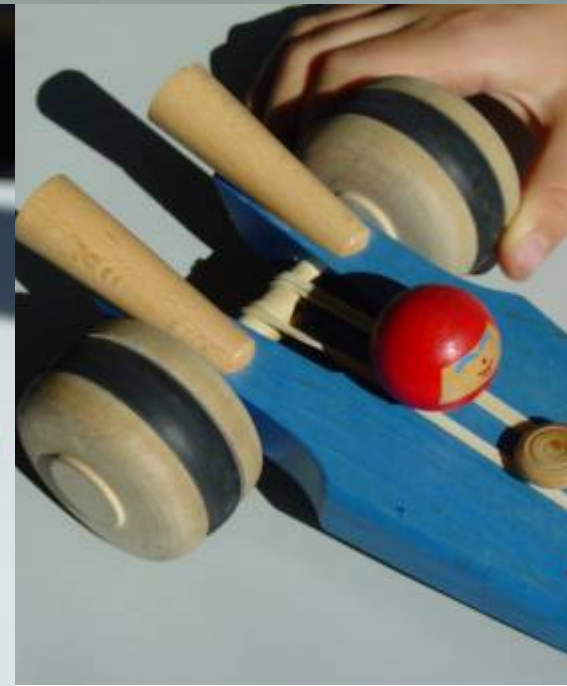
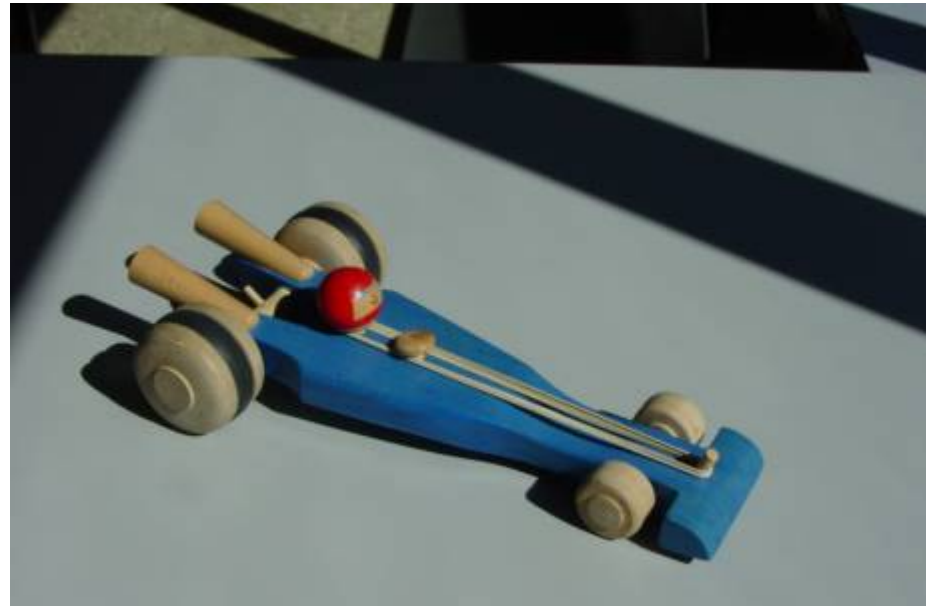
Termologia Elettricità

Elettricità

Meccanica Termologia

Chimica

**Cominciamo
con una
macchinina a
molla e ...
una sua amica**



**Questo è un mulino per
i piccoli ...**



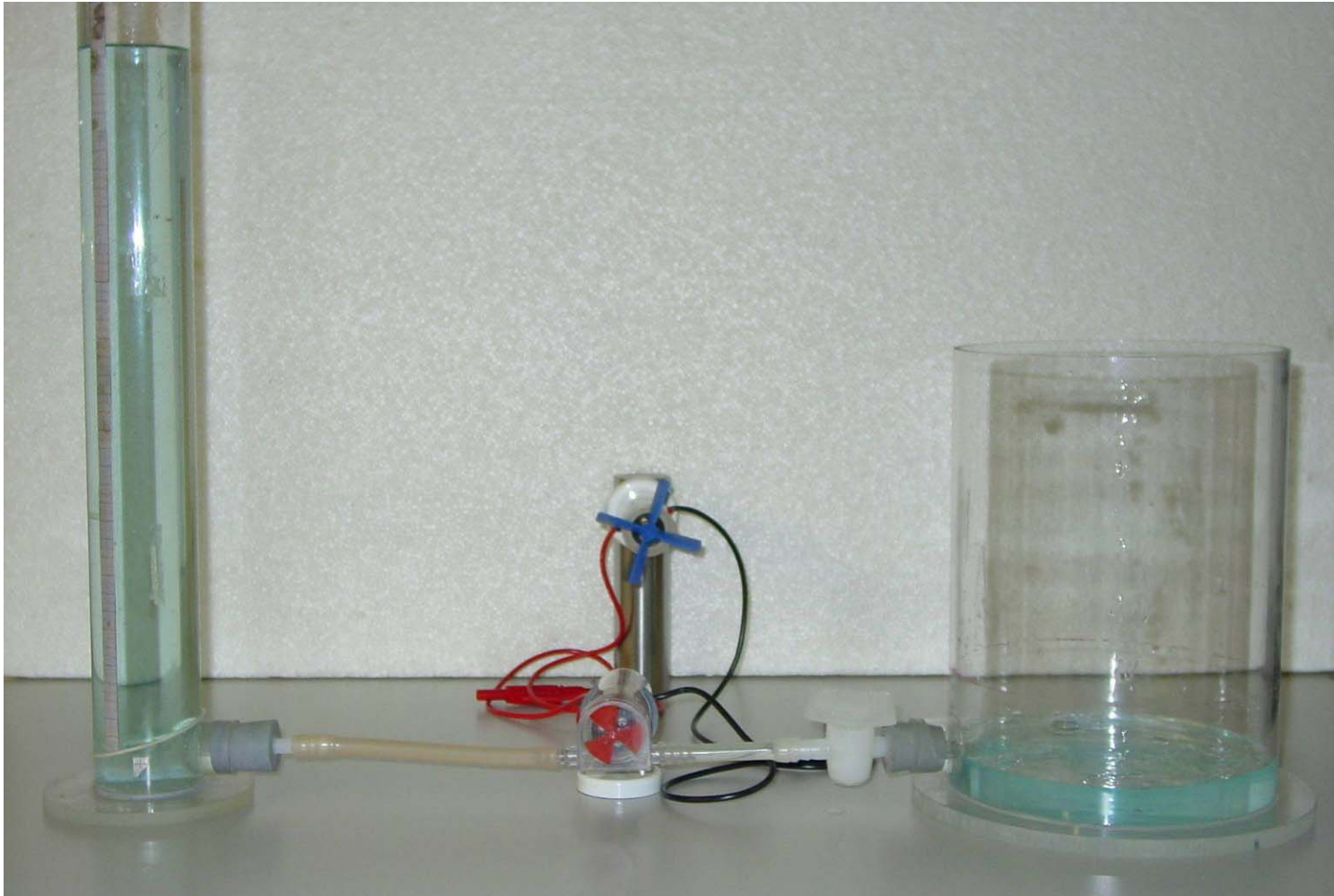
E questo un mulino per i grandi ...



