

L'energia nella descrizione dei fenomeni naturali (I)

Federico Corni

Dipartimento di Fisica
Facoltà di Scienze della Formazione
Università di Modena e Reggio Emilia

Cultura e Vita - CORSO di SCIENZE
"ENERGIA / ENERGIE: DALLE SCOPERTE ALLE INVENZIONI"
30 Ottobre 2008 – Biblioteca Scientifica Interdipartimentale

*... io credo piuttosto la natura aver fatto
da prima le cose a modo suo e poi
fabbricato i discorsi degli uomini abissi a
poter capire, però con fatica grande,
alcuna parte dei suoi segreti ...*

Galileo Galilei

Grandezze che in natura si conservano:

Energia

Quantità di moto

Momento angolare

Carica

Numero di barioni

Numero di leptoni

Diapositiva 3

FC6

Federico Corni 24/10/2008

Introduzione: la conoscenza fisica è data dalla costruzione di modelli interpretativi e/o teorie. Attenzione: il modello non è la realtà, ma una struttura mentale di variabili e relazioni per capire un fenomeno. I modelli sono sempre parziali e migliorabili per tenere conto di ulteriori fattori della complessità della realtà. Non vuol dire che la realtà sia inoconoscibile, ma che è così grande che man mano che raggiungiamo un orzonte se ne apre uno più ampio.

Quando qualcosa cambia attira la nostra attenzione, ma abbiamo bisogno di leggi di conservazione per poter ragionare, se non tutto sarebbe arbitrario. La scienza si basa sulle conservazioni (stati) e si interessa di studiare i processi (transizioni da uno stato a un altro).

Il contenuto di un sistema di queste grandezze ne definisce lo stato. Quando cambia è sempre perché avviene uno scambio di queste grandezze con un altro sistema e si dice che i due sistemi hanno una interazione.

La quantità di moto la sentiamo? cos'è? È un modello mentale con cui rappresentiamo l'esperienza del moto. Non basta la velocità, ma ci vuole la massa perché si conservi e si trasferisca inalterato da un sistema a un altro.

Stessa cosa per il momento angolare ecc...

Federico Corni; 29/10/2008

FC7

Federico Corni 28/10/2008

Queste 3 conservazioni guardando a caso sono quelle che garantiscono il metodo scientifico di Galileo: riproducibilità nel tempo e nello spazio degli esperimenti

Federico Corni; 29/10/2008

FC8

Federico Corni 28/10/2008

Ma se quantità di moto, momento angolare ecc si conservano rimanendo sempre nel loro ambito (meccanica) (stessa cosa succede per le altre grandezze che si conservano), l'energia invece si conserva e nella maggior parte dei casi cambia ambito. Esempi.

Esempio della banconota da 5 euro: l'energia come valore convenzionale che attribuiamo a questo ente che può essere travasato da un ambito all'altro (ex: benzina-chimica in moto-meccanica) Non è quello che si vede, ma si calcola in un certo modo

Federico Corni; 29/10/2008

Che cos'è l'Energia

Se risponderemo
utilizzando il senso
comune diremmo che per
svolgere qualsiasi
“attività” ci serve energia

Che cos'è l'Energia

Questa energia la
possiamo prendere da
diversi “serbatoi”:
combustibili, cibo, acqua,
vento, sole

Che cos'è l'Energia

Ma non dobbiamo confondere il “portatore” di energia con l'energia, come non confondiamo il “portatore” di valore economico (il bene) con il valore economico stesso (il prezzo)

Che cos'è l'Energia

L'energia è una grandezza fisica che è stata inventata per eseguire la “contabilità” nei fenomeni naturali.

Meccanica

Chimica

Termologia

Elettricità

Idraulica

Biologia

Geologia

.....

Grandezze estensive

Che obbediscono a un'equazione di bilancio:

$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

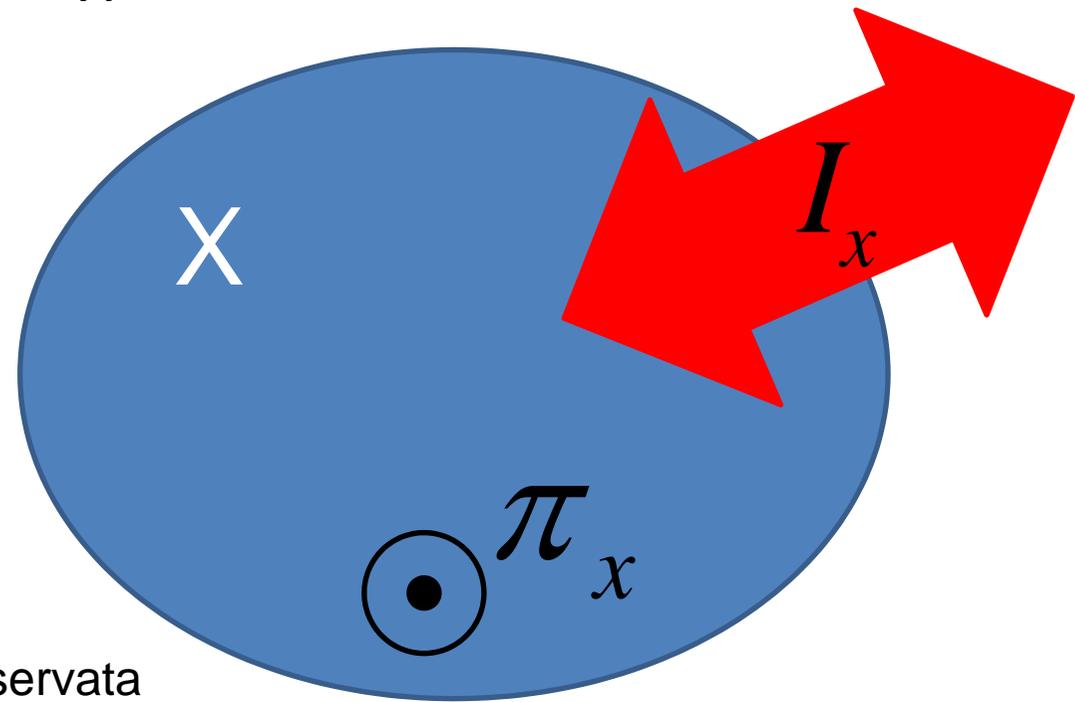
Additività di X, I_x, π_x

ANALOGIA: SOSTANZA

I_x Intensità di corrente
attraverso la superficie

π_x Tasso di
creazione/distruzione

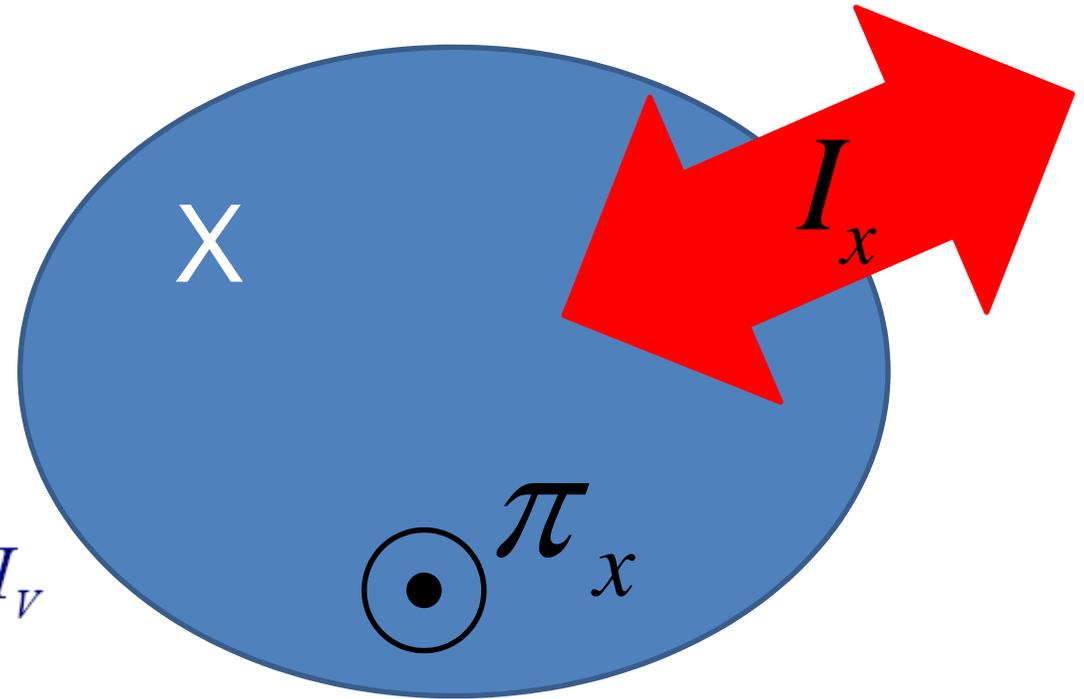
$\pi_x = 0 \Rightarrow$ Grandezza conservata



Equazioni di bilancio:

idraulica

$$dV / dt = I_v$$



$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

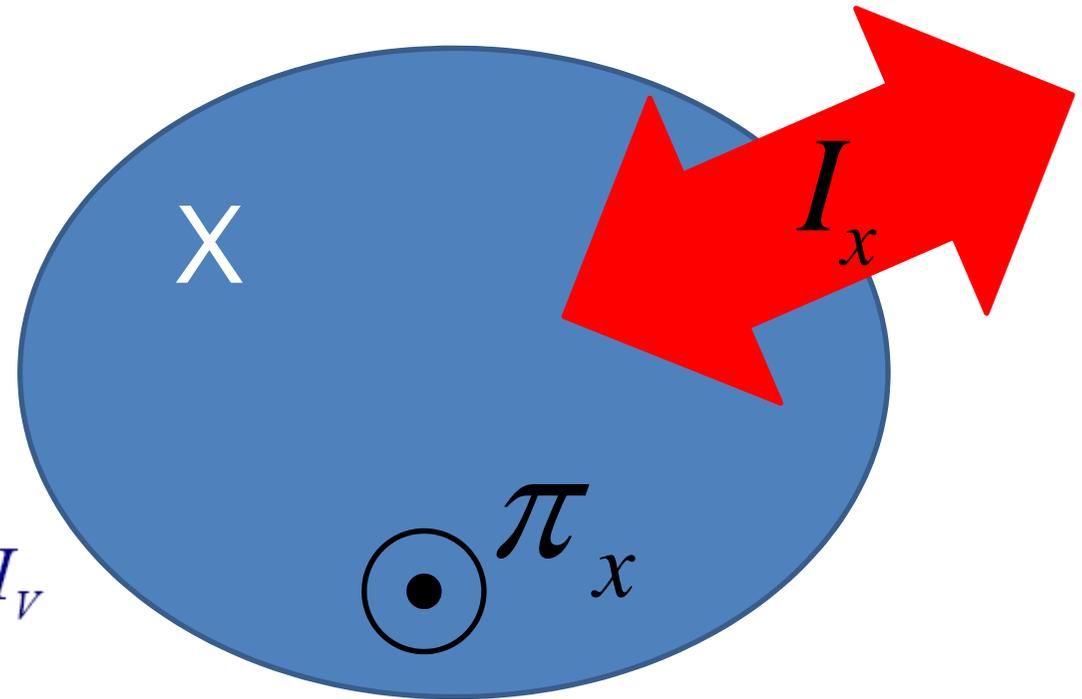
Equazioni di bilancio:

idraulica

$$dV / dt = I_V$$

elettricità

$$dQ/dt = I_Q$$



$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

Equazioni di bilancio:

idraulica

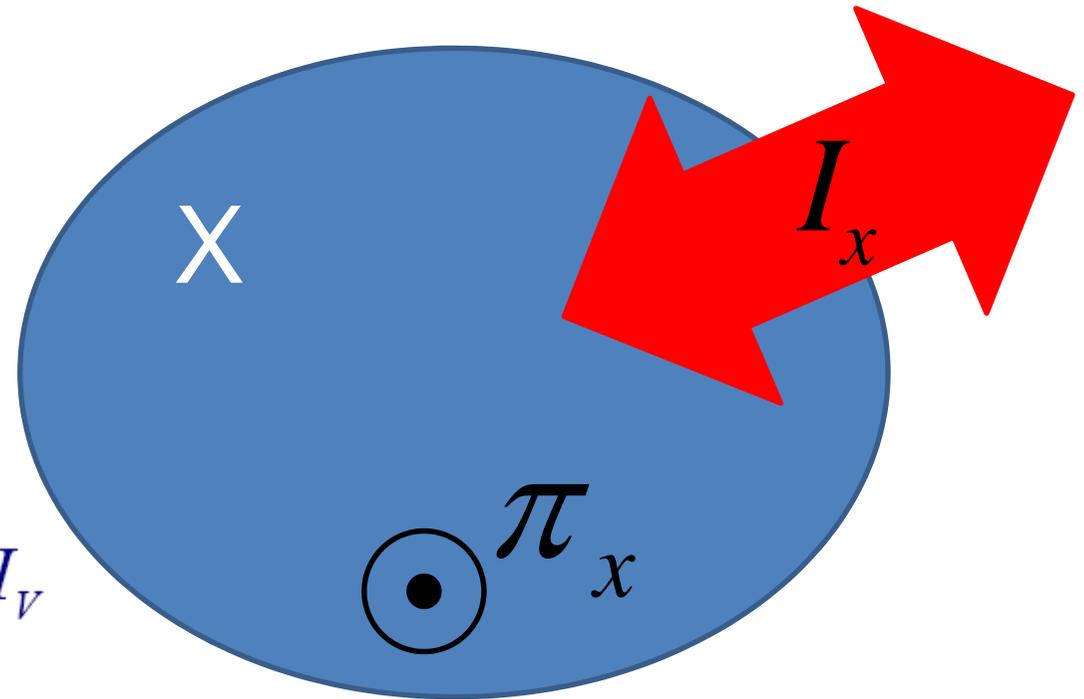
$$dV / dt = I_V$$

elettricità

$$dQ/dt = I_Q$$

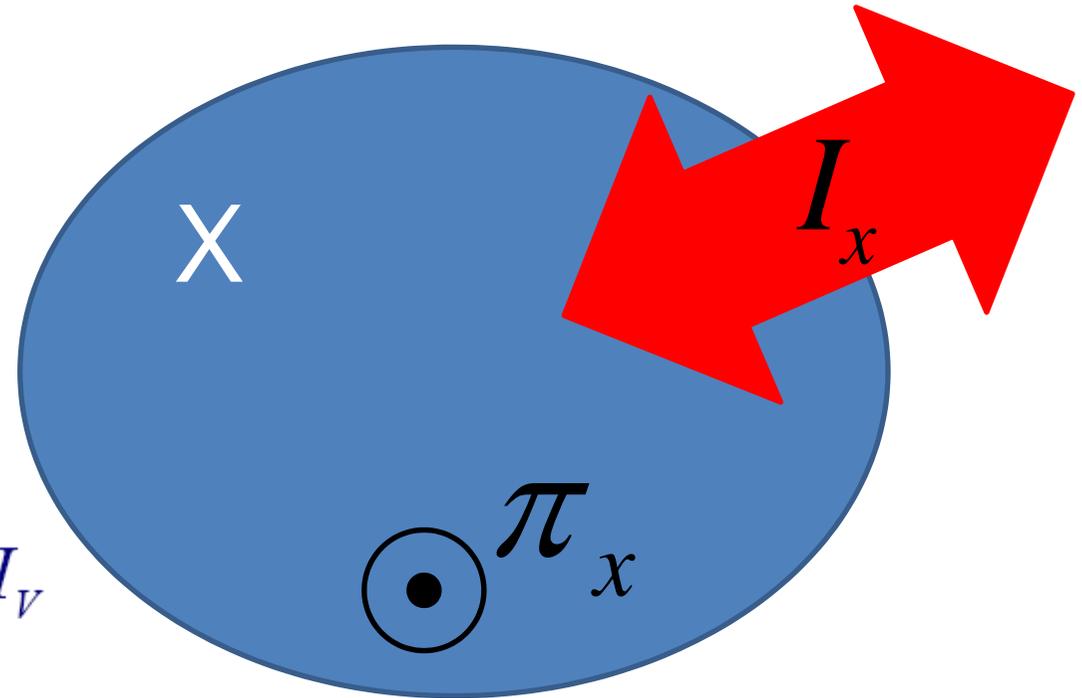
meccanica

$$dp/dt = F$$



$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

Equazioni di bilancio:



idraulica $dV / dt = I_V$

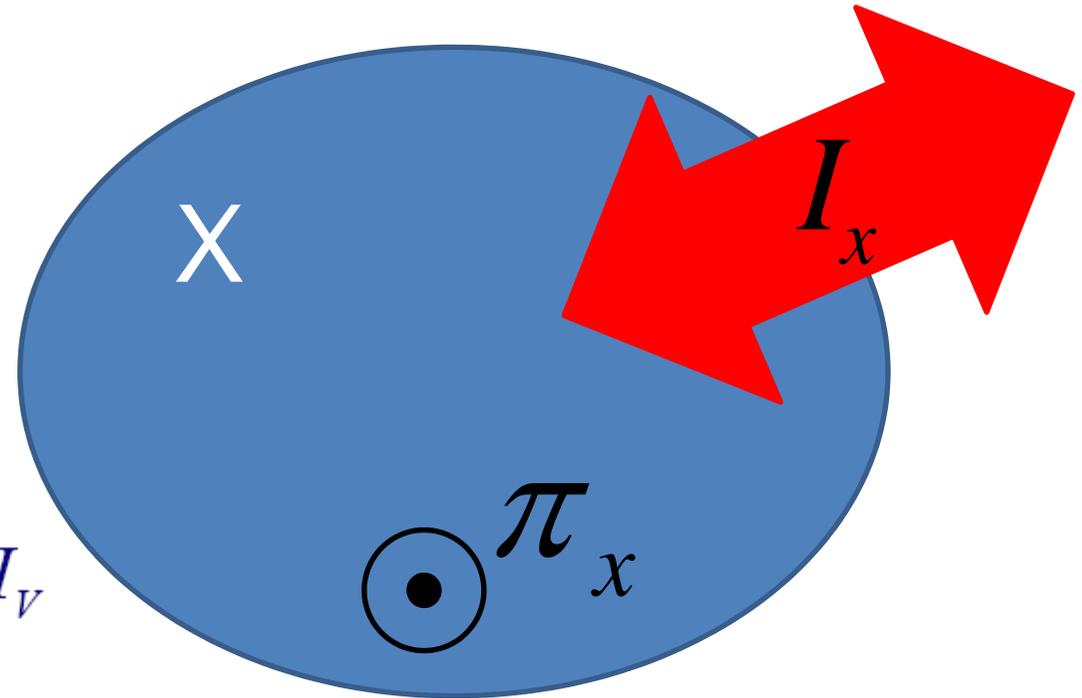
elettricit  $dQ/dt = I_Q$

meccanica $dp/dt = F$

termologia $dS/dt = I_S + \pi_S$

$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

Equazioni di bilancio:



idraulica

$$dV / dt = I_V$$

elettricit 

$$dQ/dt = I_Q$$

meccanica

$$dp/dt = F$$

termologia

$$dS/dt = I_S + \pi_S$$

chimica

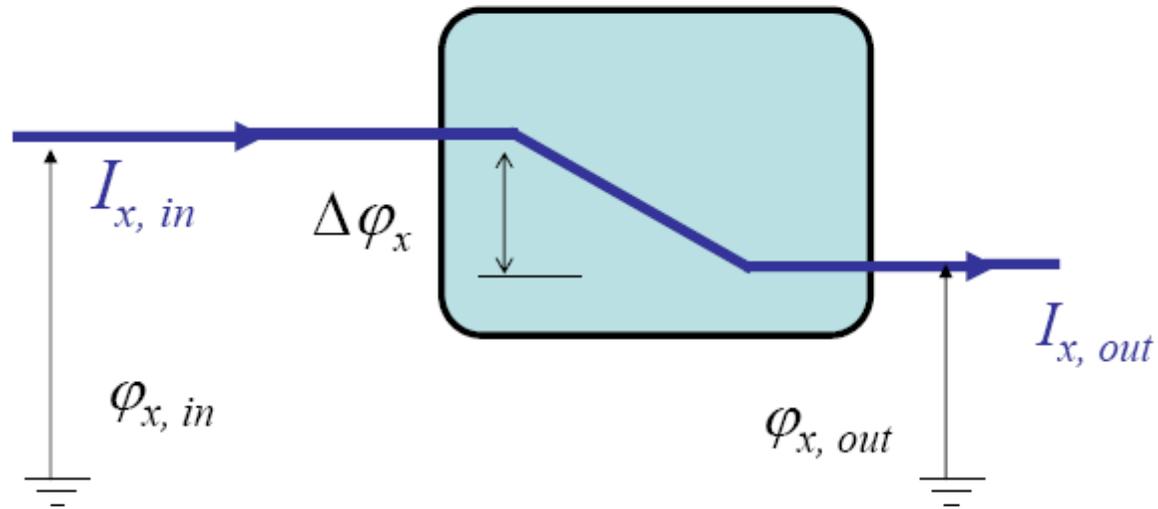
$$dn/dt = I_n + \pi_n$$

$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

Grandezze intensive

Potenziali generalizzati che possiamo associare a ciascuna delle grandezze estensive e che ne controllano il flusso.

Una grandezza estensiva fluisce spontaneamente da regioni o punti in cui il potenziale ha un certo valore a regioni o punti in cui il potenziale è più basso.



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

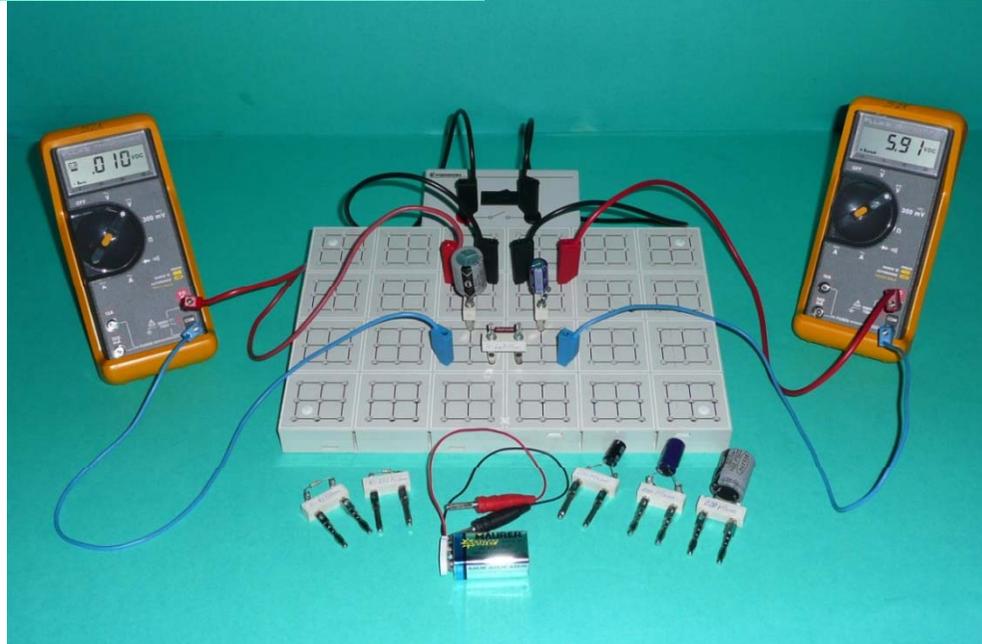
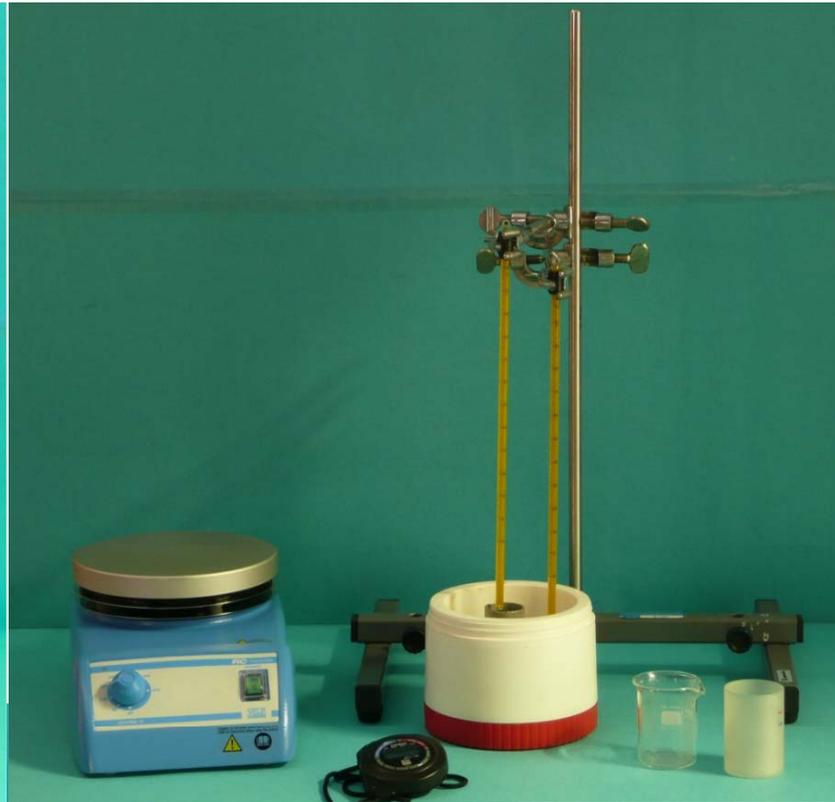
Campo di studio	Grandezza estensiva	Conservata / non conservata	Corrente associata	Grandezza intensiva	“Spinta” al trasferimento
Idraulica	Volume d’acqua V	conservata	Corrente d’acqua I_V	Pressione P	ΔP
Elettricità	Carica elettrica Q	conservata	Corrente elettrica I_Q	Potenziale elettrico φ	$\Delta\varphi$

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

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	$\Delta\omega_x$

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

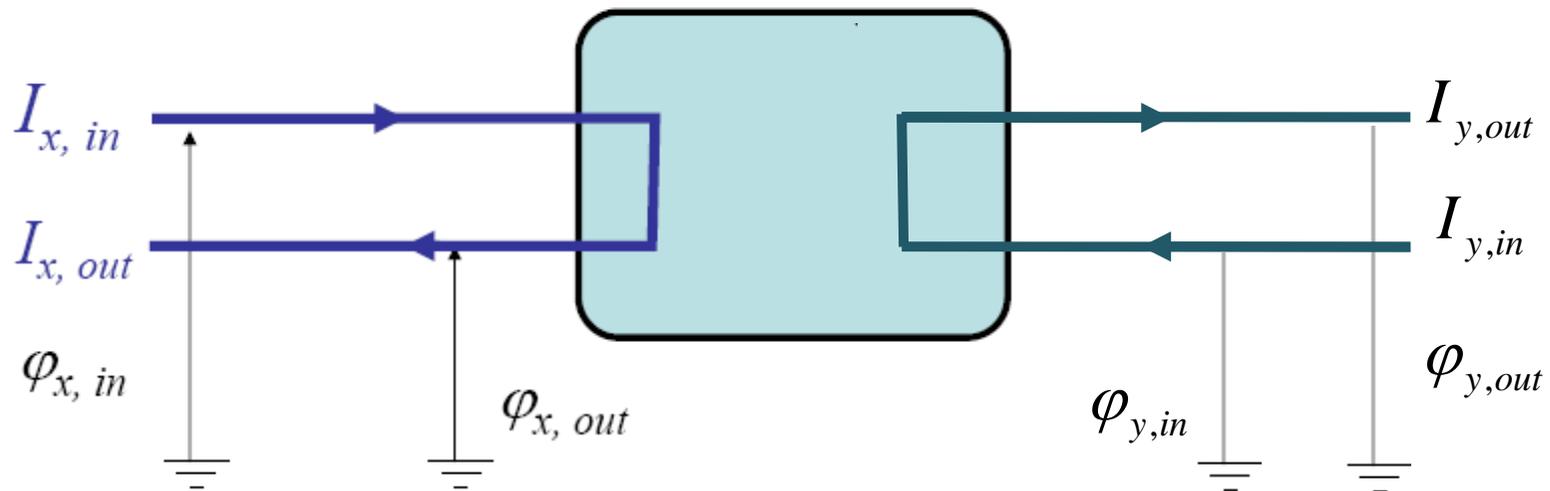
Campo di studio	Grandezza estensiva	Conservata / non conservata	Corrente associata	Grandezza intensiva	“Spinta” al trasferimento
Idraulica	Volume d’acqua V	conservata	Corrente d’acqua I_V	Pressione P	ΔP
Elettricit�	Carica elettrica Q	conservata	Corrente elettrica I_Q	Potenziale elettrico φ	$\Delta\varphi$
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	$\Delta\mu$



Grandezza estensiva
Grandezza intensiva
Flusso

Capacità
Resistenza

Quando una grandezza estensiva subisce una caduta di potenziale vi è sempre la possibilità che una seconda grandezza estensiva venga elevata a un valore più alto del rispettivo potenziale.



Esempi: pompe per l'acqua, pompa di calore, dinamo, cella elettrochimica ...

DA CHE COSA SONO REGOLATI QUESTI ACCOPPIAMENTI?

La “contabilità” degli accoppiamenti è svolta dalla grandezza che noi chiamiamo **energia**.

Essa ha 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.

Può succedere che in un dato processo l’accoppiamento non possa essere realizzato in maniera “ideale” o risulti addirittura impossibile: allora, invariabilmente, vi è produzione di entropia e il processo in questione si rivela essere irreversibile. Tali processi vengono chiamati processi dissipativi.

Per capire il concetto di energia partiamo dalle sue proprietà:

- può essere immagazzinata;
- può essere trasferita da un sistema ad un altro;
- nei trasferimenti è sempre associata a un'altra grandezza estensiva (portatore);
- può essere trasferita da un portatore ad un altro;
- è soggetta ad una legge di bilancio;
- è una grandezza conservata.

Per capire il concetto di energia partiamo dalle sue proprietà:

- può essere immagazzinata;
- può essere trasferita da un sistema ad un altro;
- nei trasferimenti è sempre associata a un'altra grandezza estensiva (portatore);
- può essere trasferita da un portatore ad un altro;
- è soggetta ad una legge di bilancio;
- è una grandezza conservata.

ENERGIA IMMAGAZZINATA:

energia cinetica
energia elastica
energia interna
energia potenziale ...

Per capire il concetto di energia partiamo dalle sue proprietà:

- può essere immagazzinata;
- può essere trasferita da un sistema ad un altro;
- nei trasferimenti è sempre associata a un'altra grandezza estensiva (portatore);
- può essere trasferita da un portatore ad un altro;
- è soggetta ad una legge di bilancio;
- è una grandezza conservata.

ENERGIA IMMAGAZZINATA:

energia cinetica
energia elastica
energia interna
energia potenziale ...

ENERGIA STRAFERITA:

lavoro
calore
energia elettrica
energia chimica ...

Forme di immagazzinamento dell'ENERGIA

L'energia E di un sistema può sempre essere espressa in funzione di altre variabili x_1, x_2, x_3, \dots

Scegliendo in modo appropriato le variabili, il sistema viene descritto interamente dalla funzione

$$E = E(x_1, x_2, \dots)$$

Questa funzione è detta funzione di Hamilton (nei sistemi meccanici) o potenziale termodinamico (nei sistemi termodinamici).

$$\text{Se } E = E'(x_1) + E''(x_2, x_3) + \dots$$

si dice che il sistema si scompone in sottosistemi non interagenti.