**mentre questo è un
mulino ...
che non c'è!**

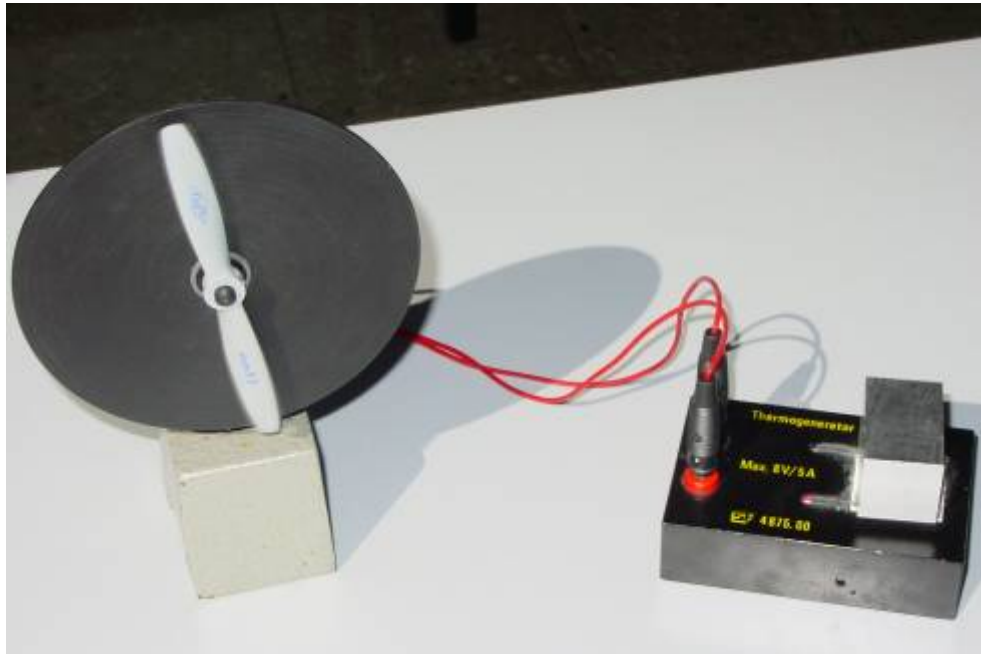


**Ecco invece qualcosa che funziona:
un mini-mulino che alimenta un motore elettrico**

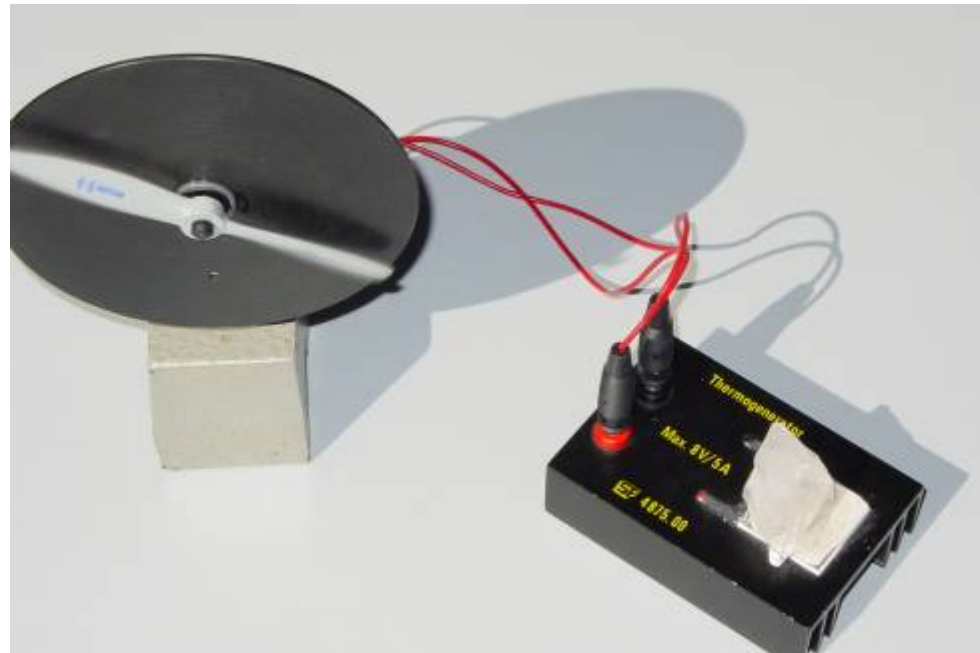


**Qui un motore
un po' diverso ...**





**.... e qui una
variante moderna**



Ecco invece un asciugacapelli



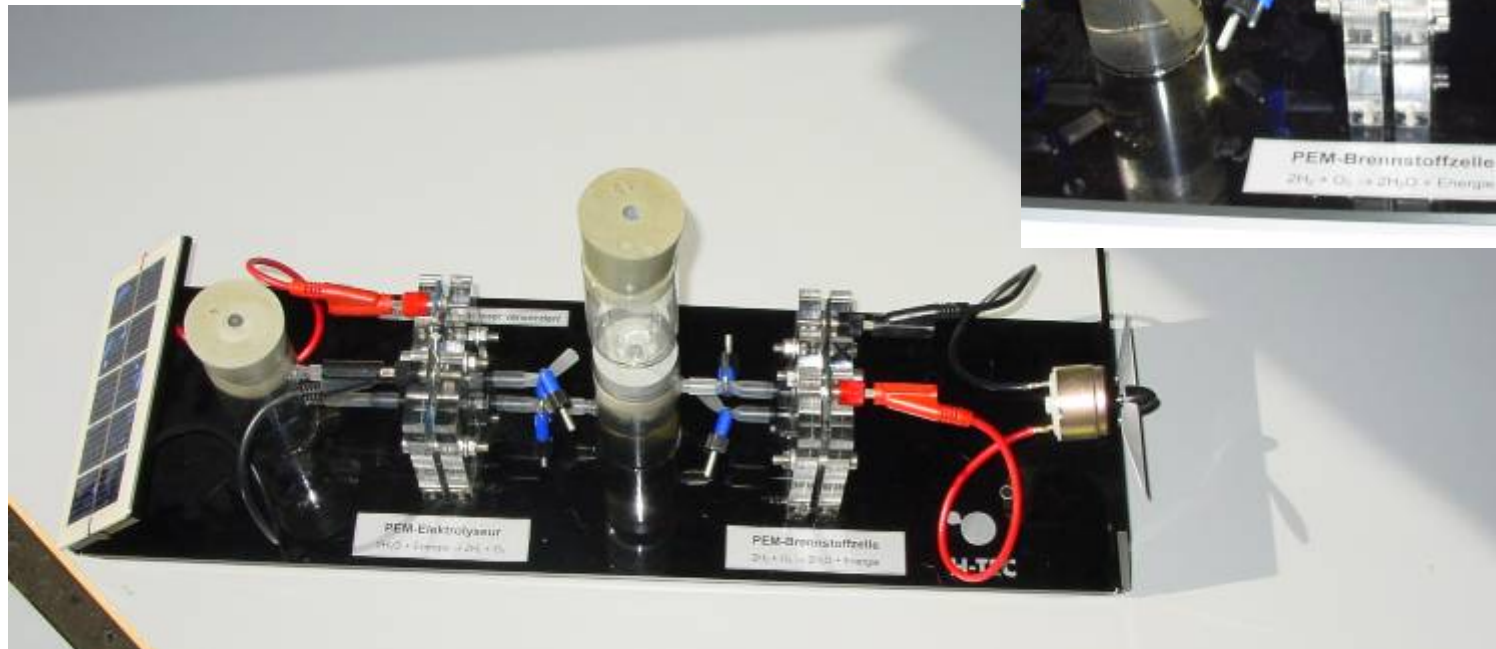
a riposo e ...

in azione



**Questa è una cella a
combustibile**

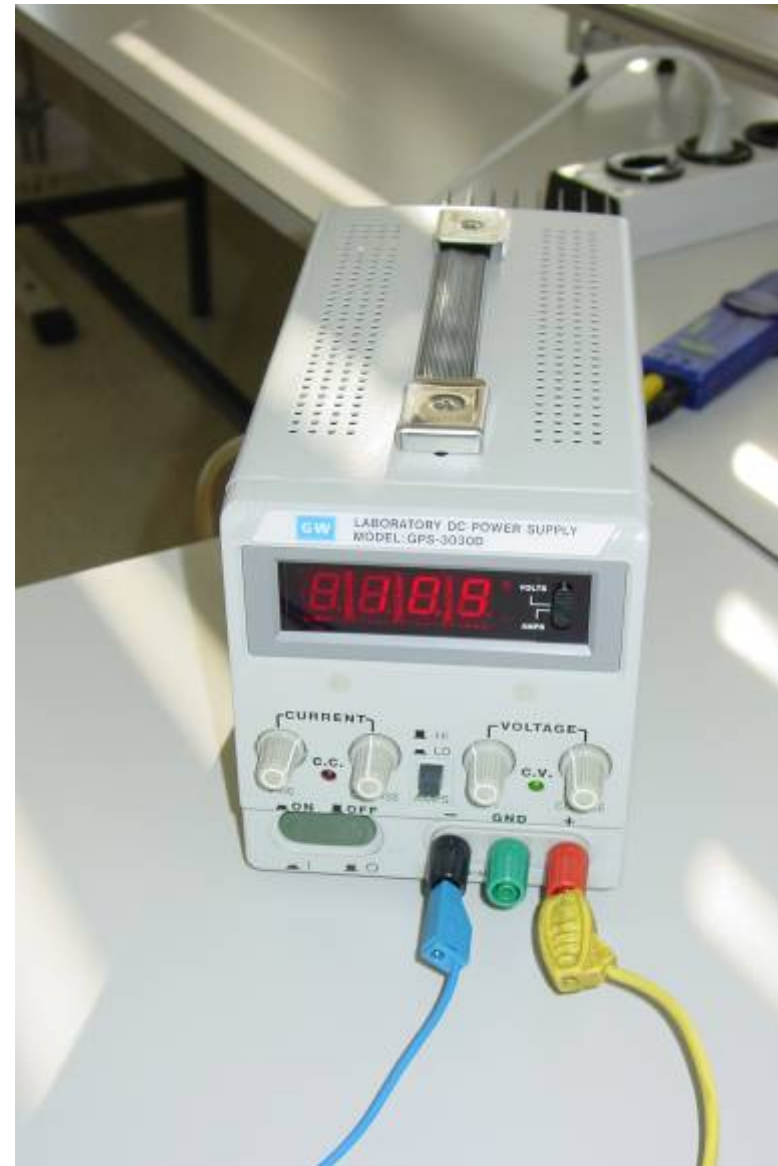
(idrogeno / aria)

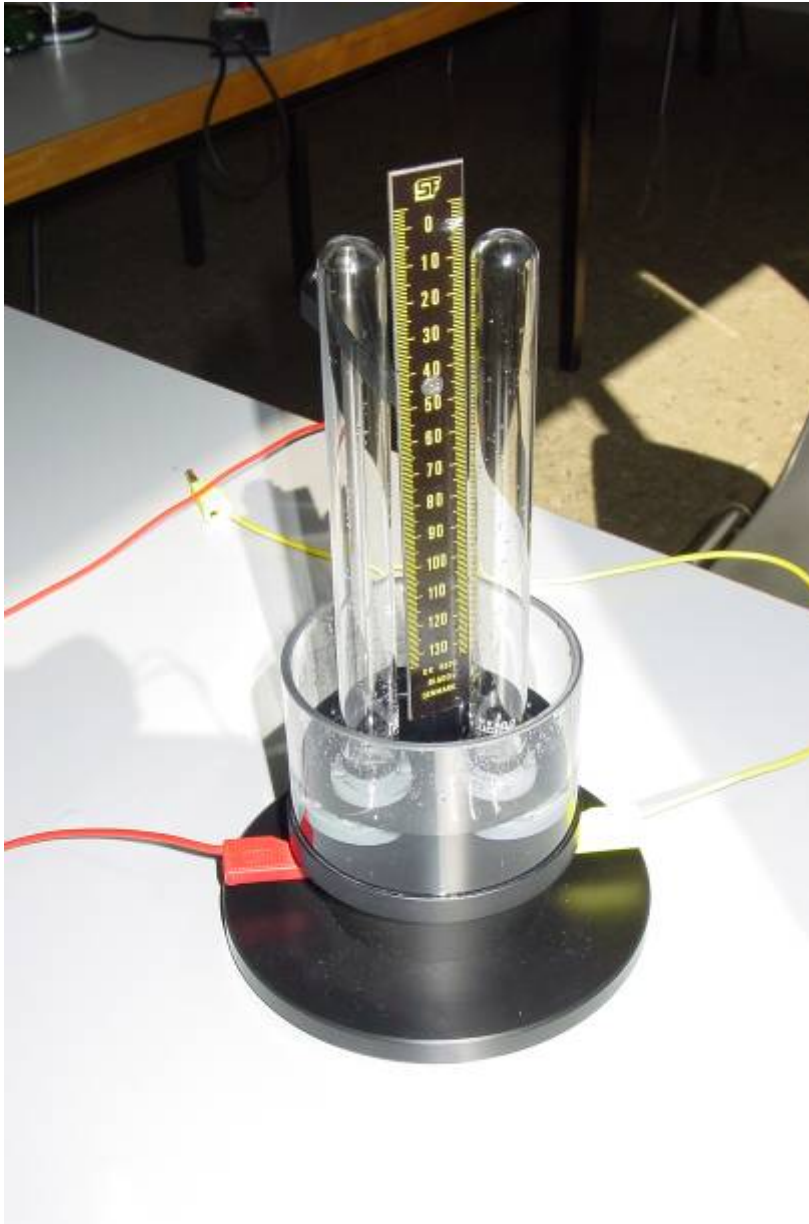


E questa una pompa per l'aria, ossia un dispositivo che ...



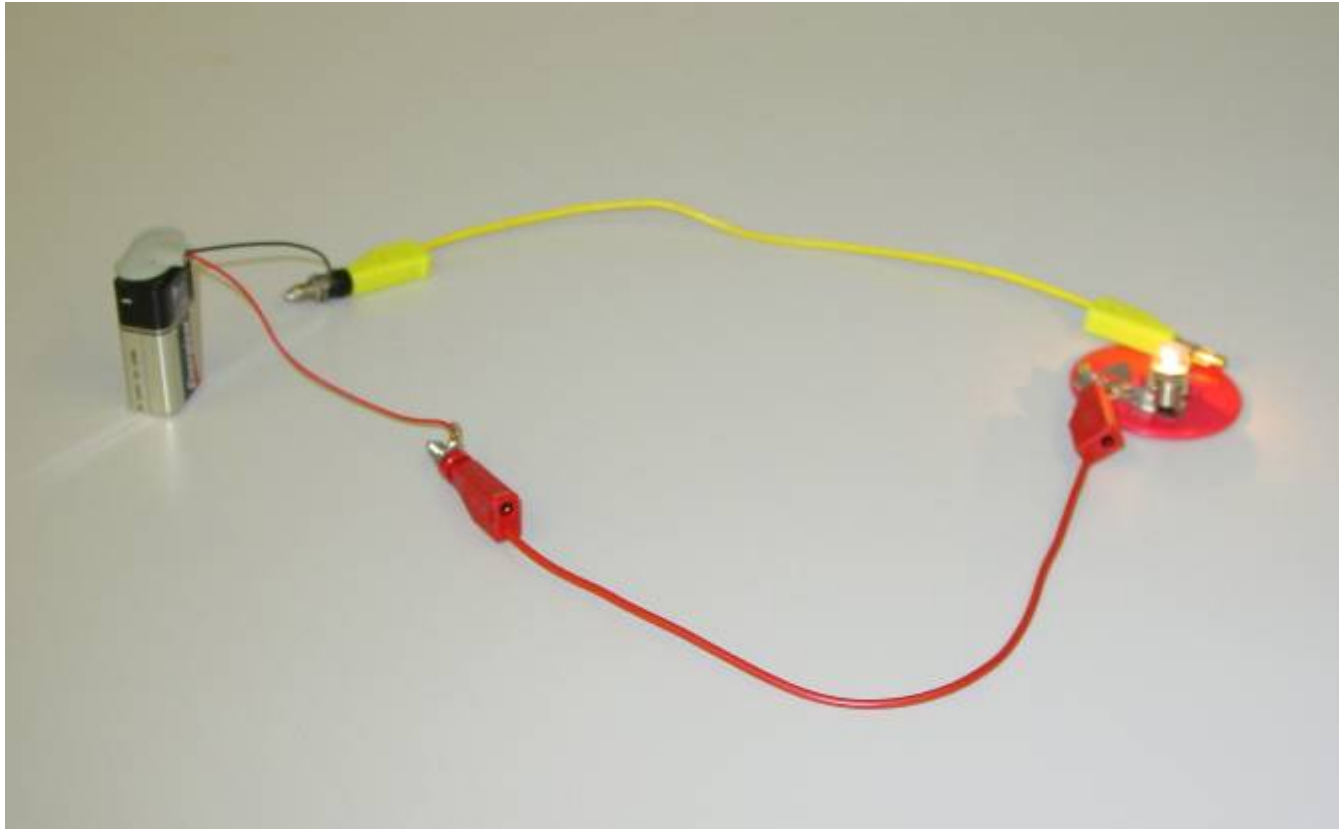
**Mentre questo è un
alimentatore elettrico,
ossia...**





**Questo è un
apparecchio per
l'elettrolisi, ossia**

**Qui una batteria alimenta una lampadina;
ossia ...**





Questo è un fornello elettrico, che riscalda un po' di acqua.

Che cosa ci fa qui?

Alcune domande:

- *Quali compiti assolvono i dispositivi mostrati?*
Che cosa hanno in comune le diverse situazioni viste?
- *Riscontrate delle affinità anche a livello di linguaggio nella descrizione dei vari dispositivi visti?*
- *Sapreste individuare delle grandezze che nelle varie situazioni svolgono la stessa funzione?*

2 - Il modello di riferimento per l'energia

CONOSCENZE

L'energia:

- può essere immagazzinata;
- può fluire da un sistema ad un altro;
- quando fluisce è sempre accompagnata dal flusso di un'altra grandezza;
- può essere trasferita da un portatore ad un altro;
- è soggetta ad una legge di bilancio;
- è una grandezza conservata.

COMPETENZE

L'allievo deve saper:

- individuare a livello qualitativo come e dove l'energia è immagazzinata, i flussi energetici e i processi nei quali l'energia viene dissipata;
- descrivere e prevedere, attraverso bilanci energetici quantitativi, i cambiamenti che avvengono in un sistema;
- riconoscere il legame tra l'irreversibilità dei fenomeni e la dissipazione dell'energia;
- utilizzare, in situazioni complesse, l'energia come chiave di lettura per le trasformazioni che avvengono in sistemi aperti, chiusi o isolati.

Campo di studio	Grandezza estensiva	Conservata / non conservata	Corrente associata	Grandezza intensiva	“Spinta” al trasferimento
Idraulica	Volume d’acqua V	conservata	Corrente d’acqua I_V	Pressione P	ΔP
Elettricit�	Carica elettrica Q	conservata	Corrente elettrica I_Q	Potenziale elettrico φ	$\Delta\varphi$
Meccanica (traslazioni)	Quantit� di moto p_x	conservata	Corrente meccanica (traslazioni) I_{p_x} (o forza F)	Velocit� v_x	Δv_x
Meccanica (rotazioni)	Quantit� di moto angolare L_x	conservata	Corrente meccanica (rotazioni) I_{L_x} (o momento della forza M_{mecc})	Velocit� angolare ω_x	$\Delta\omega_x$
Termologia	Entropia S	non conservata	Corrente d’entropia I_S	Temperatura assoluta T	ΔT
Chimica (trasformazioni della materia)	Quantit� di sostanza n	non conservata	Corrente chimica (o di quantit� di sostanza) I_n	Potenziale chimico μ	$\Delta\mu$

L'energia come principio regolatore

Nei *processi naturali* solitamente sono implicate più correnti: possiamo dire che esse sono tra di loro *accoppiate*. È quindi di grande interesse capire il principio in base al quale sono “regolati” questi accoppiamenti.

Come sappiamo, la *contabilità* in questo ambito è svolta dalla grandezza che noi chiamiamo *energia*.

Essa ha quindi il ruolo di *principio regolatore*: in una data situazione, l'energia determina i tassi di accoppiamento tra i vari aspetti (meccanici, termici, elettrici, idraulici, chimici, ecc.) coinvolti nel processo considerato.

Accoppiamento

Processi ideali

Processi dissipativi

{ processo irreversibile
produzione di entropia

Modello operativo per l'energia:

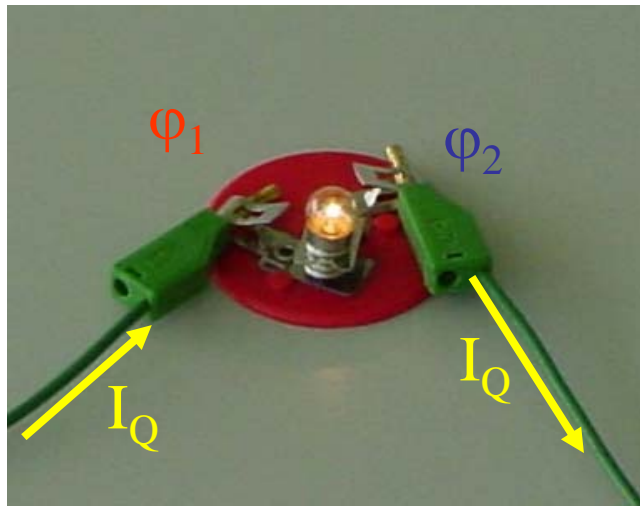
conoscere le sue proprietà, e in particolare, la relazione che lega i flussi delle varie grandezze estensive con quelli dell'energia.

Per i processi dovuti ad una differenza di potenziale (cioè per i processi di *conduzione*) si trova *sperimentalmente* che la *potenza* \mathcal{P} (ossia la quantità di energia che per unità di tempo viene richiesta o messa a disposizione nel processo) può essere espressa dalla relazione:

$$\mathcal{P} = I_x \cdot \Delta\varphi_x$$

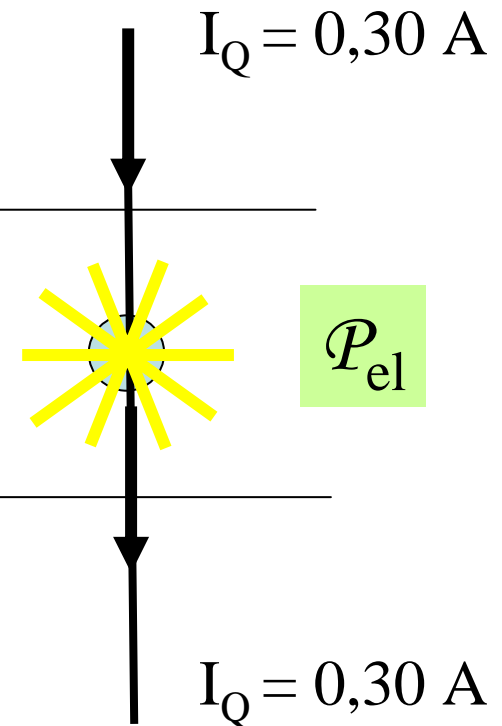
Flusso di energia *associato* a un dato flusso di carica elettrica

Esempio: lampadina ad incandescenza



$$\varphi_1 = 4,00 \text{ V}$$

$$\varphi_2 = 2,40 \text{ V}$$

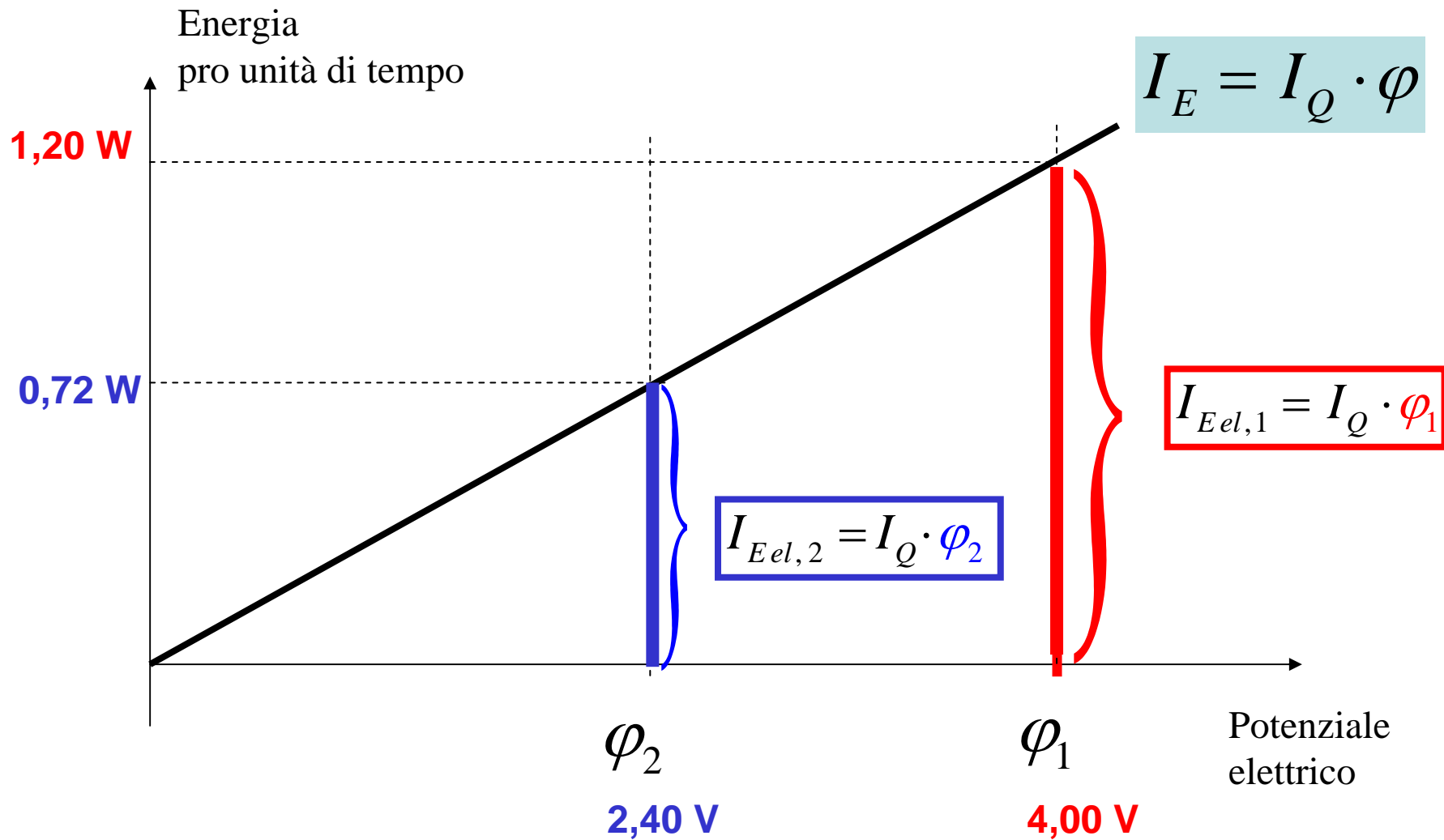


$$I_Q = 0,3 \text{ A} = 0,3 \text{ C/s} = 0,3 \text{ W/V}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 4,00 \text{ V} - 2,40 \text{ V} = 1,60 \text{ V}$$

$$\mathcal{P}_{el} = I_Q \Delta\varphi = 0,3 \text{ W/V} \cdot 1,60 \text{ V} = 0,48 \text{ W}$$

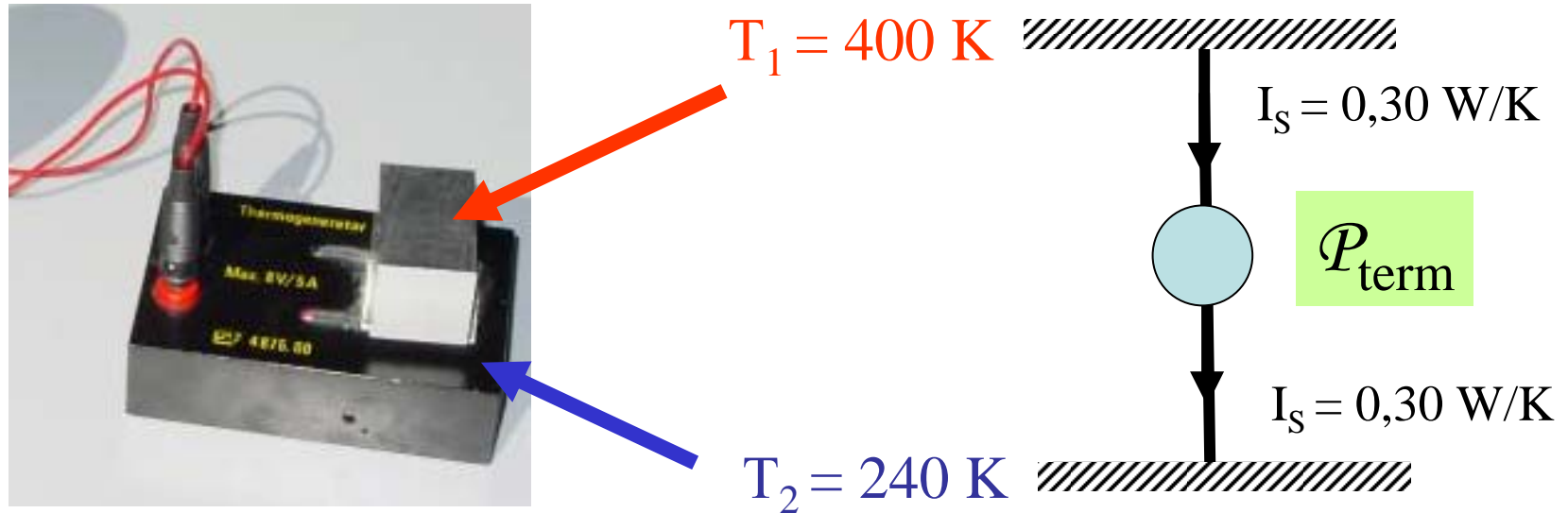
Flusso di energia *associato* a un dato flusso di carica elettrica