Ogni addendo corrisponde a una forma di immagazzinamento dell'energia. Esempio: un condensatore in movimento, la cui energia totale è data da:

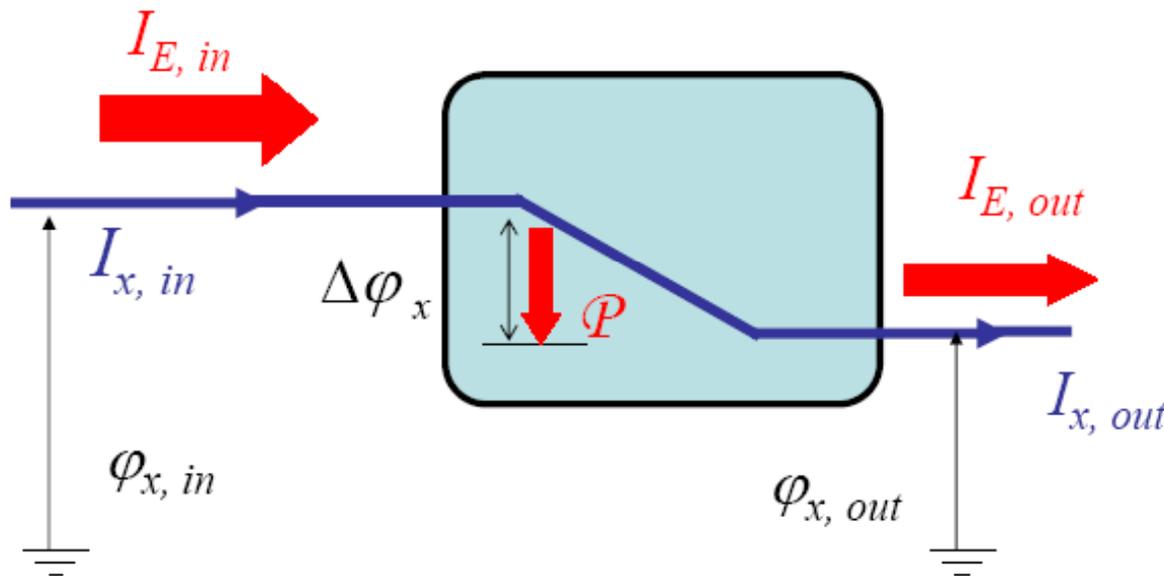
$$E(Q, p) = E_0 + \frac{Q^2}{2C} + \frac{p^2}{2m}$$

Forme di trasferimento dell'ENERGIA

La potenza P , cioè la quantità di energia che per unità di tempo viene richiesta o messa a disposizione in un determinato processo, si trova sperimentalmente che è data da

$$P = I_x \Delta \varphi_x = I_x (\varphi_{in} - \varphi_{out}) = I_{E,in} - I_{E,out}$$

Corrisponde alla quantità di energia che istante per istante, nel processo considerato, cambia di portatore ed è pari alla differenza tra le intensità della corrente di energia in entrata e in uscita.



La grandezza intensiva coniugata dà una misura di quanto il portatore sia carico di energia

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	$I_E = I_V \cdot P$	$\mathcal{P} = I_V \cdot \Delta P$

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	$I_E = I_Q \cdot \varphi$	$\mathcal{P} = I_Q \cdot \Delta \varphi$

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)	$I_E = I_{px} \cdot v_x$	$\mathcal{P} = I_{px} \cdot \Delta v_x$

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})	$I_E = I_{Lx} \cdot \omega_x$	$\mathcal{P} = I_{Lx} \cdot \Delta \omega_x$

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	$I_E = I_S \cdot T$	$\mathcal{P} = I_S \cdot \Delta T$

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	$I_E = I_V \cdot P$	$\mathcal{P} = I_V \cdot \Delta P$
Elettricità	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)	Quantità di moto p_x	Velocità 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)	Quantità di moto angolare L_x	Velocità 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	Quantità chimica n	Potenziale chimico μ	Corrente chimica I_n rispettivamente tasso di trasformazione π_n	$I_E = I_n \cdot \mu$	$\mathcal{P} = I_n \cdot \Delta \mu$ $\mathcal{P} = \pi_{n(R)} \cdot \Delta \mu$

E' comodo parlare di latte in bottiglia e di latte nelle confezioni di plastica. E' completamente inutile tuttavia chiamare il processo di trasferirlo o il semplice berlo "trasformazione del latte" , o definire il contenuto di un bicchiere o dello stomaco come differenti "forme di latte". La situazione è identica quando parliamo dell'energia.

NO FORME DI ENERGIA

NO TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA

NO SORGENTI DI ENERGIA

NO DISSPAZIONE DELL'ENERGIA

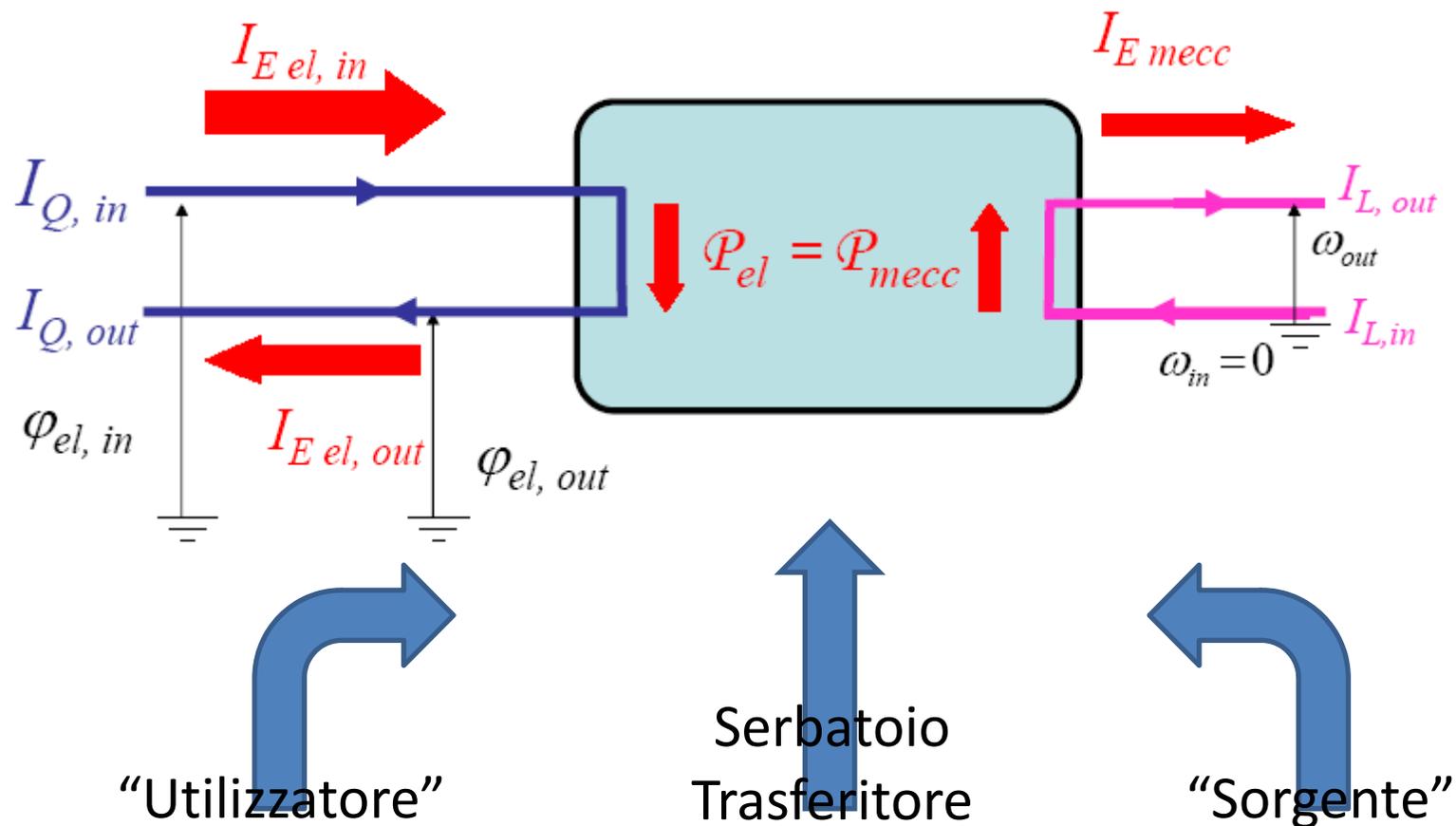
NO DEGRADO DELL'ENERGIA

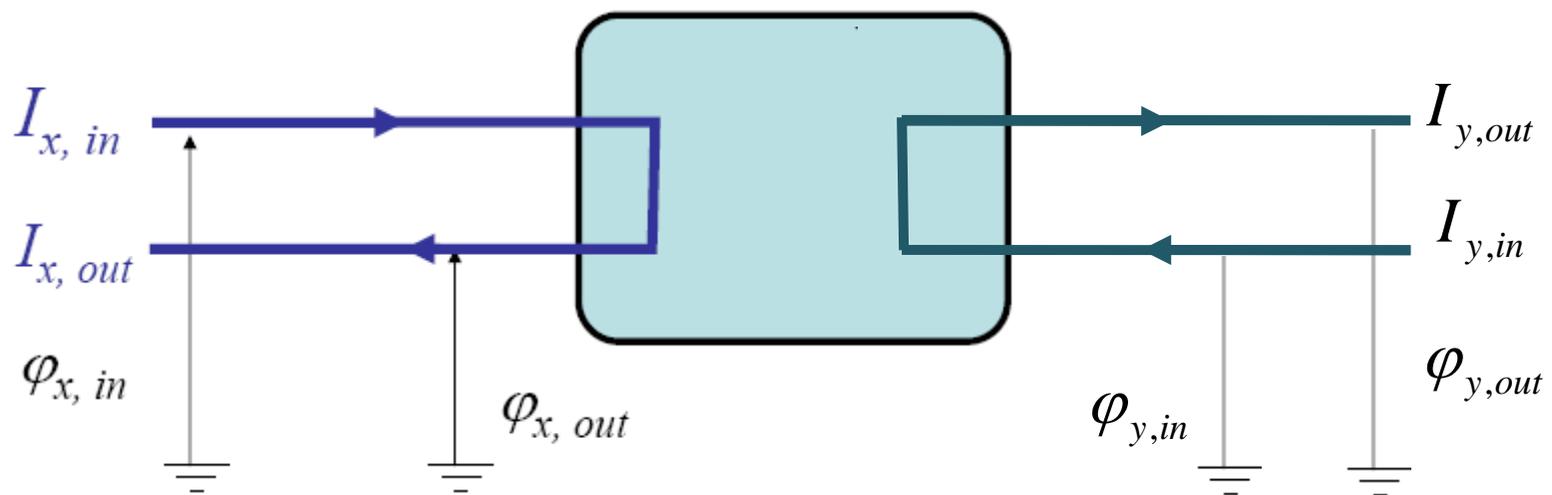
NO ENERGIA PURA

SI FORME DI SCAMBIO O DI IMMAGAZZINAMENTO

Processo, ossia una trasformazione in cui l'energia passa da un portatore a un altro.

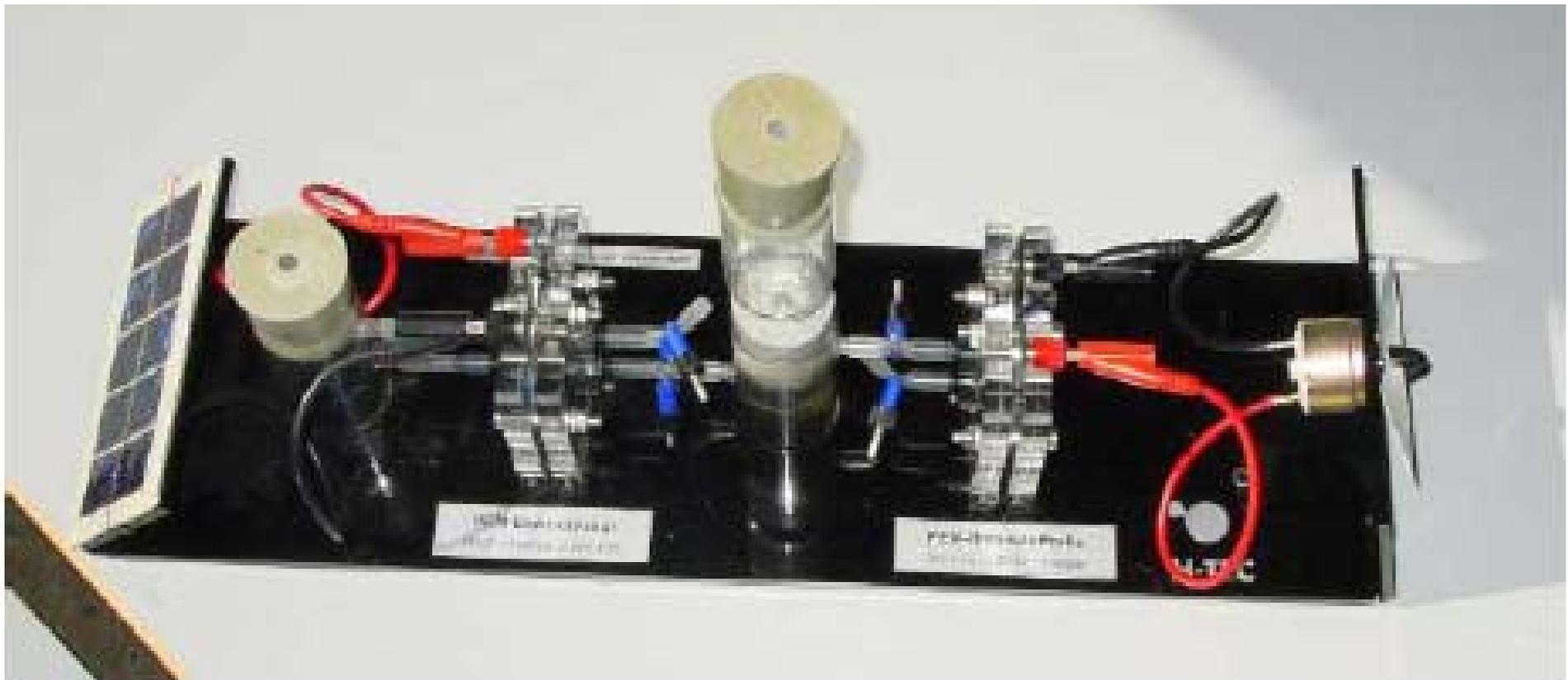
Esempio: motore elettrico ideale

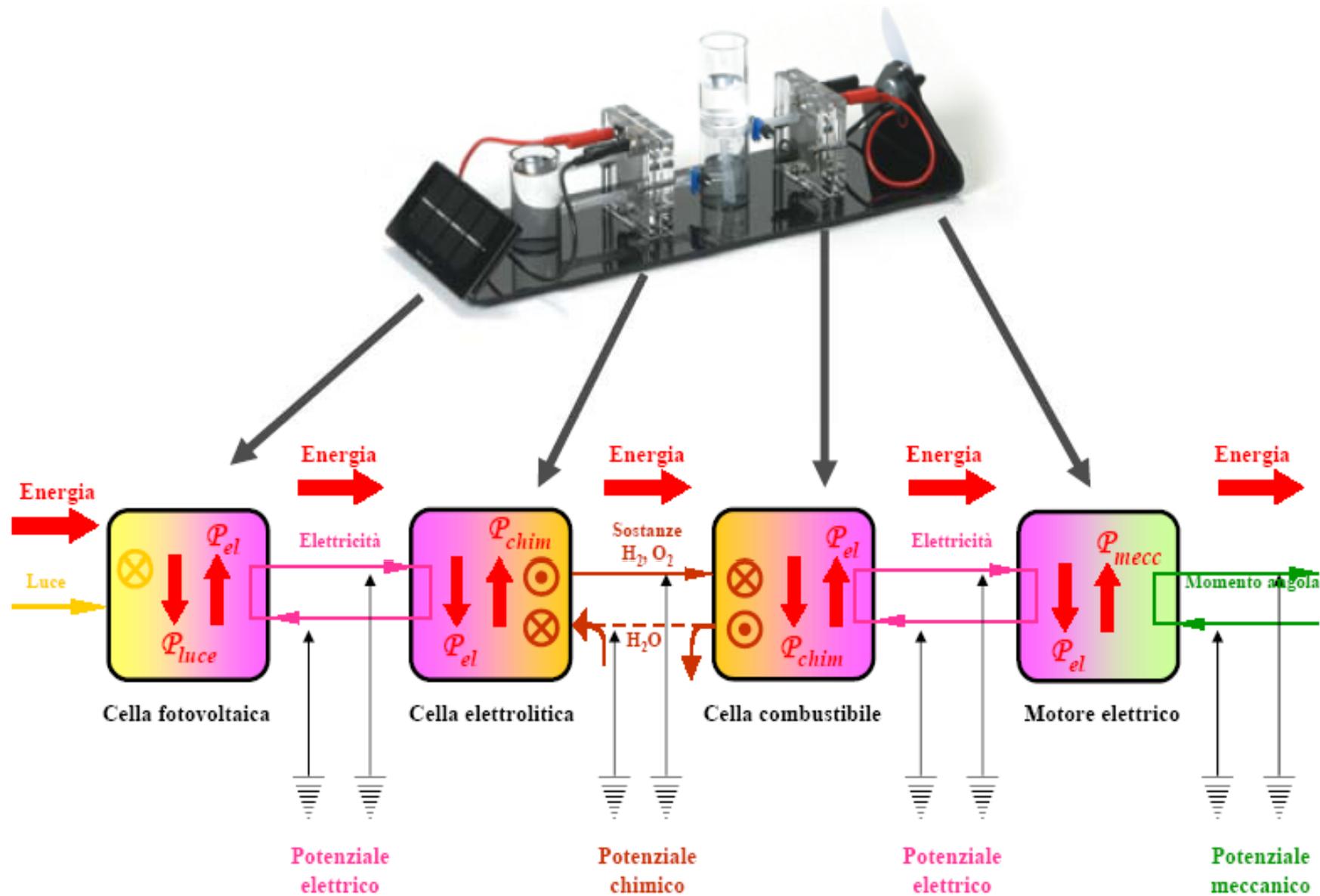




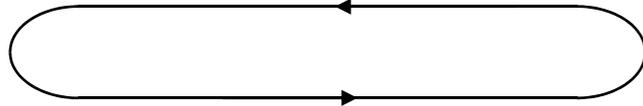
Esempio:

cella fotovoltaica +
cella elettrolitica +
cella a combustibile +
motore elettrico (ideale)