Esempio: $I_Q = 0,3\text{A} = 0,3\text{ C/s} = 0,3\text{ W/V}$

Flusso di energia *associato* a un dato flusso di entropia

Esempio: macchina termica reversibile

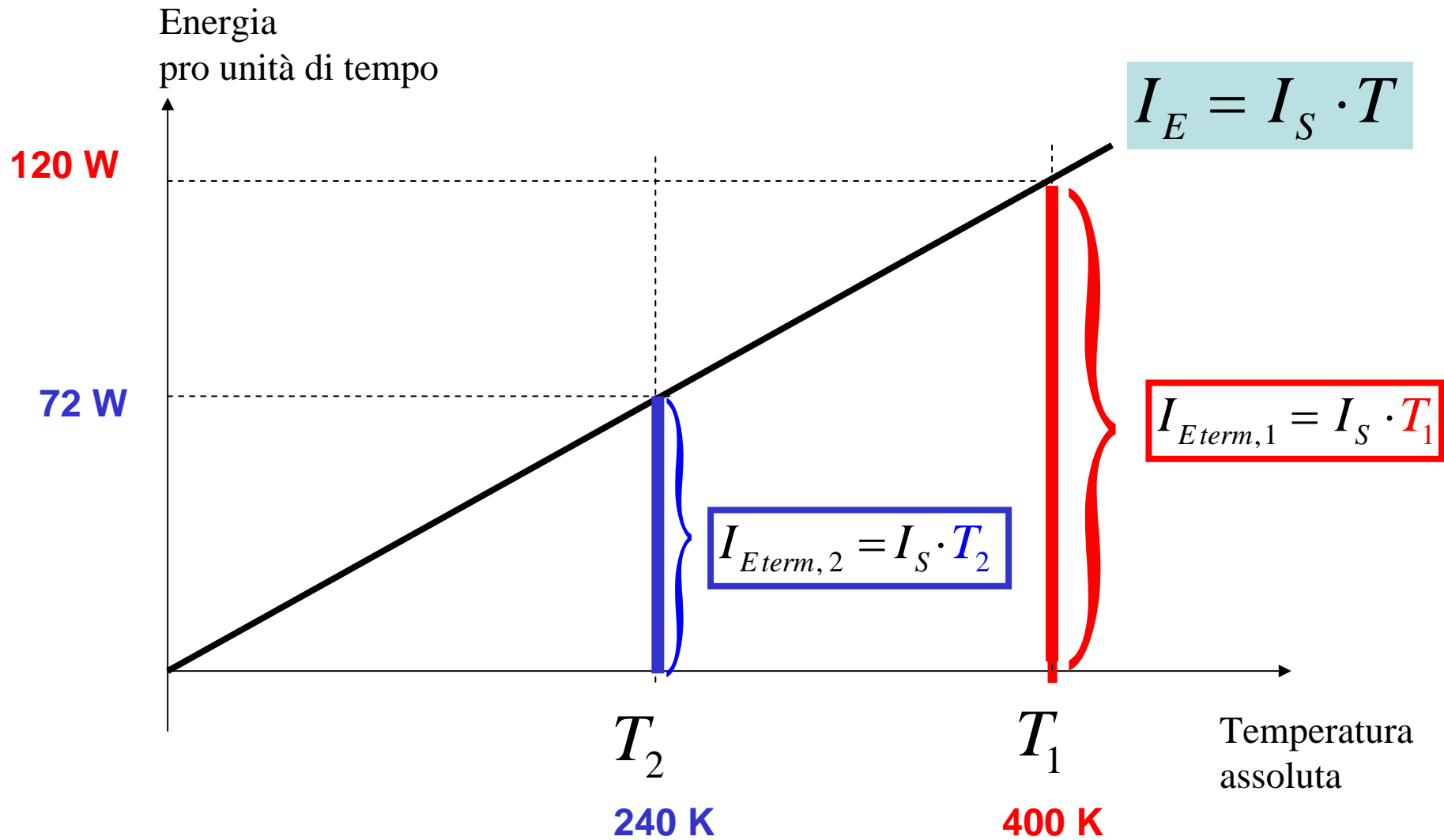


$$I_S = 0,3 \text{ Ct/s} = 0,3 \text{ W/K}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 400 \text{ K} - 240 \text{ K} = 160 \text{ K}$$

$$P_{\text{term}} = I_S \Delta T = 0,3 \text{ W/K} \cdot 160 \text{ K} = 48 \text{ W}$$

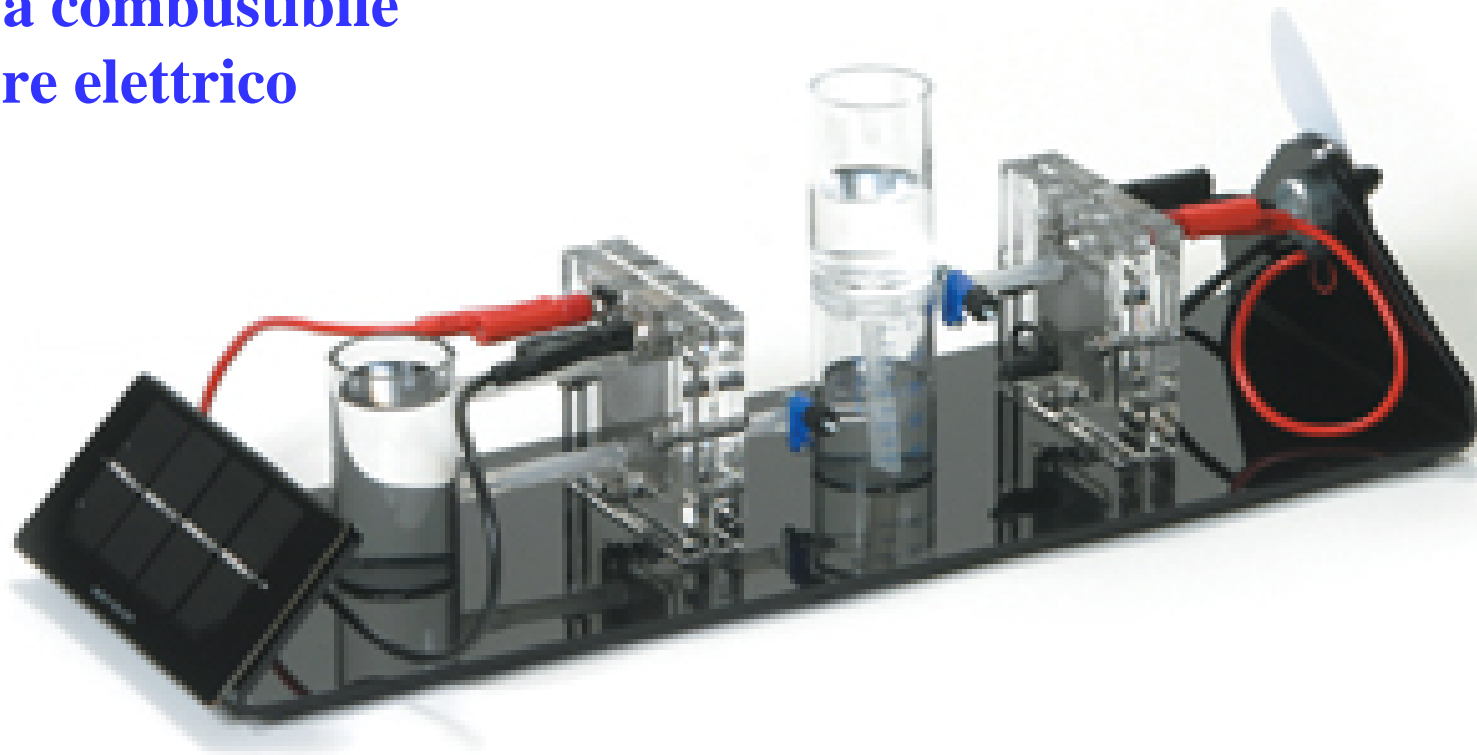
Flusso di energia *associato* a un dato flusso di entropia



Esempio: $I_S = 0,3\text{ Ct/s} = 0,3\text{ W/K}$

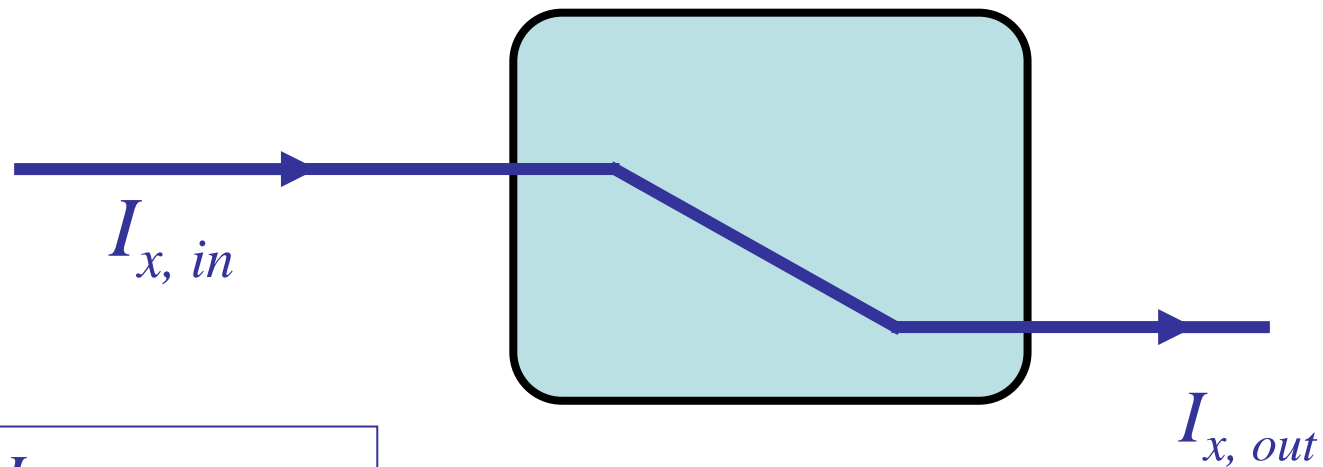
Campo di studio	Grandezza estensiva	Grandezza intensiva	Corrente associata	Trasporto di energia	Scambi di energia
Idraulica	Volume d'acqua V	Pressione P	Corrente d'acqua I_V	$I_E = I_V \cdot P$	$\mathcal{P} = I_V \cdot \Delta P$
Elettricit�	Carica elettrica Q	Potenziale elettrico φ	Corrente elettrica I_Q	$I_E = I_Q \cdot \varphi$	$\mathcal{P} = I_Q \cdot \Delta \varphi$
Meccanica (traslazioni)	Quantit� di moto p_x	Velocit� v_x	Corrente meccanica (traslazioni) I_{px} (o forza F)	$I_E = I_{px} \cdot v_x$	$\mathcal{P} = I_{px} \cdot \Delta v_x$
Meccanica (rotazioni)	Quantit� di moto angolare L_x	Velocit� angolare ω_x	Corrente meccanica (rotazioni) I_{Lx} (o momento della forza M_{mecc})	$I_E = I_{Lx} \cdot \omega_x$	$\mathcal{P} = I_{Lx} \cdot \Delta \omega_x$
Termologia	Entropia S	Temperatura assoluta T	Corrente d'entropia I_S	$I_E = I_S \cdot T$	$\mathcal{P} = I_S \cdot \Delta T$
Chimica	Quantit� chimica n	Potenziale chimico μ	Corrente chimica I_n rispettivamente tasso di trasformazione π_n	$I_E = I_n \cdot \mu$	$\mathcal{P} = I_n \cdot \Delta \mu$ $\mathcal{P} = \pi_{n(R)} \cdot \Delta \mu$

Esempio:
cella fotovoltaica
cella elettrolitica
cella a combustibile
motore elettrico



3 - Rappresentazione grafica del modello

Sistema di cui si vuole rappresentare il comportamento (regime stazionario)

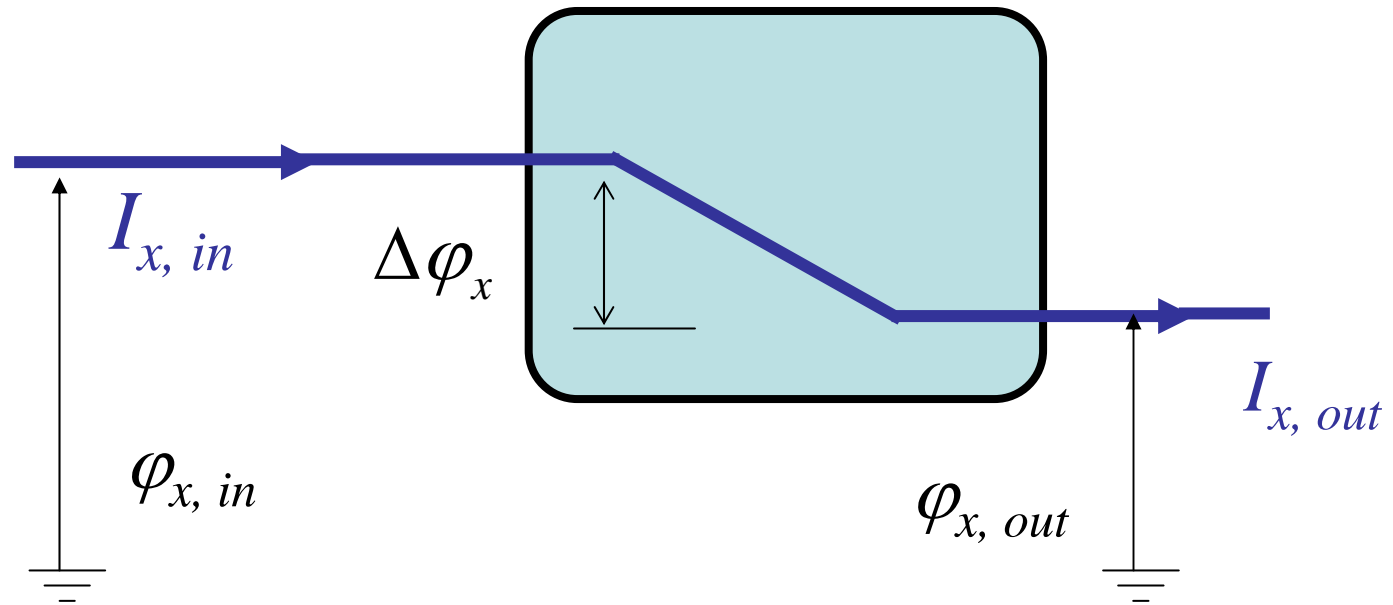


Corrente I_x
associata alla
grandezza estensiva X
che *supponiamo* essere
conservata

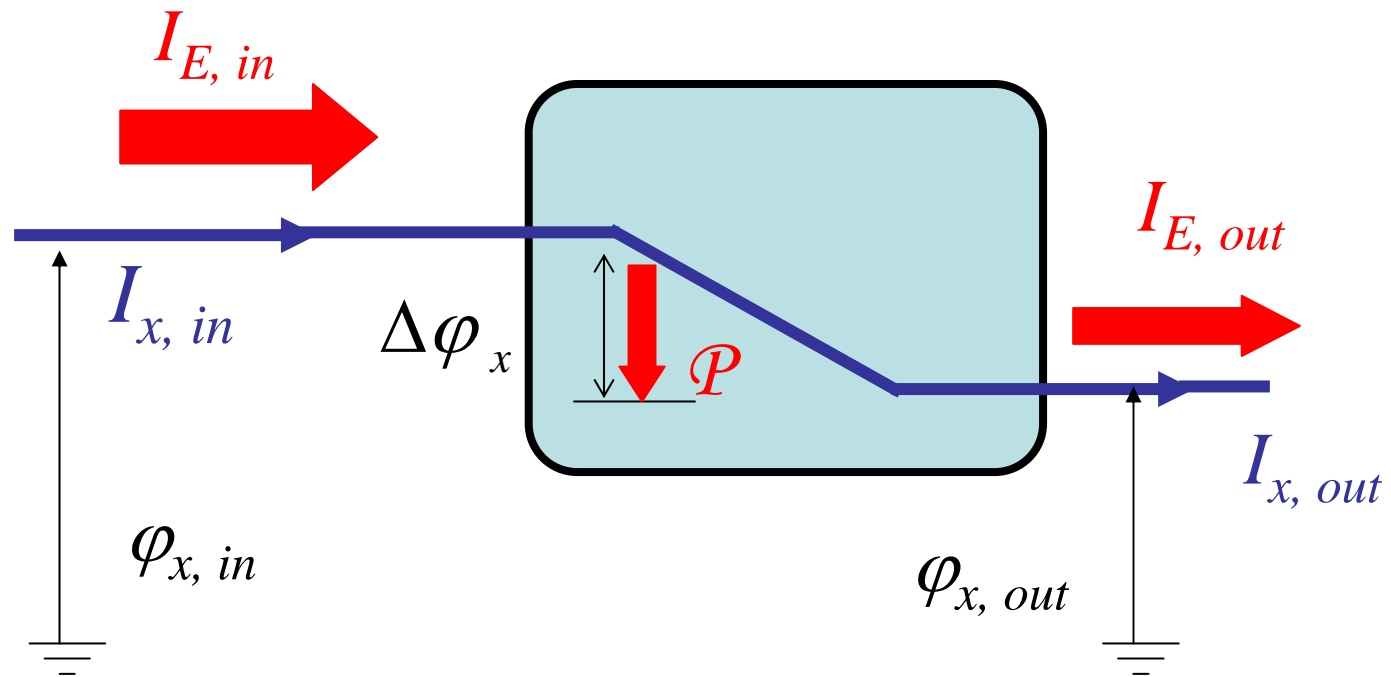
$$\frac{dX_{sist}}{dt} = I_{x,tot} = (I_{x,in} - |I_{x,out}|) = 0$$

$$I_{x,in} = |I_{x,out}|$$

Potenziali:



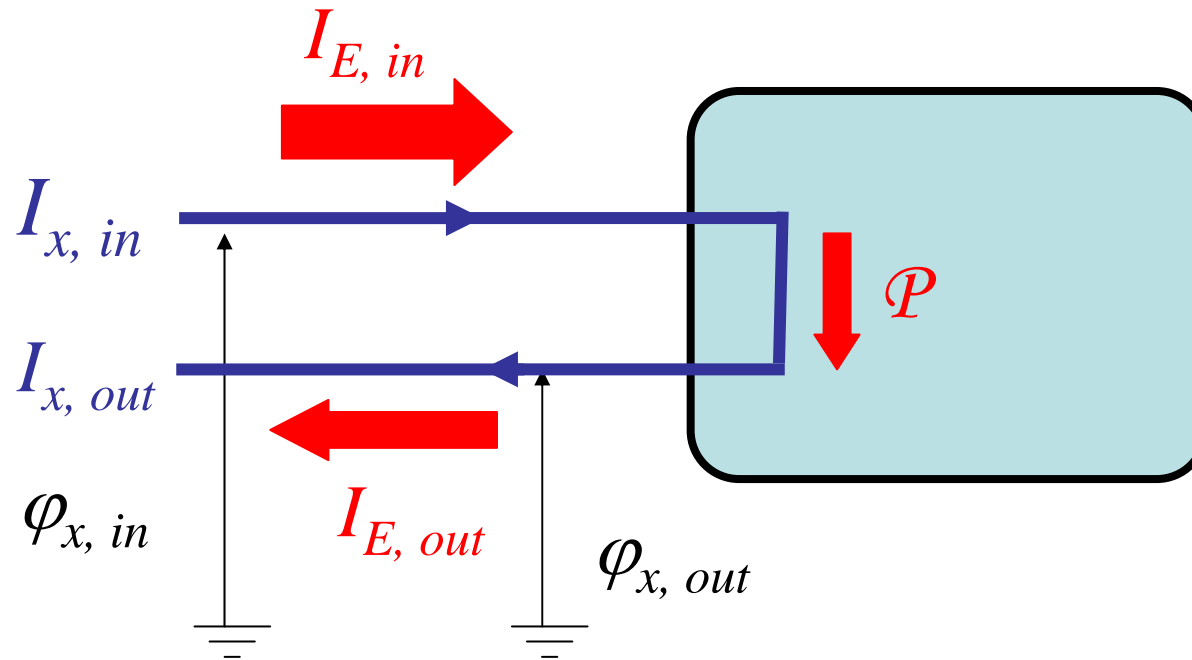
Aspetti energetici (1)



Bilancio per l'energia:

$$\mathcal{P} = I_{E, in} - |I_{E, out}|$$

Aspetti energetici (2): *altro modo* di rappresentare

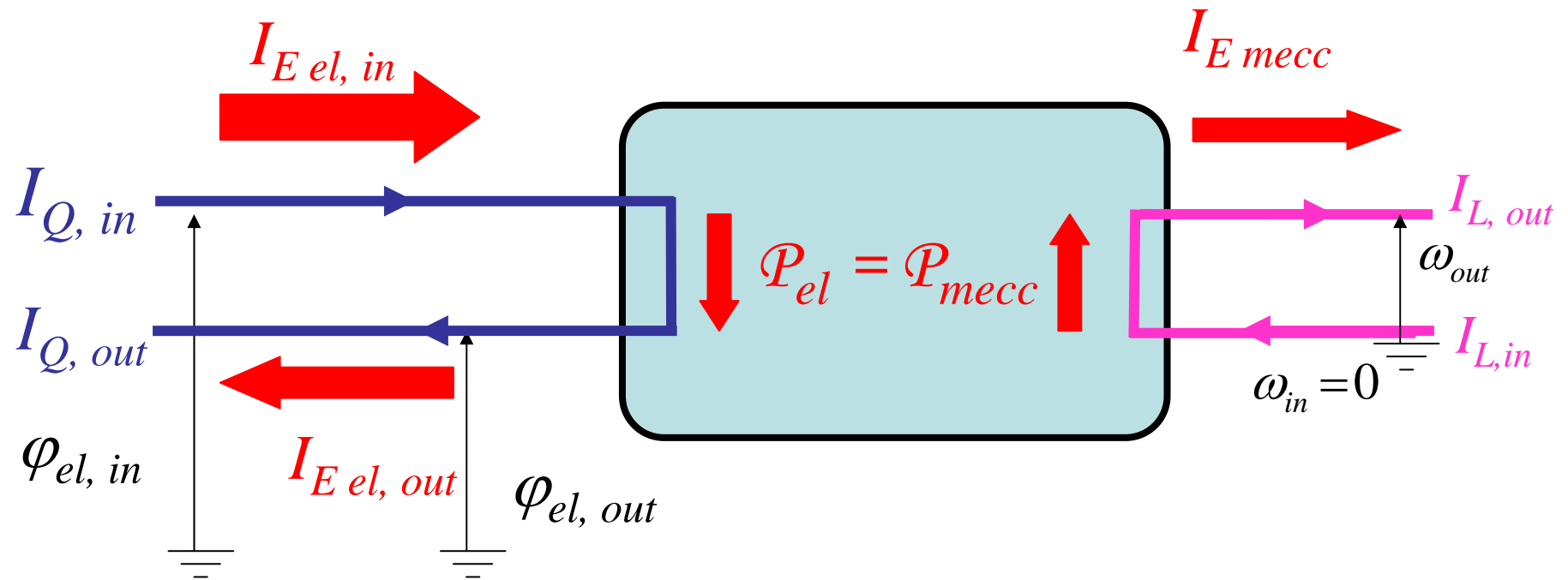


Bilancio per l'energia:

$$\mathcal{P} = I_{E, in} - |I_{E, out}|$$

Adesso siamo pronti per rappresentare un “processo”,
ossia una trasformazione in cui l’energia passa da un
portatore ad un altro.