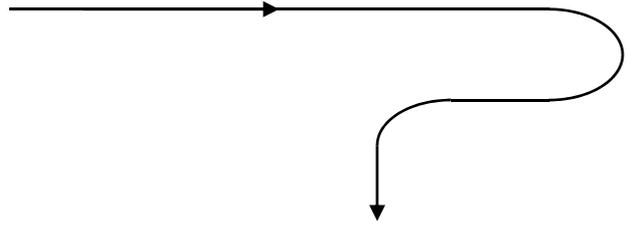




Convenzioni sui simboli



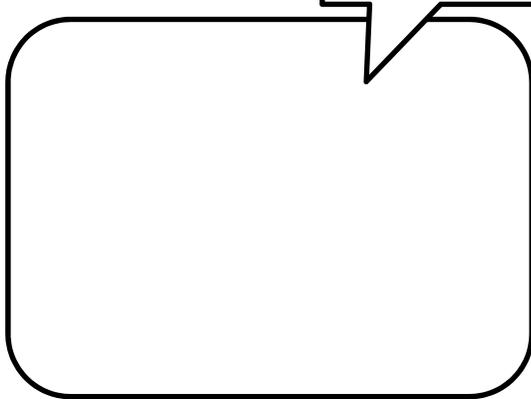
Portatore di energia



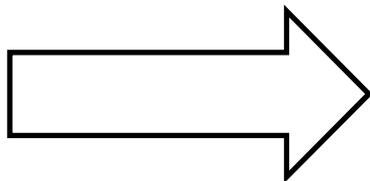
Sorgente, trasferitore, utilizzatore, serbatoio



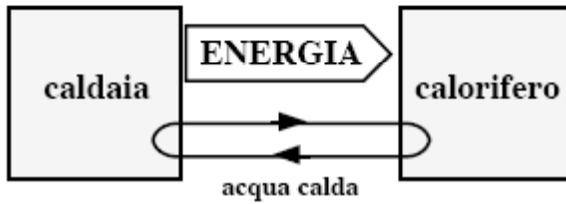
Nome del sistema



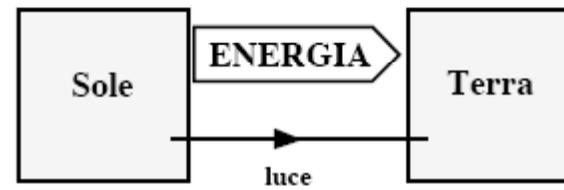
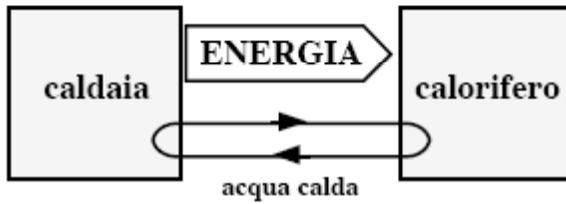
Flusso di energia



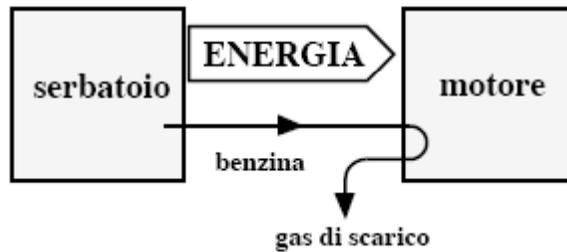
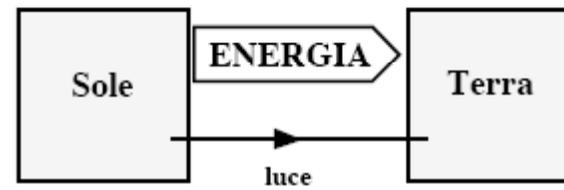
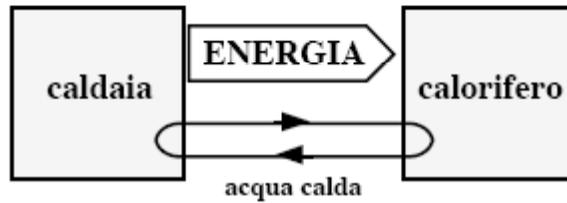
Diagrammi di flusso dell'energia



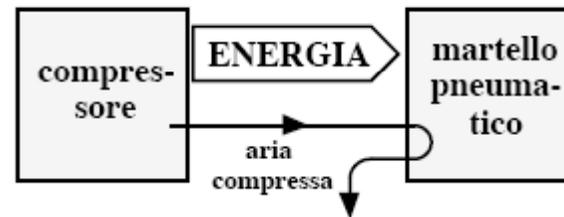
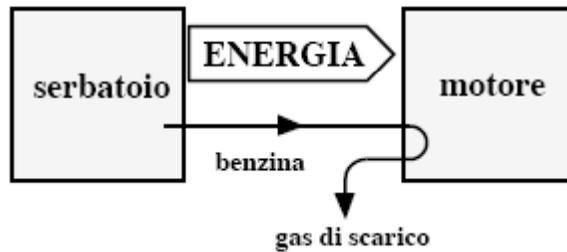
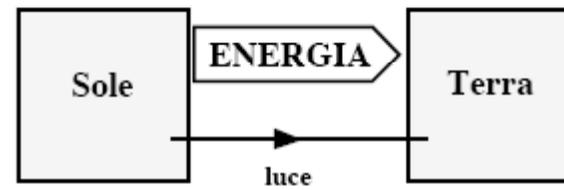
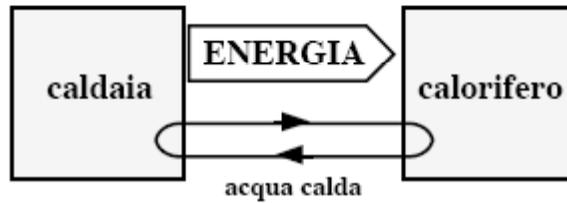
Diagrammi di flusso dell'energia



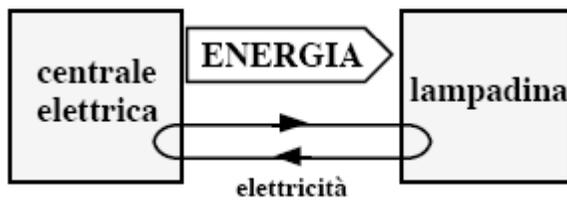
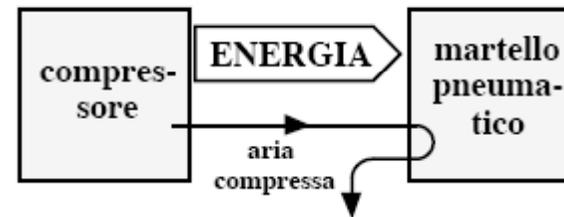
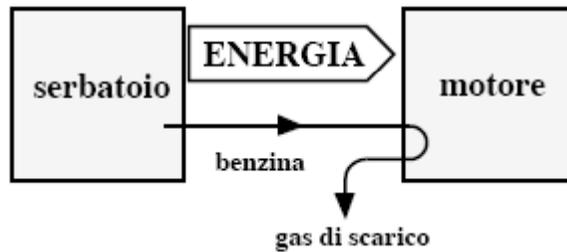
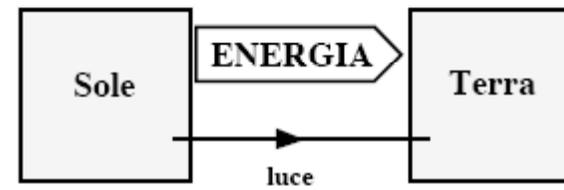
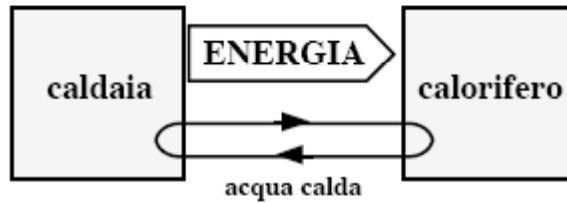
Diagrammi di flusso dell'energia



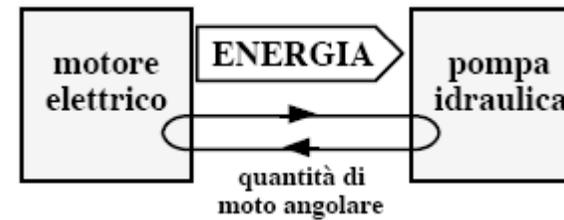
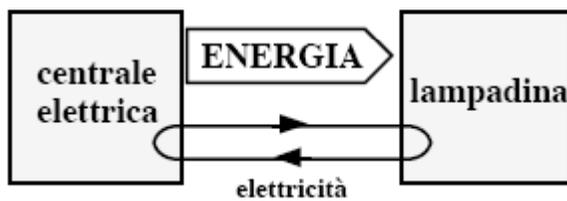
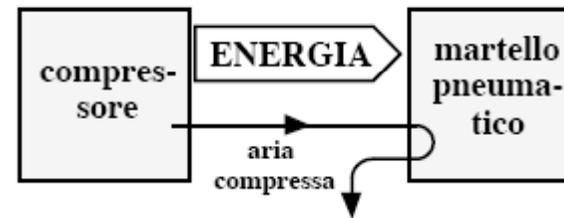
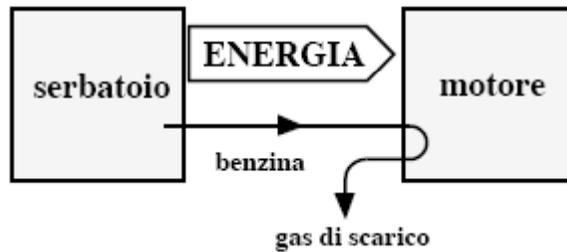
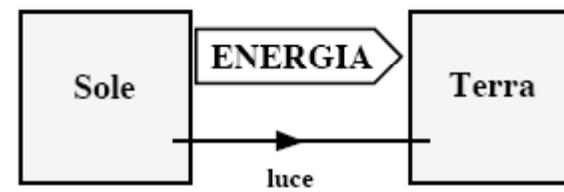
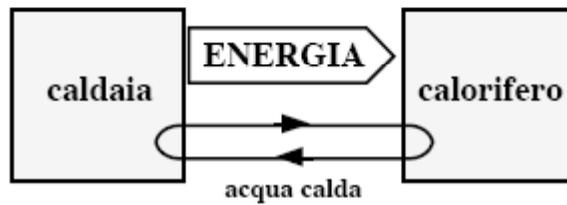
Diagrammi di flusso dell'energia



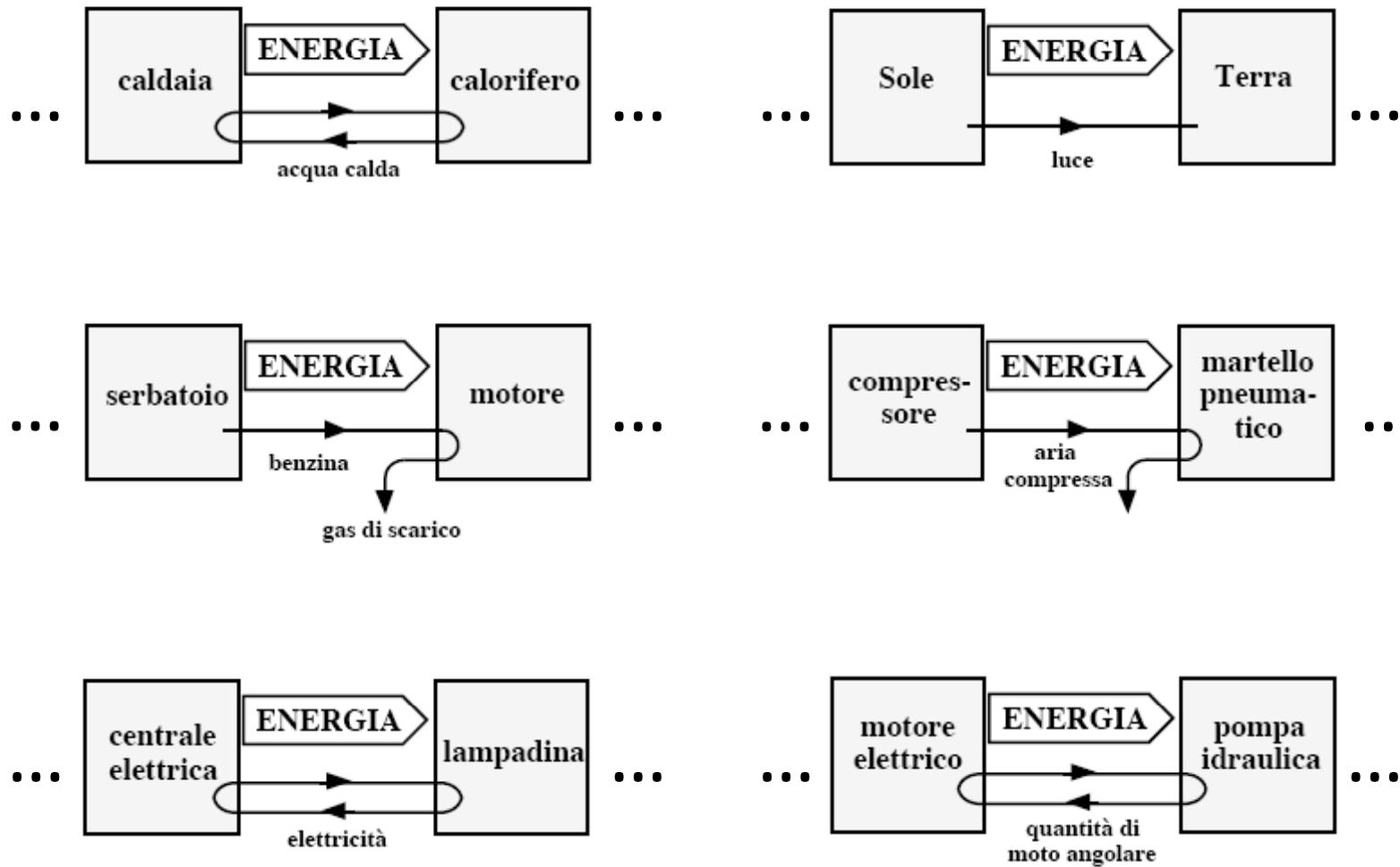
Diagrammi di flusso dell'energia



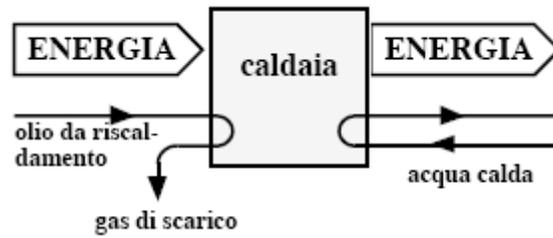
Diagrammi di flusso dell'energia



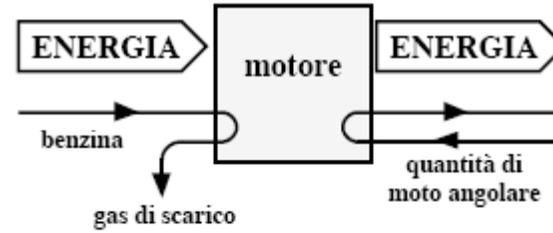
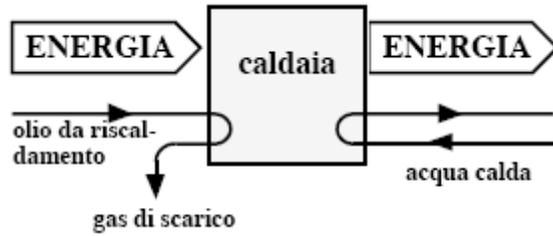
Diagrammi di flusso dell'energia



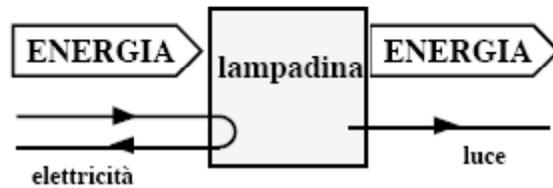
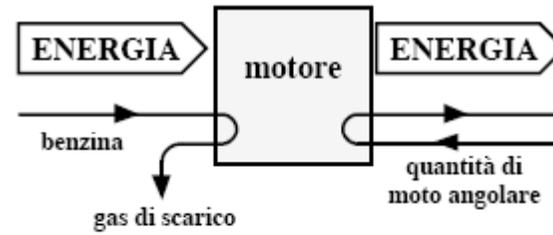
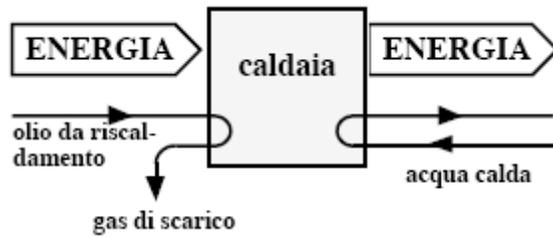
Trasferitori di energia



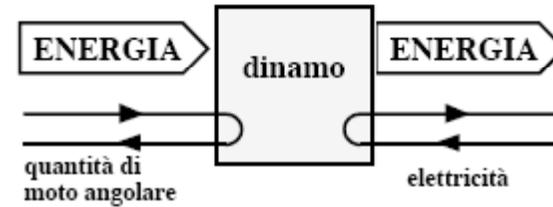
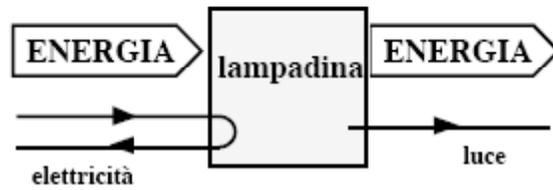
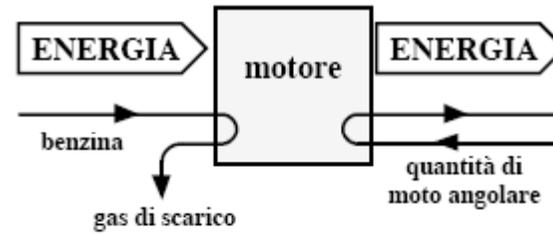
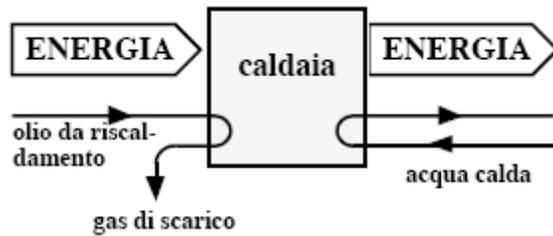
Trasferitori di energia



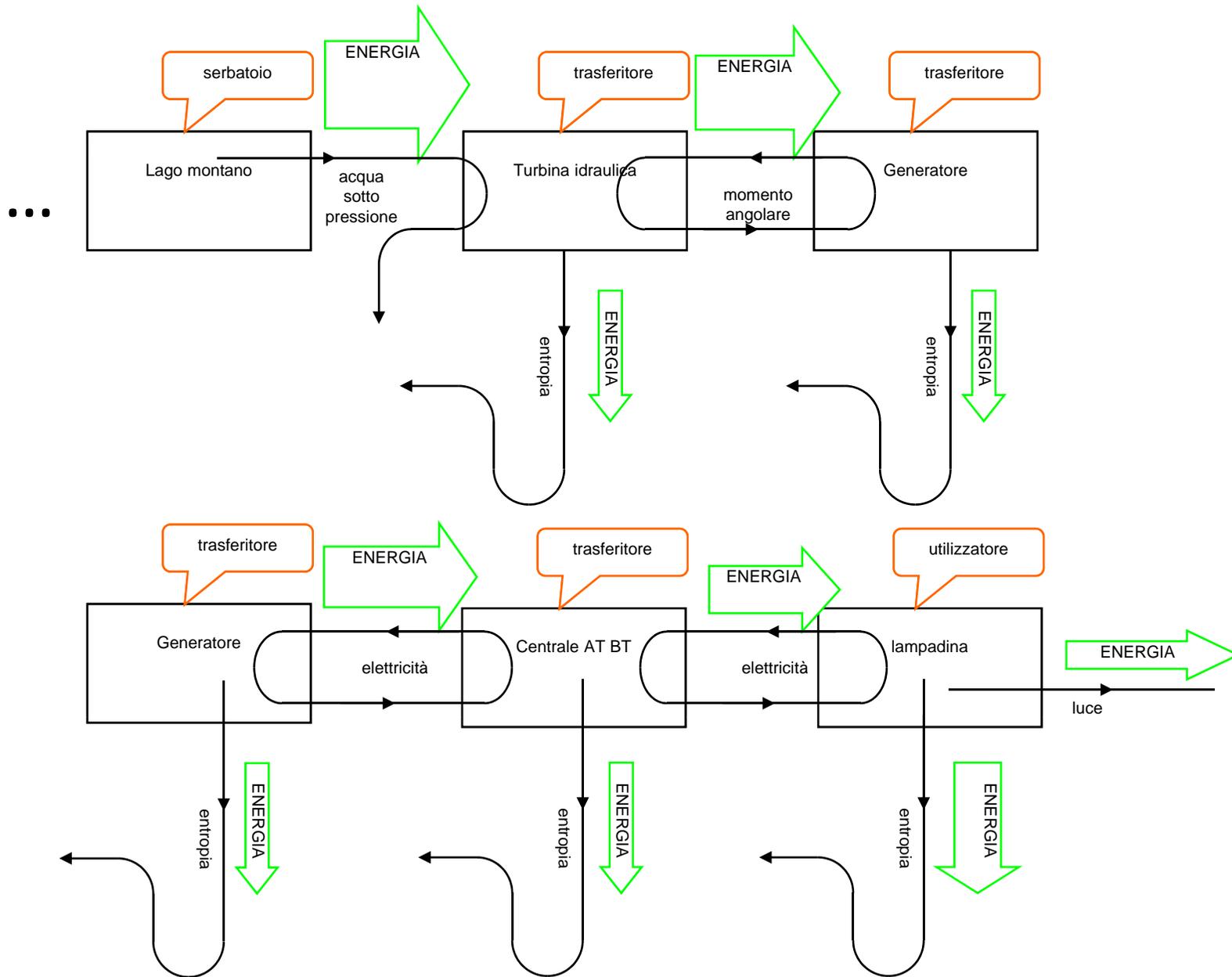
Trasferitori di energia



Trasferitori di energia



Esempio: diagramma di flusso di energia di una lampadina



L'energia nella descrizione dei fenomeni naturali (II)

Federico Corni

Dipartimento di Fisica
Facoltà di Scienze della Formazione
Università di Modena e Reggio Emilia

Cultura e Vita - CORSO di SCIENZE
"ENERGIA / ENERGIE: DALLE SCOPERTE ALLE INVENZIONI"
30 Ottobre 2008 – Biblioteca Scientifica Interdipartimentale

Sintesi della prima lezione

Grandezze estensive

Che obbediscono a un'equazione di bilancio:

$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

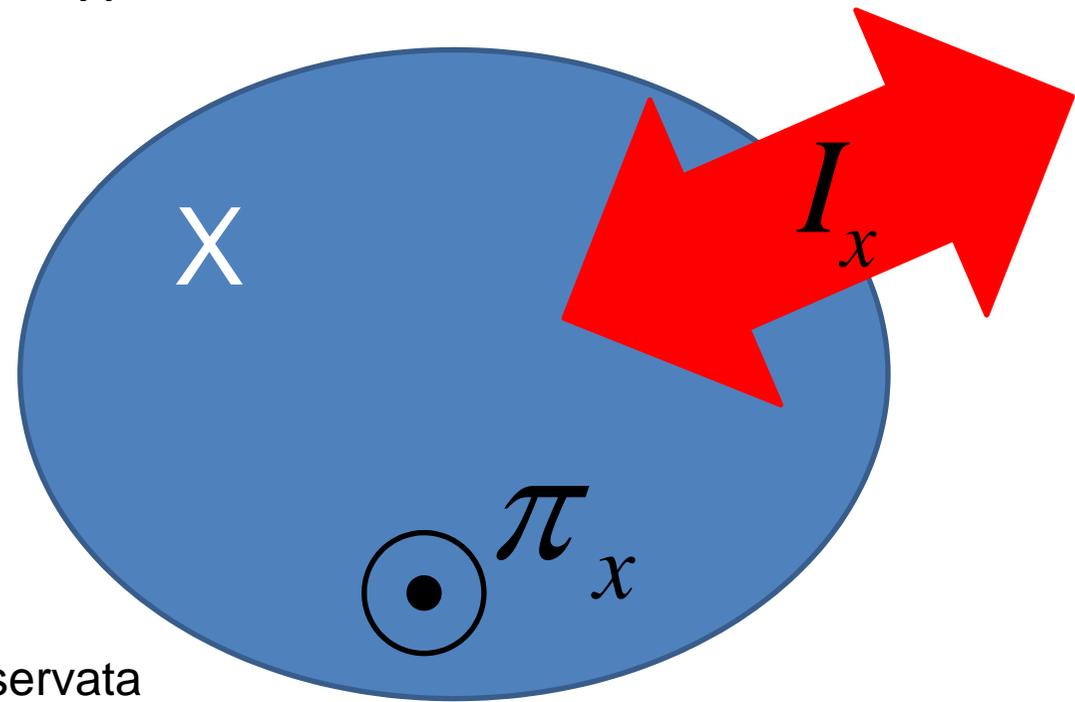
Additività di X, I_x, π_x

ANALOGIA: SOSTANZA

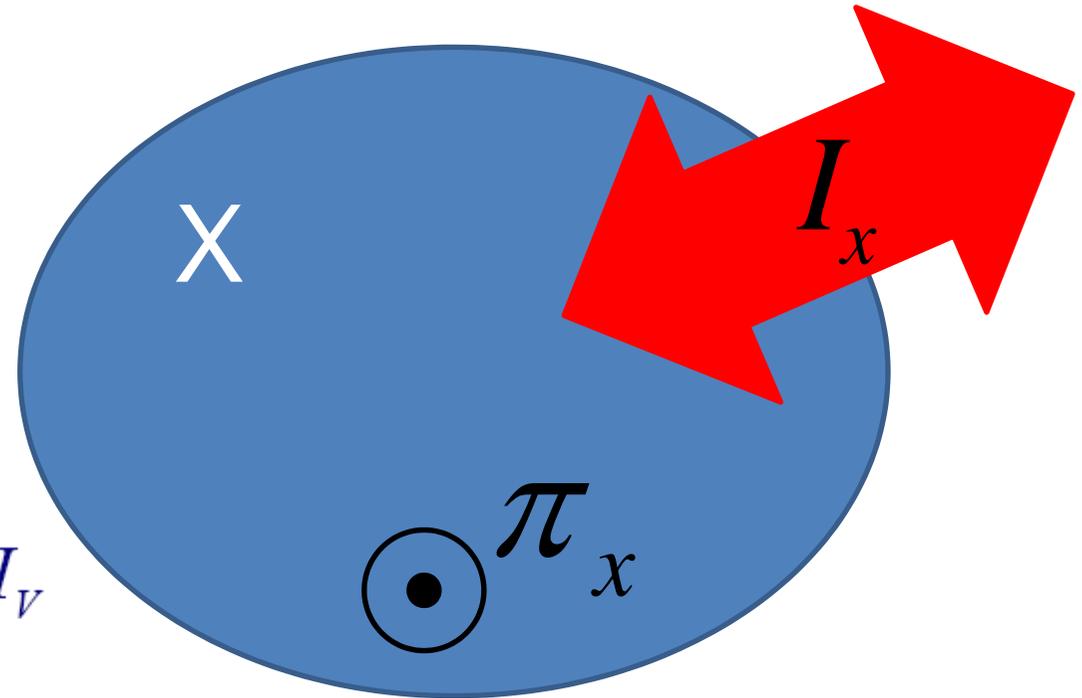
I_x Intensità di corrente
attraverso la superficie