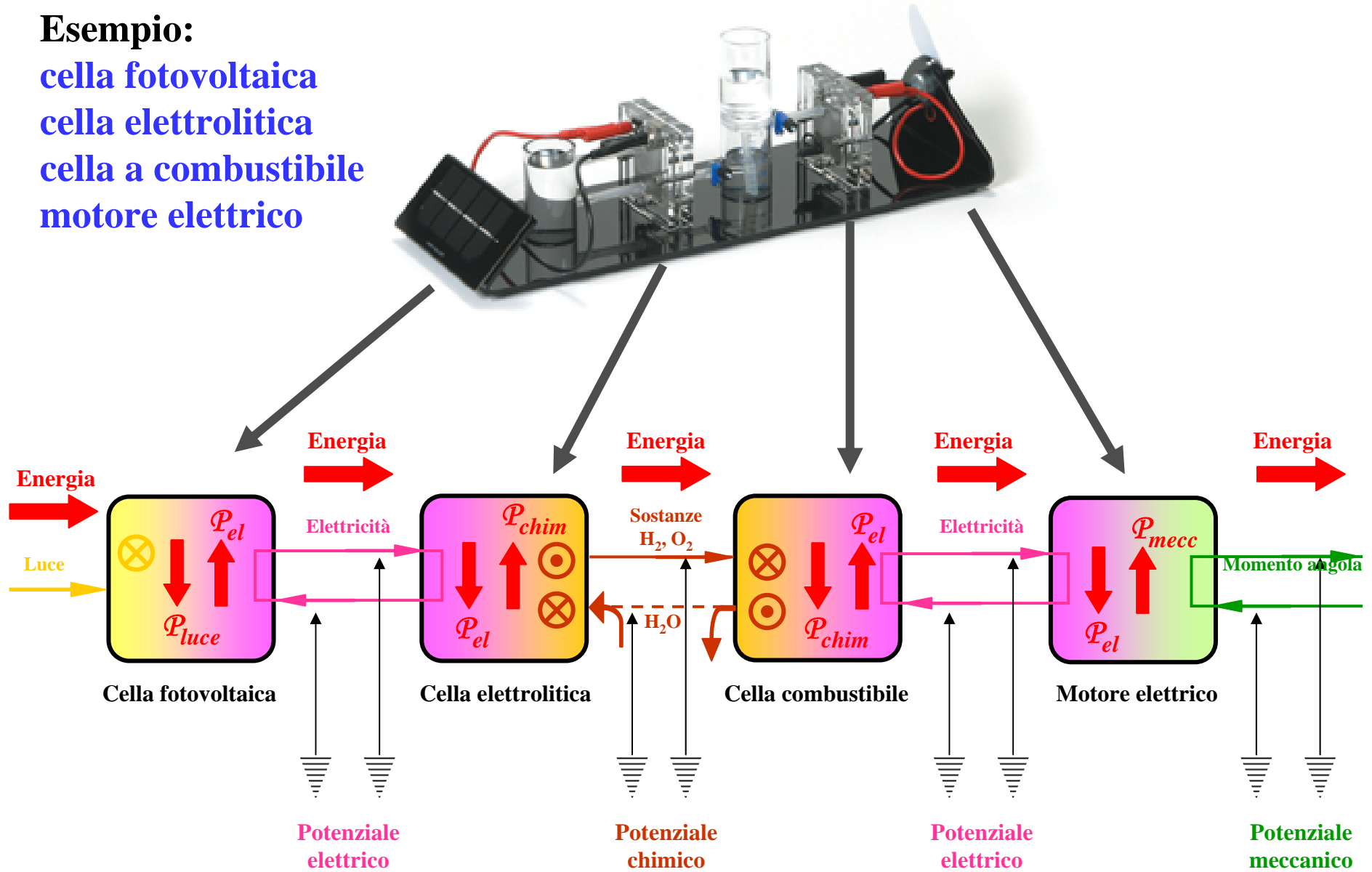
Esempio: motore elettrico (ideale)



Bilancio per l’energia:

$$\left| I_{E mecc} \right| = I_{E el, in} - \left| I_{E el, out} \right|$$

Esempio:
 cella fotovoltaica
 cella elettrolitica
 cella a combustibile
 motore elettrico



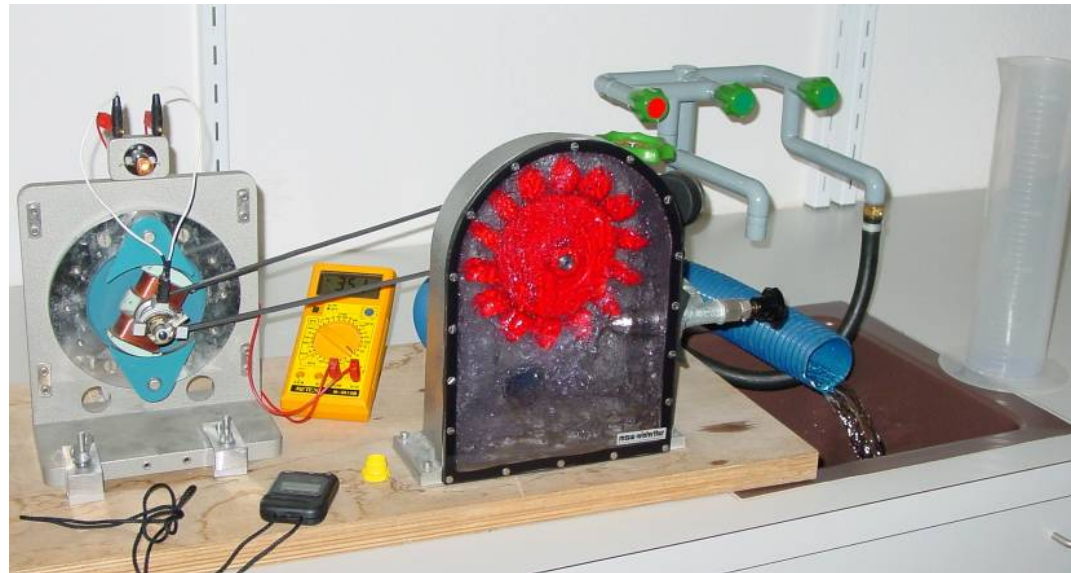
(Ipotesi: rendimento del 100 %, ossia processi reversibili senza produzione di entropia) 36

4 – La potenza

Come costruire l'espressione per la potenza?

Attraverso lo studio sperimentale di situazioni in cui un medesimo effetto viene realizzato in modi diversi.

1) Turbina idraulica: l'apparecchiatura



Effetto scelto: stessa luminosità della lampadina (in pratica: stessa tensione ai capi della lampadina)


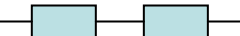
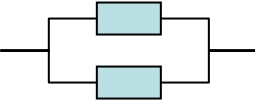
Turbina idraulica: risultati sperimentali

differenza di pressione (bar)	tempo di raccolta (s)	quantità di acqua (litri)	intensità corrente (litri/s)	I . ΔP (potenza) (u.a)
0.66	9.6	2.40	0.25	0.17
0.72	7.4	1.60	0.22	0.16
0.82	7.8	1.40	0.18	0.15
0.92	8.0	1.43	0.18	0.17
1.20	10.9	1.73	0.16	0.19
1.22	14.4	2.15	0.15	0.18

2) Riscaldatore a immersione: l'apparecchiatura

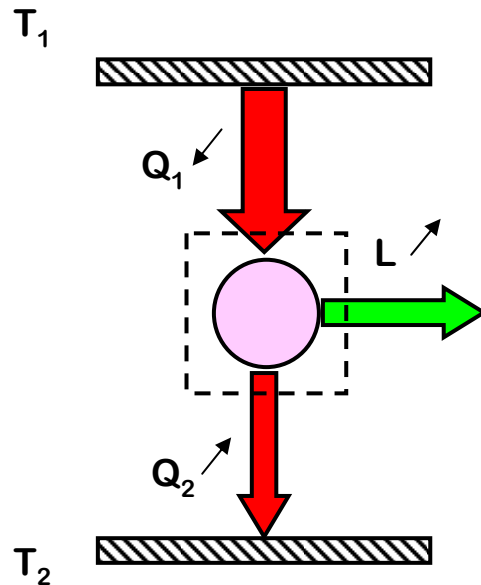


Riscaldatore a immersione: risultati sperimentali

elemento	Intensità corrente I_Q (A)	Differenza potenziale $\Delta\varphi_{AB}$ (V)	$I_Q \cdot \Delta\varphi_{AB}$ (A.V)	Aumento temperatura/min $\Delta T/\Delta t$ (°C/min)
	2,60	2,70	7,02	0,46
	1,83	3,81	6,97	0,46
	3,62	1,94	7,02	0,47