π_x Tasso di
creazione/distruzione

$\pi_x = 0 \Rightarrow$ Grandezza conservata



Equazioni di bilancio:



idraulica

$$dV / dt = I_V$$

elettricit 

$$dQ/dt = I_Q$$

meccanica

$$dp/dt = F$$

termologia

$$dS/dt = I_S + \pi_S$$

chimica

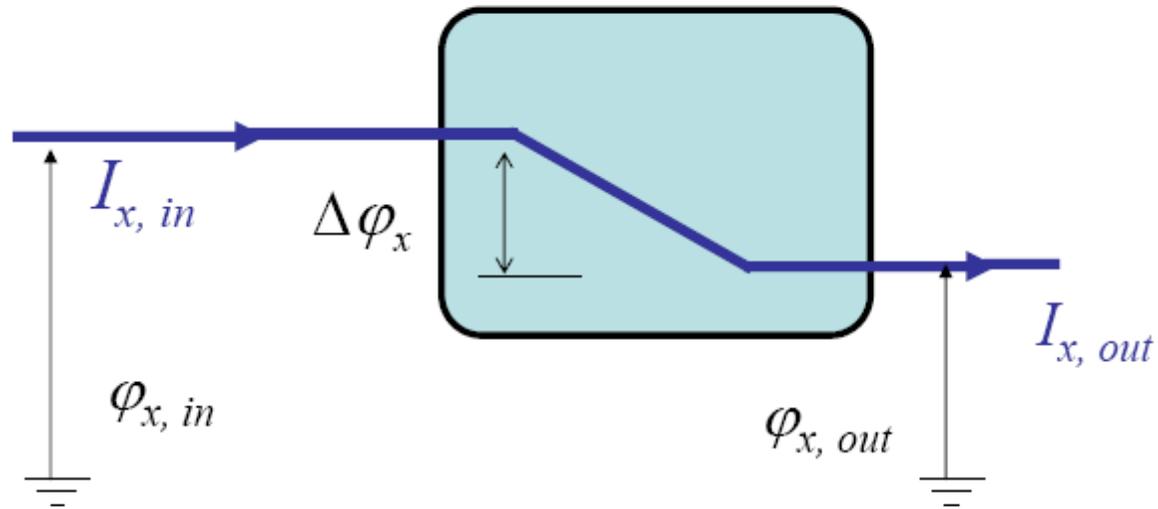
$$dn/dt = I_n + \pi_n$$

$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

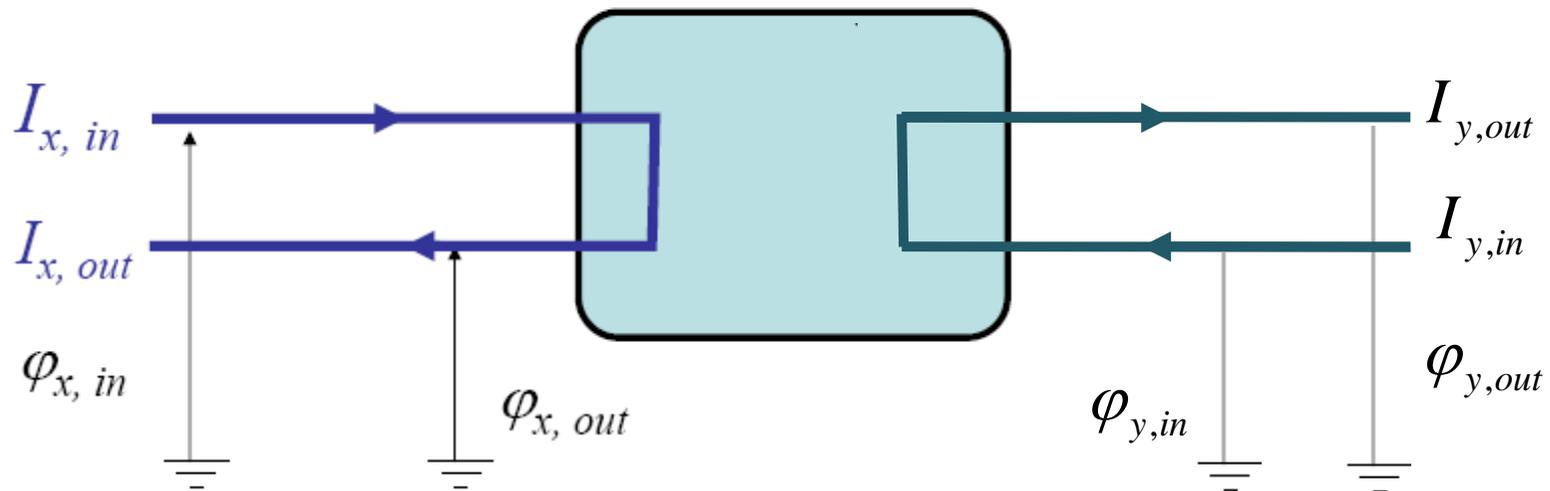
Grandezze intensive

Potenziali generalizzati che possiamo associare a ciascuna delle grandezze estensive e che ne controllano il flusso.

Una grandezza estensiva fluisce spontaneamente da regioni o punti in cui il potenziale ha un certo valore a regioni o punti in cui il potenziale è più basso.



Quando una grandezza estensiva subisce una caduta di potenziale vi è sempre la possibilità che una seconda grandezza estensiva venga elevata a un valore più alto del rispettivo potenziale.



Esempi: pompe per l'acqua, pompa di calore, dinamo, cella elettrochimica ...

DA CHE COSA SONO REGOLATI QUESTI ACCOPPIAMENTI?

La “contabilità” degli accoppiamenti è svolta dalla grandezza che noi chiamiamo **energia**.

Per capire il concetto di energia partiamo dalle sue proprietà:

- può essere immagazzinata;
- può essere trasferita da un sistema ad un altro;
- nei trasferimenti è sempre associata a un'altra grandezza estensiva (portatore);
- può essere trasferita da un portatore ad un altro;
- è soggetta ad una legge di bilancio;
- è una grandezza conservata.

Forme di immagazzinamento dell'ENERGIA

L'energia E di un sistema può sempre essere espressa in funzione di altre variabili x_1, x_2, x_3, \dots

Scegliendo in modo appropriato le variabili, il sistema viene descritto interamente dalla funzione

$$E = E(x_1, x_2, \dots)$$

Questa funzione è detta funzione di Hamilton (nei sistemi meccanici) o potenziale termodinamico (nei sistemi termodinamici).

$$\text{Se } E = E'(x_1) + E''(x_2, x_3) + \dots$$

si dice che il sistema si scompone in sottosistemi non interagenti.

Ogni addendo corrisponde a una forma di immagazzinamento dell'energia. Esempio: un condensatore in movimento, la cui energia totale è data da:

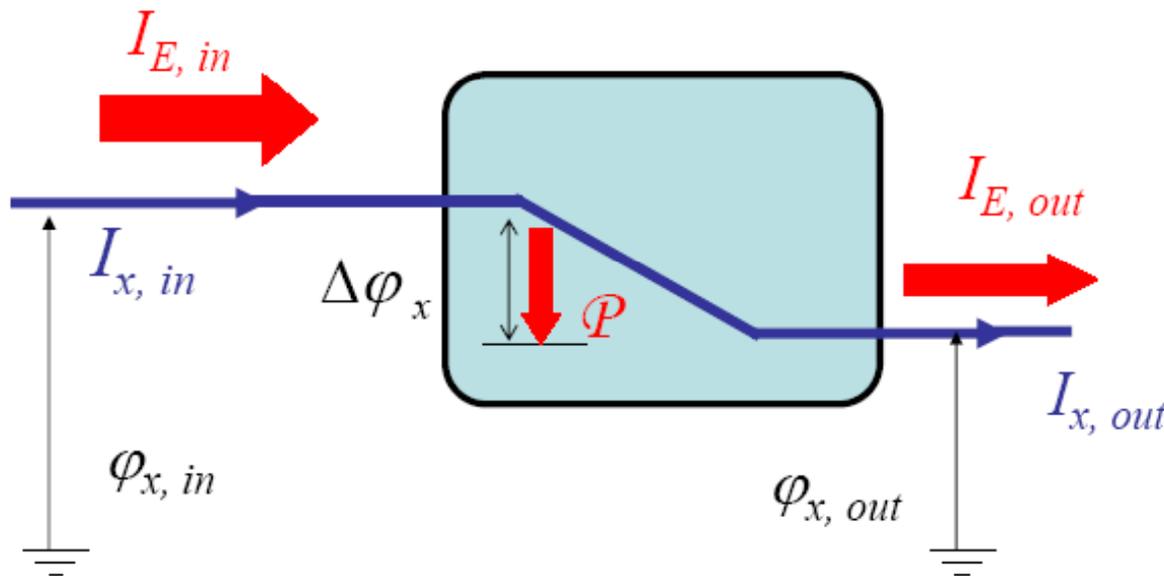
$$E(Q, p) = E_0 + \frac{Q^2}{2C} + \frac{p^2}{2m}$$

Forme di trasferimento dell'ENERGIA

La potenza P , cioè la quantità di energia che per unità di tempo viene richiesta o messa a disposizione in un determinato processo, si trova sperimentalmente che è data da

$$P = I_x \Delta\varphi_x = I_x (\varphi_{in} - \varphi_{out}) = I_{E,in} - I_{E,out}$$

Corrisponde alla quantità di energia che istante per istante, nel processo considerato, cambia di portatore ed è pari alla differenza tra le intensità della corrente di energia in entrata e in uscita.



La grandezza intensiva coniugata dà una misura di quanto il portatore sia carico di energia

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	$I_E = I_V \cdot P$	$\mathcal{P} = I_V \cdot \Delta P$
Elettricità	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)	Quantità di moto p_x	Velocità 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)	Quantità di moto angolare L_x	Velocità 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	Quantità chimica n	Potenziale chimico μ	Corrente chimica I_n rispettivamente tasso di trasformazione π_n	$I_E = I_n \cdot \mu$	$\mathcal{P} = I_n \cdot \Delta \mu$ $\mathcal{P} = \pi_{n(R)} \cdot \Delta \mu$

E' comodo parlare di latte in bottiglia e di latte nelle confezioni di plastica. E' completamente inutile tuttavia chiamare il processo di trasferirlo o il semplice berlo "trasformazione del latte" , o definire il contenuto di un bicchiere o dello stomaco come differenti "forme di latte". La situazione è identica quando parliamo dell'energia.

NO FORME DI ENERGIA

NO TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA

NO SORGENTI DI ENERGIA

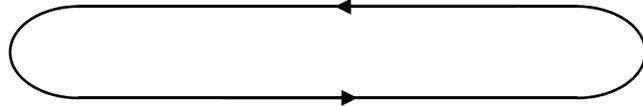
NO DISSPAZIONE DELL'ENERGIA

NO DEGRADO DELL'ENERGIA

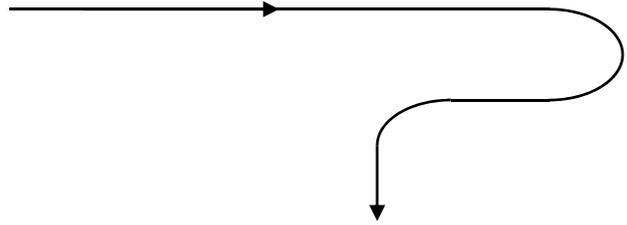
NO ENERGIA PURA

SI FORME DI SCAMBIO O DI IMMAGAZZINAMENTO

Convenzioni sui simboli



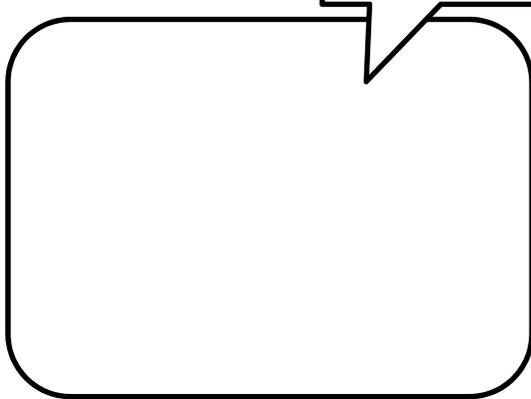
Portatore di energia



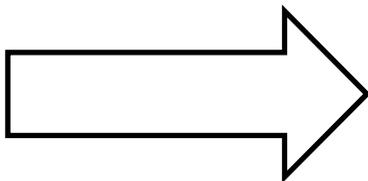
Sorgente, trasferitore, utilizzatore, serbatoio



Nome del sistema



Flusso di energia

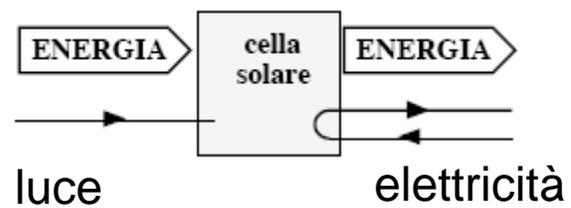


Portatori di energia:

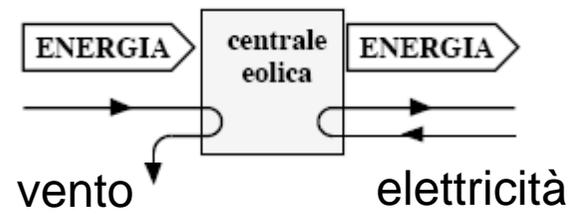
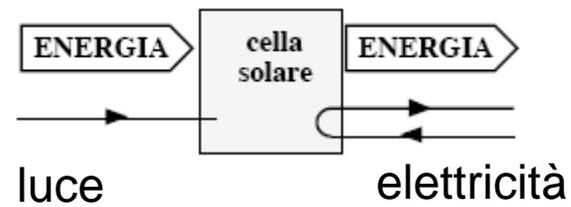
- Carburanti, combustibili, alimenti
- Elettricità
- Luce
- Quantità di moto
- Momento angolare
- Acqua calda, aria calda
- Acqua in pressione, aria in pressione
- Acqua in movimento, aria in movimento

Trasferitore di energia	portatore in entrata	portatore in uscita
motore elettrico	elettricità	q. di moto angolare
lampadina	"	luce
stufetta elettrica	"	aria calda
scaldabagno	"	acqua calda
pompa elettrica	"	acqua in pressione
ventilatore	"	aria in movimento
compressore diesel	combustibile	aria compressa
centrale a carbone	"	elettricità
motore a benzina	"	q. di moto angolare
lampada a petrolio	"	luce
stufa a olio	"	aria calda
caldaia	"	acqua calda
cella solare	luce	elettricità
radiometro	"	q. di moto angolare
collettore solare	"	acqua calda
bosco	"	legno
compressore	quantità di moto	aria compressa
pompa idraulica	angolare	acqua in pressione
dinamo, generatore	"	elettricità
elica	"	aria in movimento
turbina idraulica	acqua sotto pressione	quantità di moto angolare
mulino a vento	aria in movimento	quantità di moto angolare

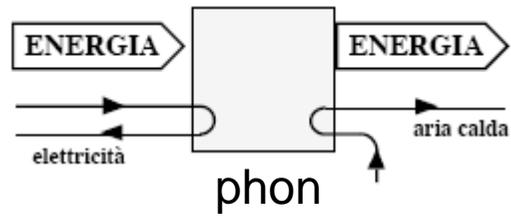
Quali sono i portatori per questi trasferitori?



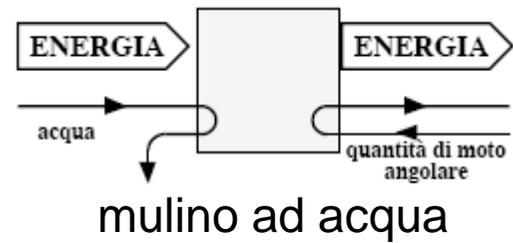
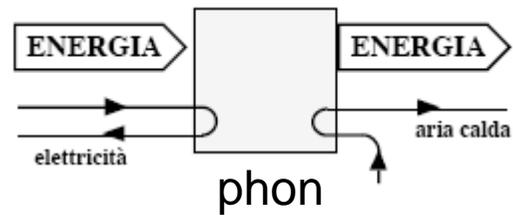
Quali sono i portatori per questi trasferitori?



Di che trasferitori di energia si tratta?



Di che trasferitori di energia si tratta?



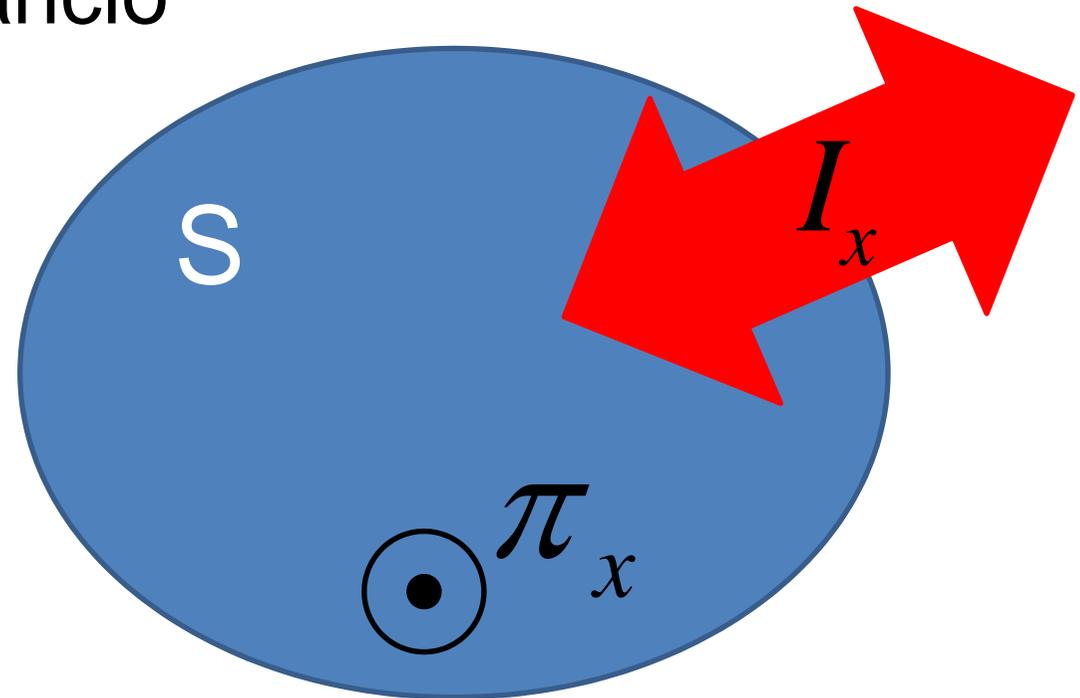
TERMOLOGIA

La grandezza estensiva che obbedisce all'equazione di bilancio

$$\frac{dS}{dt} = I_S + \pi_S$$

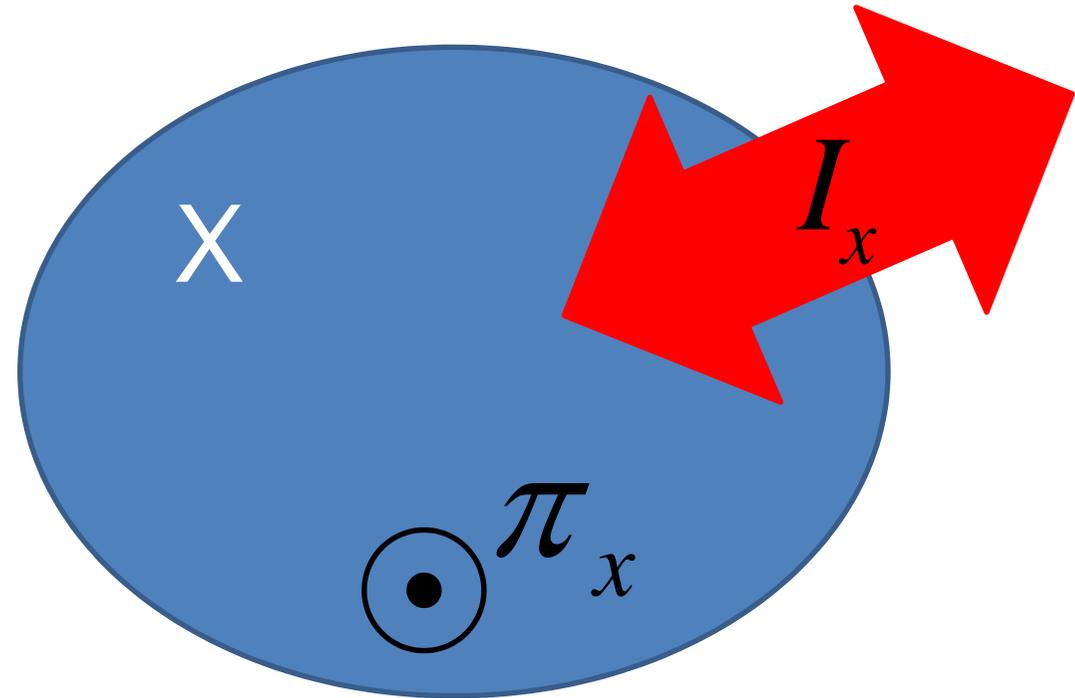
I_S Intensità di corrente attraverso la superficie

π_S Tasso di creazione/distruzione



è l'ENTROPIA

Equazioni di bilancio:



idraulica $dV / dt = I_V$

elettricit  $dQ/dt = I_Q$

meccanica $dp/dt = F$

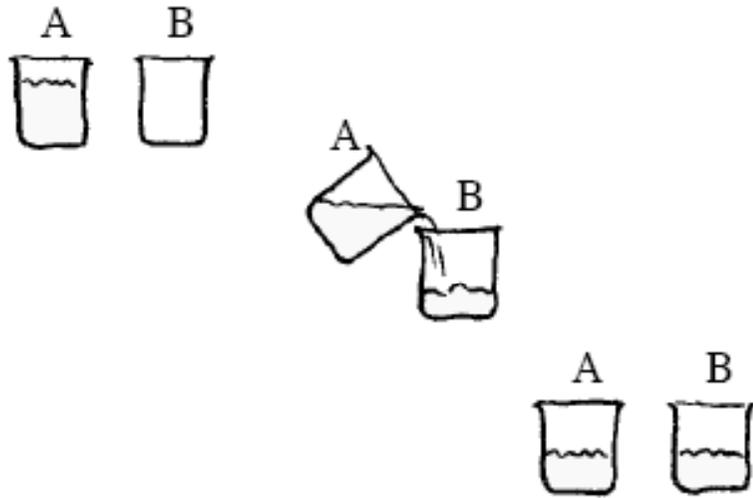
$$\frac{dX}{dt} = I_x + \pi_x$$

termologia $dS/dt = I_S + \pi_S$

chimica $dn/dt = I_n + \pi_n$

L'entropia  
una grandezza
NON CONSERVATA

La temperatura e il calore



In un bicchiere A c'è 1 litro d'acqua a una temperatura di 80°C .

Trasferiamo metà dell'acqua in un recipiente vuoto B.

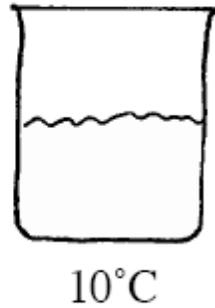
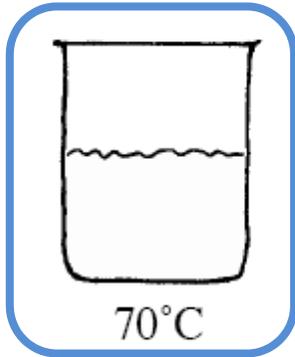
Cosa succede alla temperatura e cosa alla quantità di calore?

La temperatura è una grandezza intensiva ed è indipendente dalla quantità di acqua. Il calore è una grandezza estensiva e dipende dalla quantità di acqua.

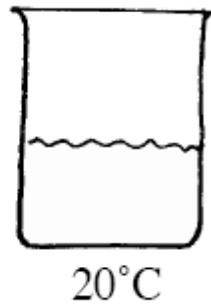
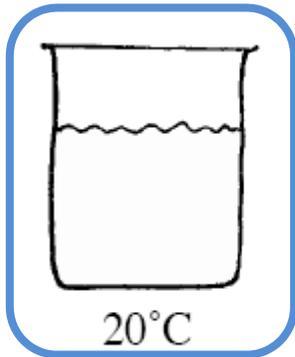
CIO' CHE VIENE CHIAMATO COMUNEMENTE CALORE, IN FISICA VIENE CHIAMATO

ENTROPIA

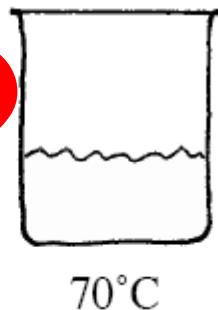
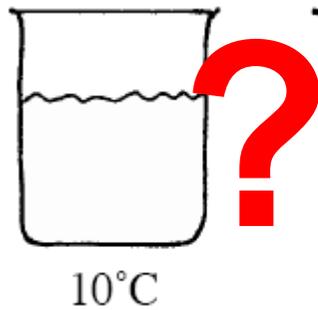
Quale bicchiere contiene più entropia? (In quale bicchiere c'è più calore?)



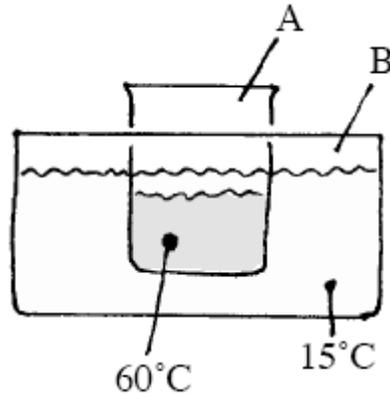
**Più la temperatura di un corpo è alta,
più entropia contiene.**



**Più la massa di un corpo è grande, più
entropia contiene.**

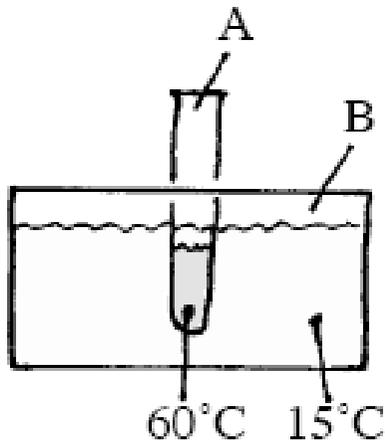


Cosa succede se immergiamo un recipiente contenente acqua calda in un recipiente contenente acqua fredda?

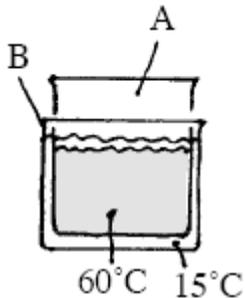


OSSERVAZIONE: la temperatura dell'acqua in A scende, quella dell'acqua in B sale. Le temperature si avvicinano l'una all'altra e alla fine si uguagliano. La temperatura di B però, non supera quella di A.

INTERPRETAZIONE: da A a B scorre entropia fintantoché le temperature sono diventate uguali.



Idem, ma la temperatura finale è più bassa



Idem, ma la temperatura finale è più alta

L'**entropia** è una grandezza estensiva che fluisce spontaneamente da punti a temperatura più alta verso punti a temperatura più bassa.

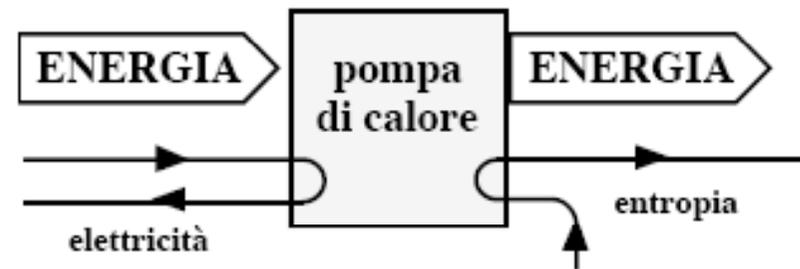
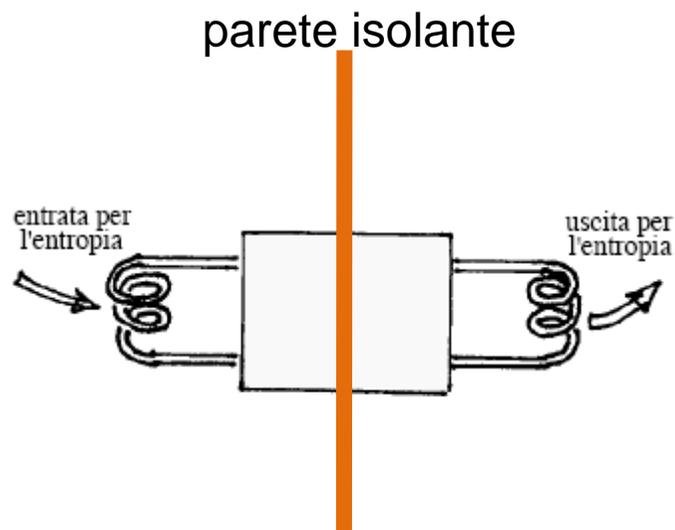
Una **differenza di temperatura** è la spinta per una corrente di entropia.

Un corpo può essere completamente svuotato della sua entropia?

Esiste una temperatura minima?

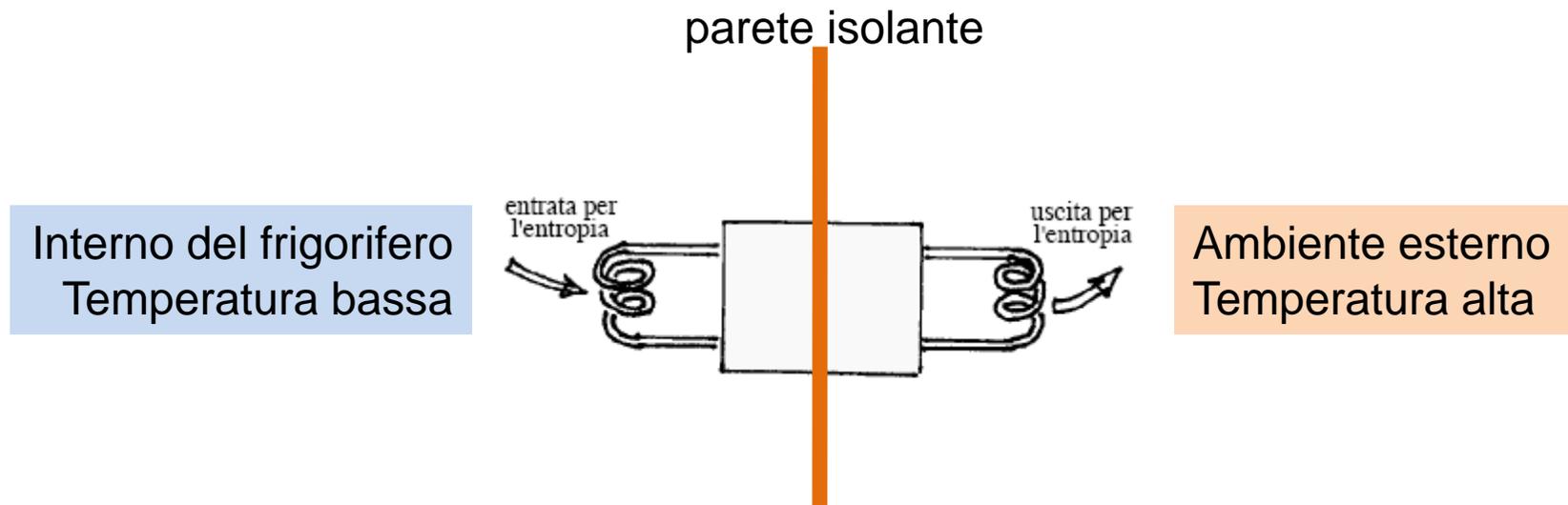
L'entropia fluisce anche da punti a temperatura più bassa a punti a temperatura più alta, ma non spontaneamente.

Ci vuole una cosiddetta “**pompa di calore**”



Raffreddare un oggetto significa sottrargli entropia;
riscaldare un oggetto significa fornirgli entropia.

Le pompe di calore possono essere utilizzate sia
per scaldare che per raffreddare:



FRIGORIFERO / SCALDAMENTO / CLIMATIZZATORE / POMPA DI CALORE

Quanta entropia possiamo estrarre da un oggetto? Quanta entropia contiene?

Sono due domande diverse: se l'entropia è solo positiva, da un oggetto non possiamo estrarre più entropia di quella che contiene, se no, ne possiamo estrarre anche di più.

Primo caso: liquido in un contenitore

Secondo caso: quantità di moto di un corpo

Per rispondere a queste due domande estraiamo entropia da un oggetto usando diverse pompe di calore ...

Frigorifero (-5 °C)

Congelatore (-20 °C)

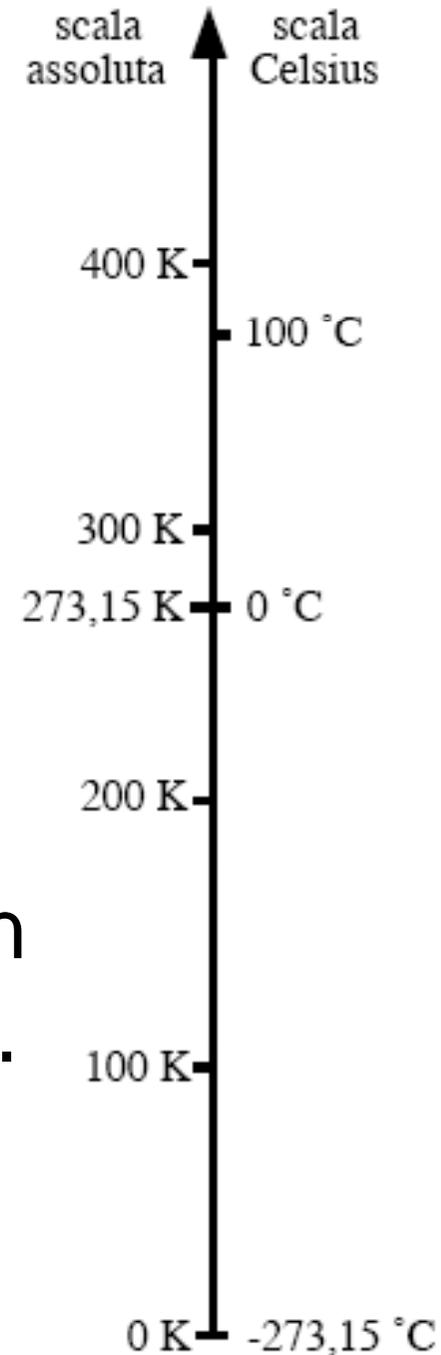
Azoto liquido (-196 °C)

Elio liquido (-267 °C)

Dito freddo (-270 °C)

⋮

La temperatura più bassa che un oggetto può avere, è -273.15 °C. A questa temperatura non contiene più entropia.