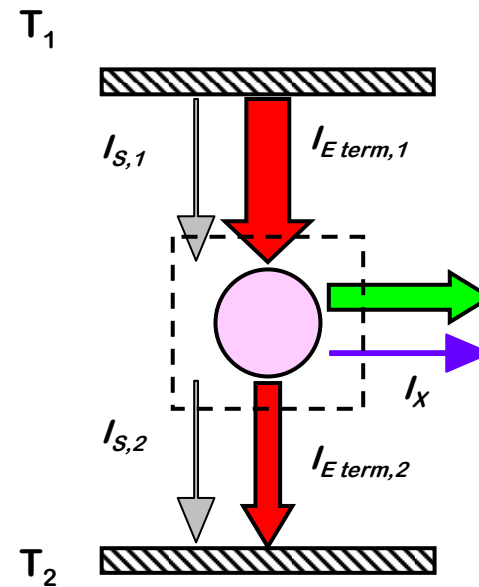
5 – Discussione di alcuni esempi

Rendimento di un motore termico



I° principio $Q_1^{\leftarrow} = Q_2^{\rightarrow} + L^{\rightarrow}$

II° principio $Q_2^{\rightarrow} > 0$

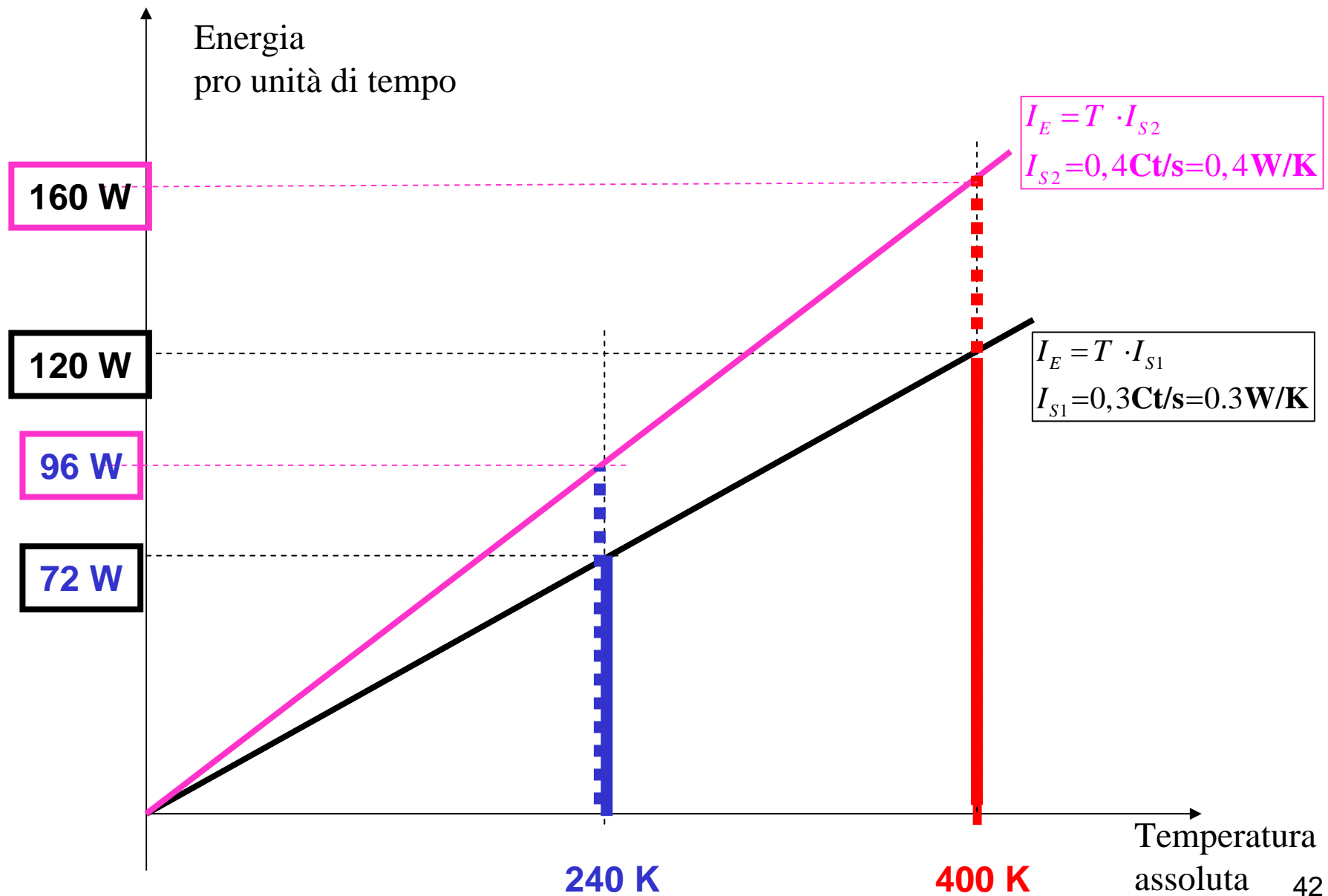


I° principio $I_{E\ term,1} = I_{E\ term,2} + I_{E\ mecc}$

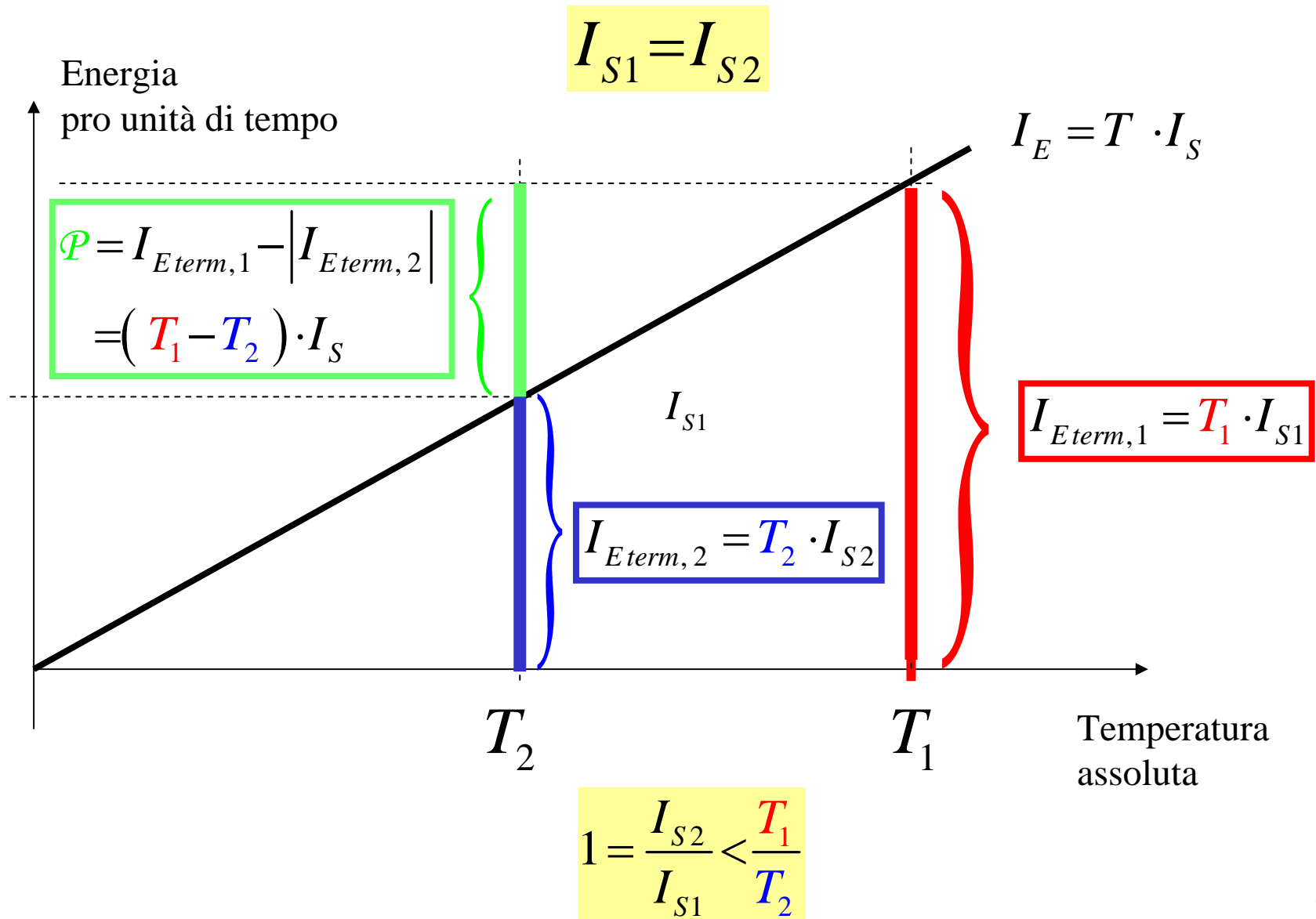
II° principio $I_{S,2} \geq I_{S,1}$

Rappresentazione schematica del funzionamento di una macchina termica: a sinistra sono rappresentati gli scambi energetici con l'esterno (bilancio in forma integrata), a destra sono indicati anche i flussi dei rispettivi portatori (bilancio in forma istantanea).

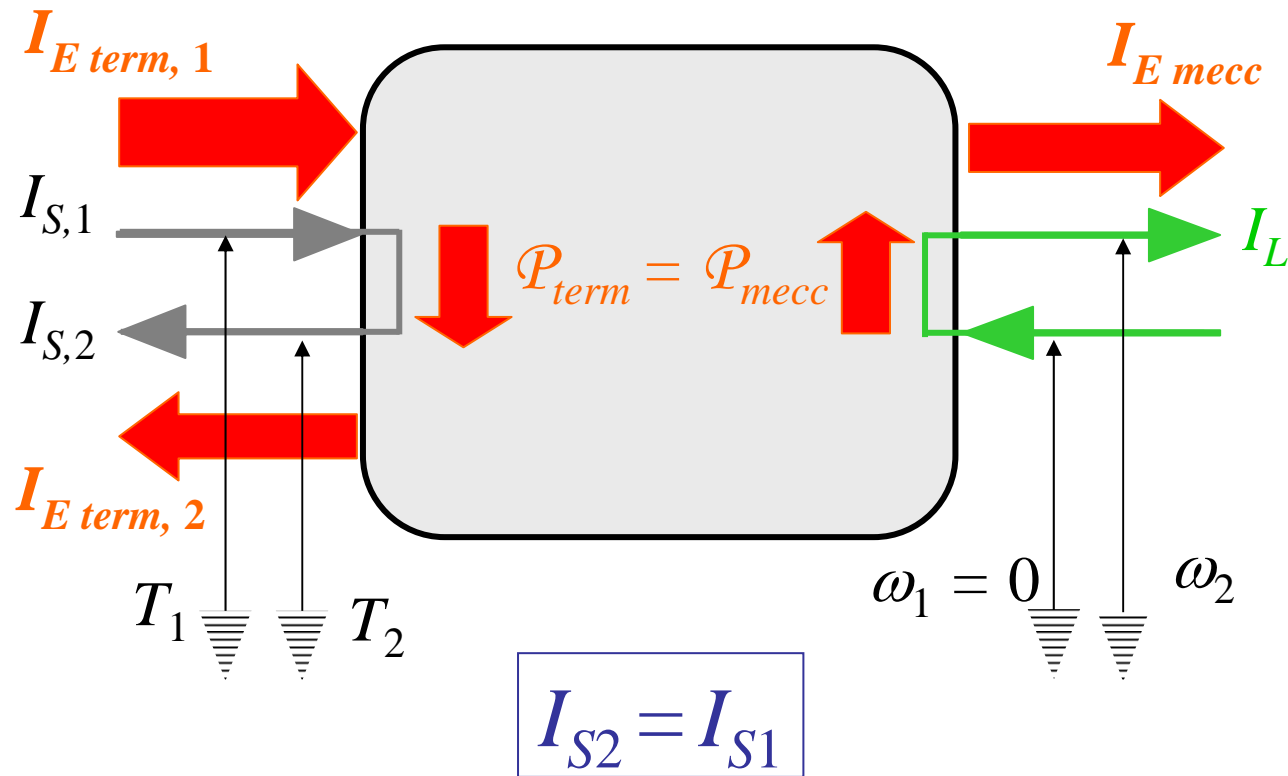
Flusso di energia *associato* a un dato flusso di entropia



Caso particolare: macchina reversibile

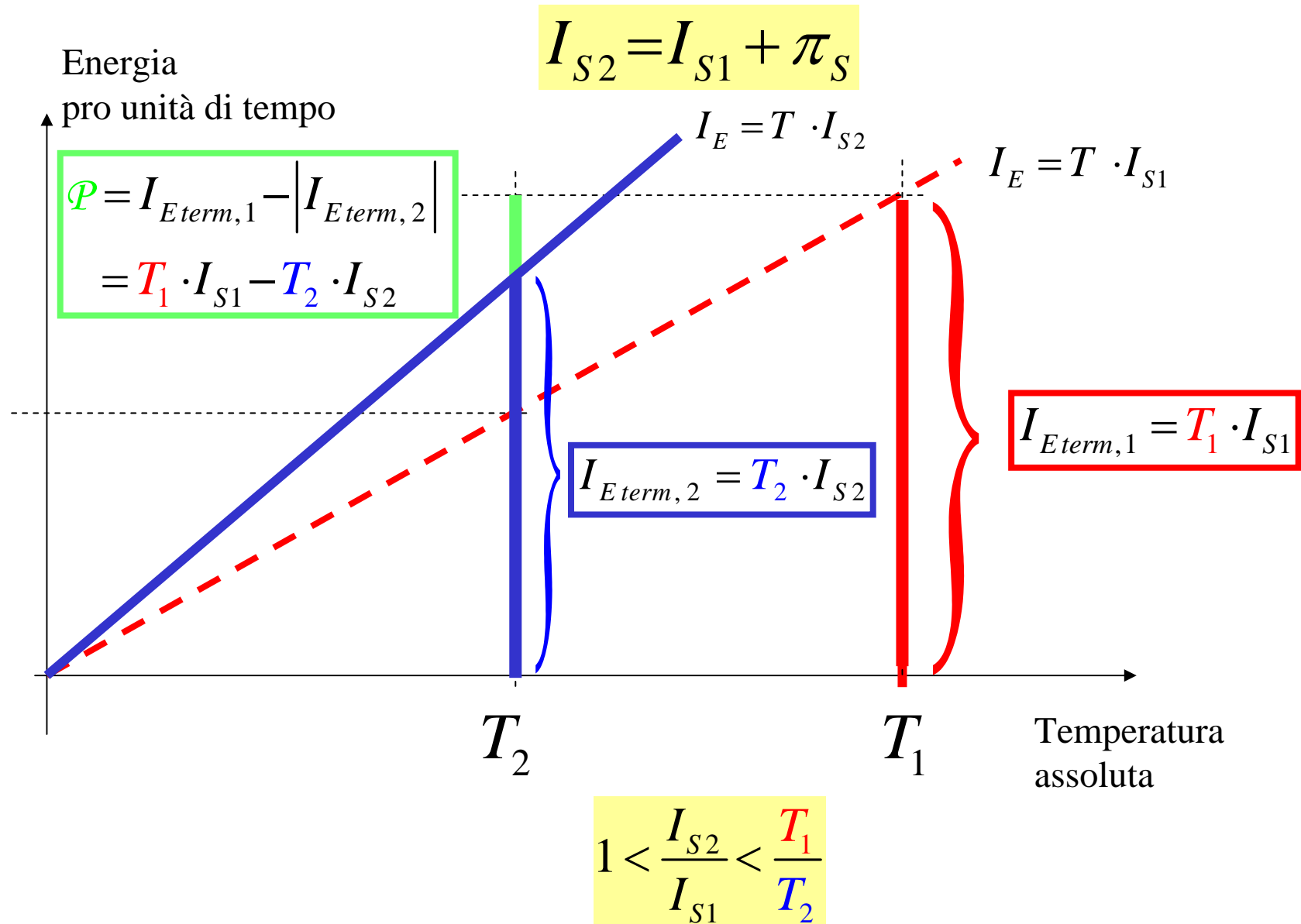


Rendimento di una macchina termica *reversibile*

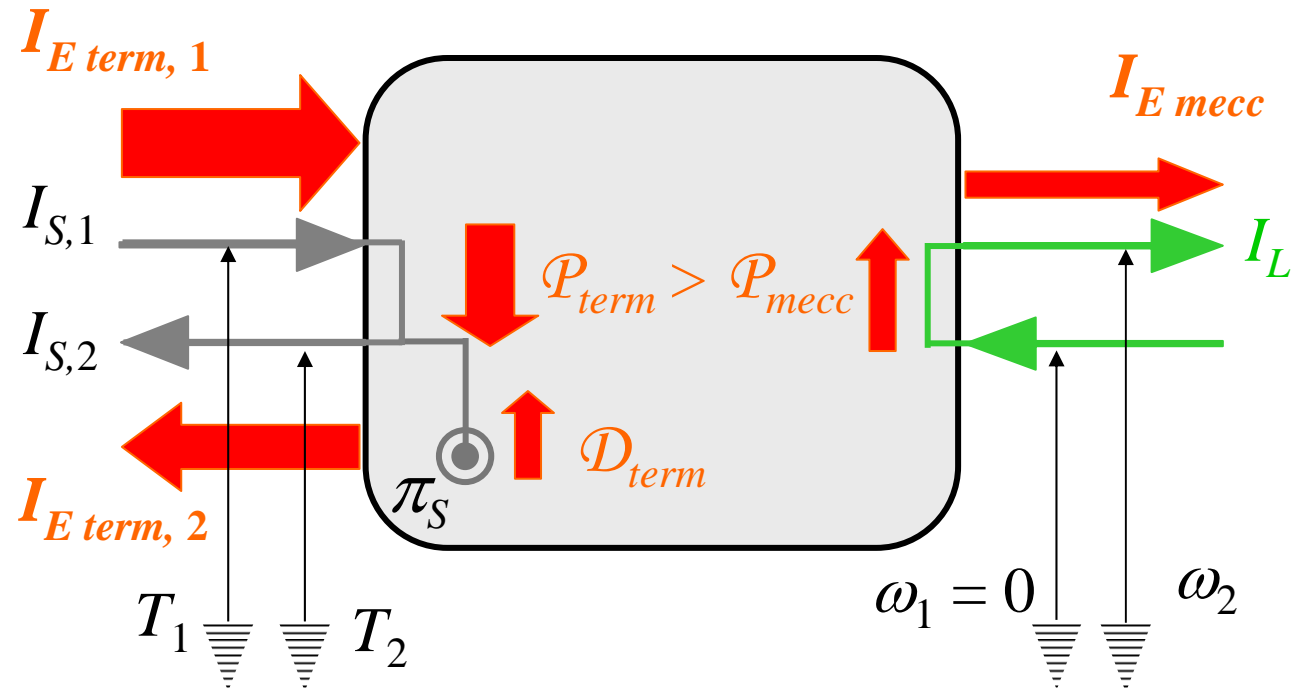


$$\eta_{rev} = \frac{I_{E,mecc}}{I_{Eterm,1}} = \frac{I_{Eterm,1} - I_{Eterm,2}}{I_{Eterm,1}} = \frac{T_1 \cdot I_{S1} - T_2 \cdot I_{S2}}{T_1 \cdot I_{S1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Caso generale: processo irreversibile



Rendimento di una macchina termica *NON* reversibile



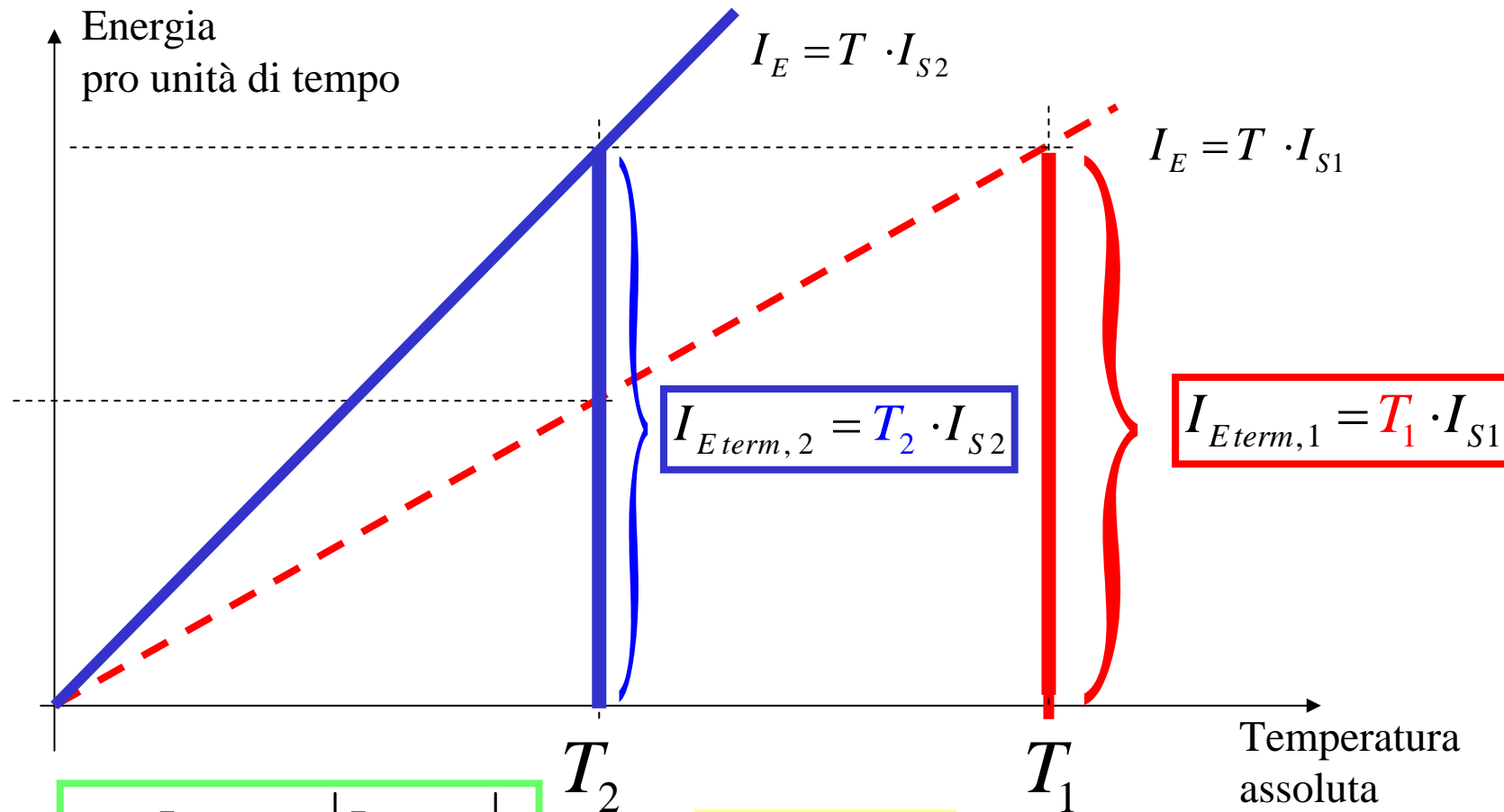
$$I_{S2} = I_{S1} + \pi_s$$

$$\eta = \frac{I_{E,mecc}}{I_{Eterm,1}} = \frac{I_{Eterm,1} - I_{Eterm,2}}{I_{Eterm,1}} = \frac{T_1 \cdot I_{S1} - T_2 \cdot I_{S2}}{\underbrace{T_1 \cdot I_{S1}}_{\uparrow}} < \eta_{rev}$$

Caso limite: SOLO dissipazione (conduzione termica)

$$I_{S2} = I_{S1} + \pi_{S(\max)}$$

$$I_{Eterm,2} = T_2 \cdot I_{S2} = T_1 \cdot I_{S1} = I_{Eterm,1}$$

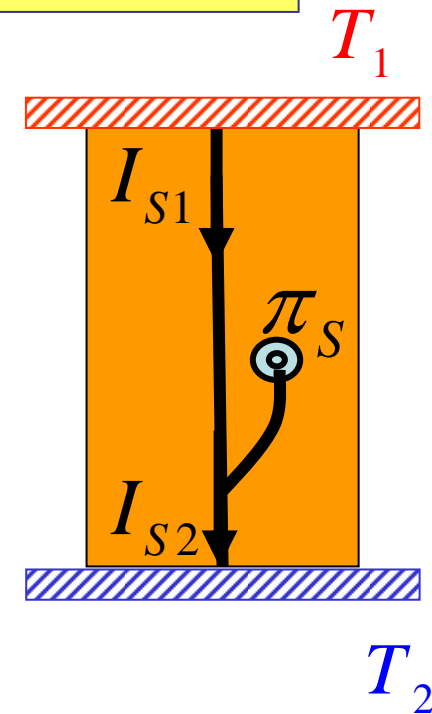
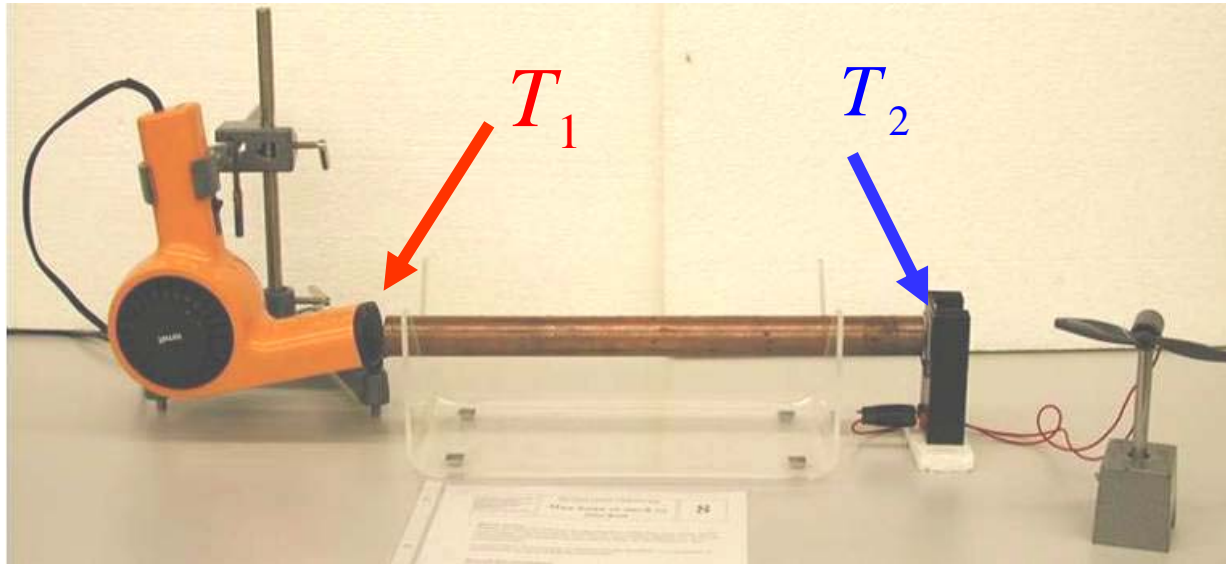


$$\mathcal{P} = I_{Eterm,1} - |I_{Eterm,2}|$$

$$= T_1 \cdot I_{S1} - T_2 \cdot I_{S2} = 0$$

$$1 < \frac{I_{S2}}{I_{S1}} = \frac{T_1}{T_2}$$

Conduzione termica e irreversibilità



In questo caso *tutta* l'energia che viene “liberata” dall'entropia nel passaggio da T_1 a T_2 viene dissipata: in uscita dal sistema è associata all'entropia prodotta nel processo di conduzione.

$$I_{S2} = I_{S1} + \pi_S$$

$$I_{Eterm,2} = T_2 \cdot I_{S2} = T_2 \cdot (I_{S1} + \pi_S) = T_1 \cdot I_{S1} = I_{Eterm,1}$$

$$\pi_S = I_{Eterm} \left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1} \right)$$

FINE,
vi ringraziamo per l'attenzione!

danna@liceolocarno.ch

ziamele@tin.it