L'entropia è una grandezza non conservata.
Si può creare ma non distruggere.

Qualche esempio ...

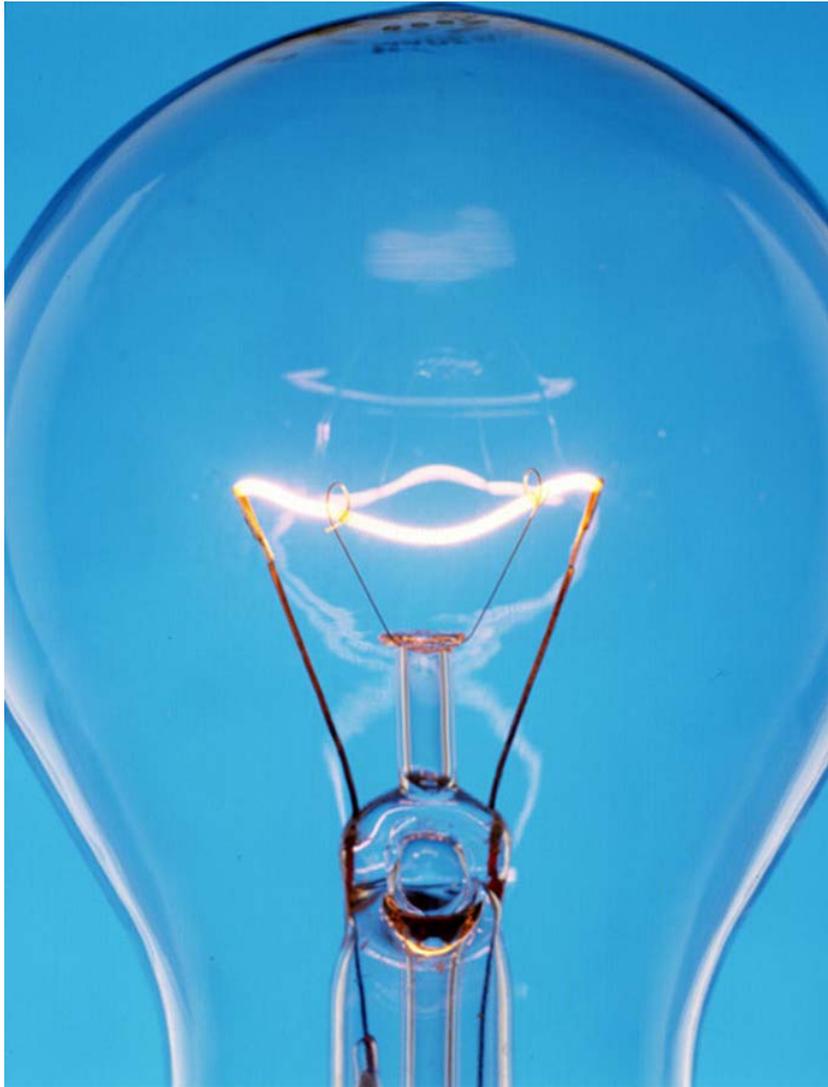


Da dove viene l'entropia ceduta da una fiamma durante la combustione?

Non era contenuta né nel combustibile, né nell'ossigeno, in quanto entrambe le sostanze prima erano fredde.

Appare durante la combustione.

Nella fiamma viene prodotta entropia



In un filo percorso da corrente viene prodotta entropia.

Esempi: la piastra di cottura, il ferro da stiro, il riscaldatore a immersione, il riscaldamento dell'asciugacapelli, ...

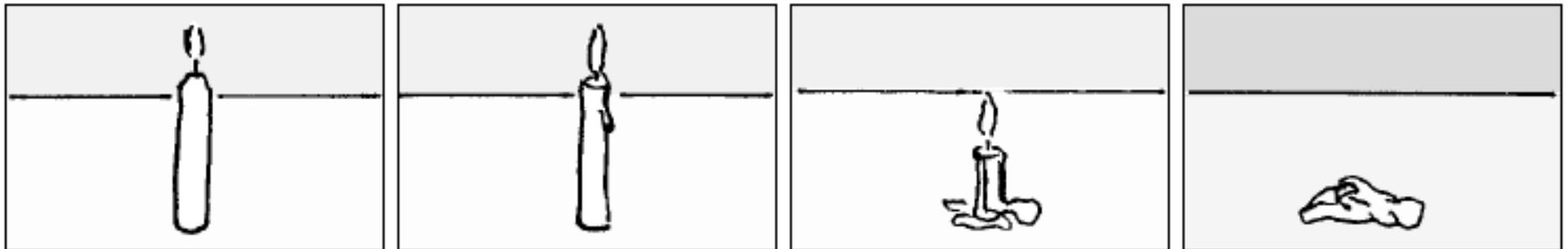


Nella superficie di contatto tra oggetti che si sfregano, viene prodotta entropia.

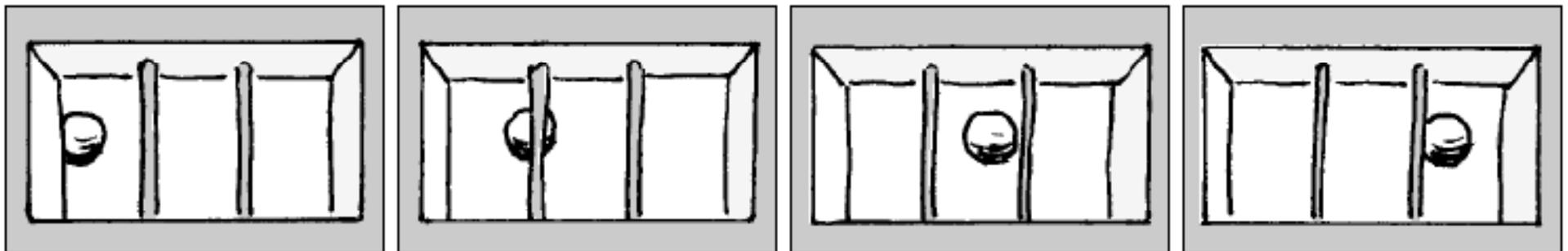
Esempi: le mani, la punta del trapano, la lama della sega, ...

L'entropia è una grandezza non conservata.
Si può creare ma non distruggere.

Questo principio è alla base dei processi
irreversibili e determina la freccia del tempo

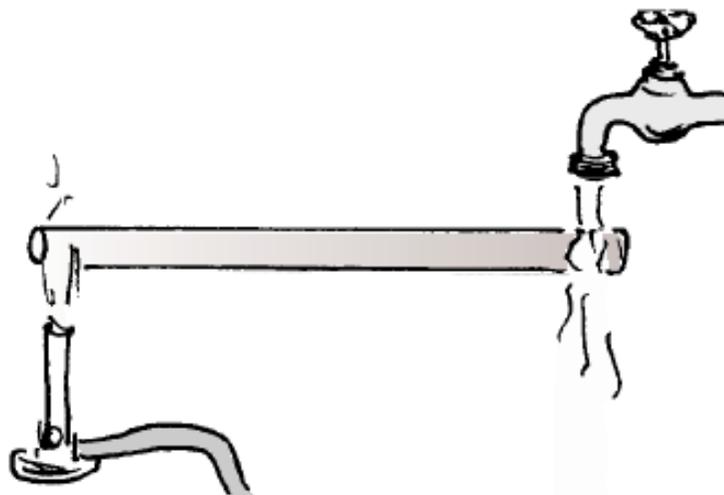


Una candela che brucia produce entropia ed è un processo irreversibile



Una palla che passa fuori dalla finestra è un processo reversibile

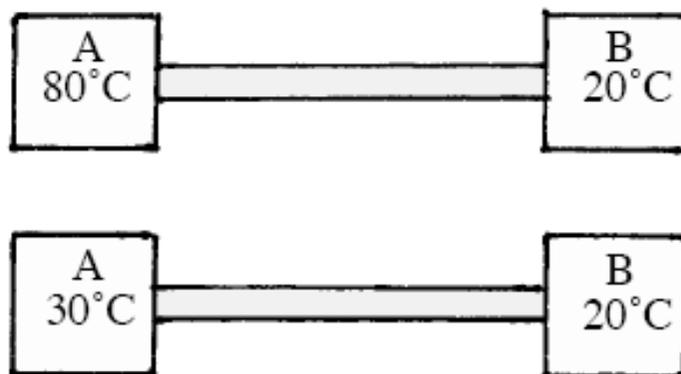
Che cosa determina la corrente di entropia? Per conduzione ...



L'estremità di sinistra della sbarra di metallo viene riscaldata, quella di destra viene raffreddata.

A sinistra viene fornita entropia, a destra viene tolta.

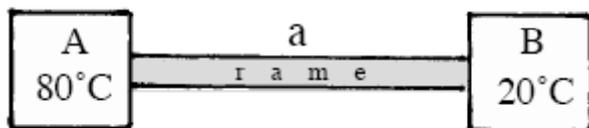
L'entropia fluisce attraverso la sbarra.



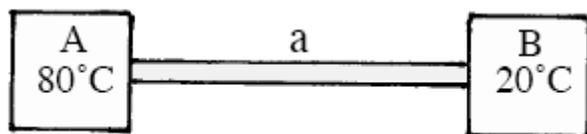
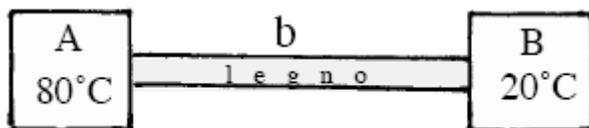
Maggiore è la differenza di temperatura e maggiore è la corrente di entropia

Che cosa determina la corrente di entropia?

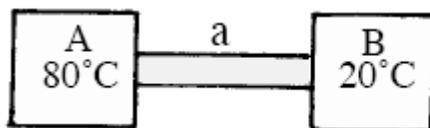
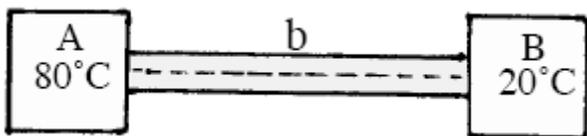
... attraverso una resistenza termica.



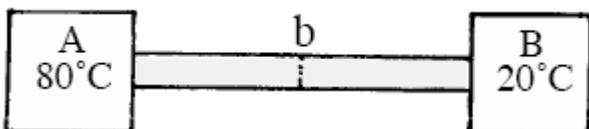
Dipende dal **materiale** della sbarra



Dipende dalla **sezione** della sbarra



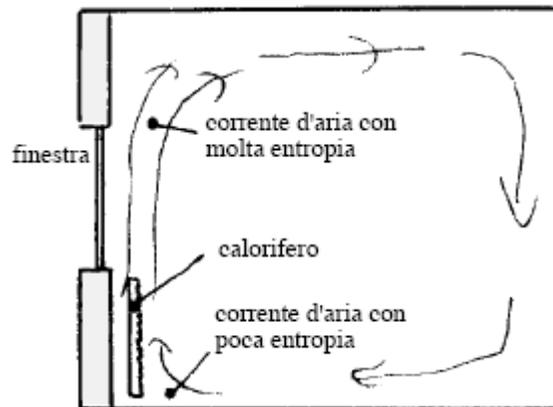
Dipende dalla **lunghezza** della sbarra



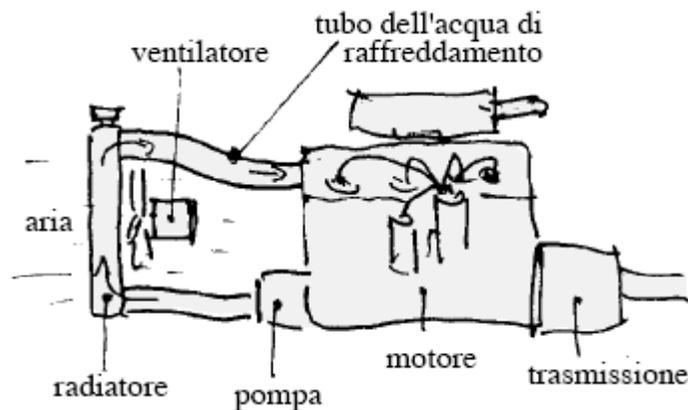
Che cosa determina la corrente di entropia?

Per convezione

Siccome non ci sono buoni conduttori di entropia, per lunghe distanze si preferisce far trasportare l'entropia da un fluido in movimento.

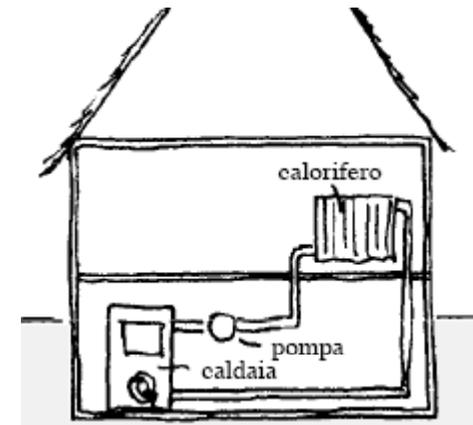


Riscaldamento di una stanza tramite calorifero



Sistema di raffreddamento del motore

Riscaldamento centrale



Entropia e **ENERGIA**

L'entropia è un portatore di energia.

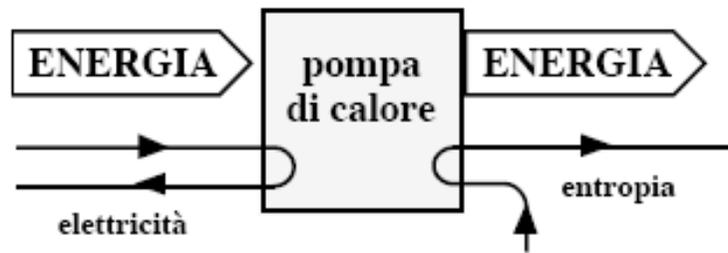
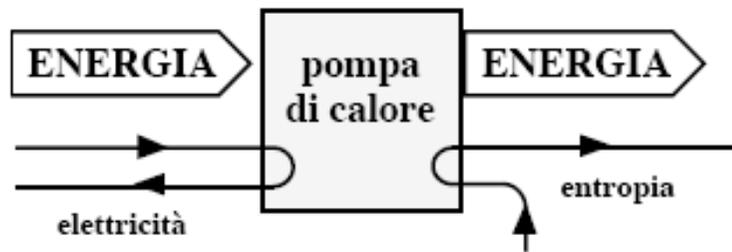


Diagramma di flusso di una pompa di calore

Ogni corrente di entropia è accompagnata da una corrente di energia.

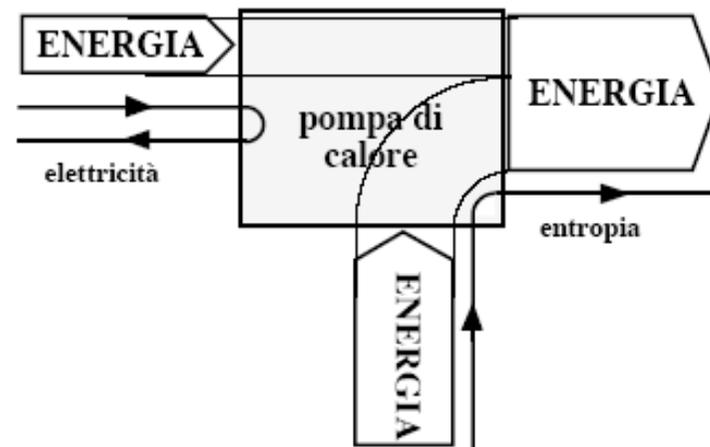
Che relazione c'è tra le intensità di queste correnti?

Innanzitutto una forte corrente di entropia sarà associata a una forte corrente di energia.



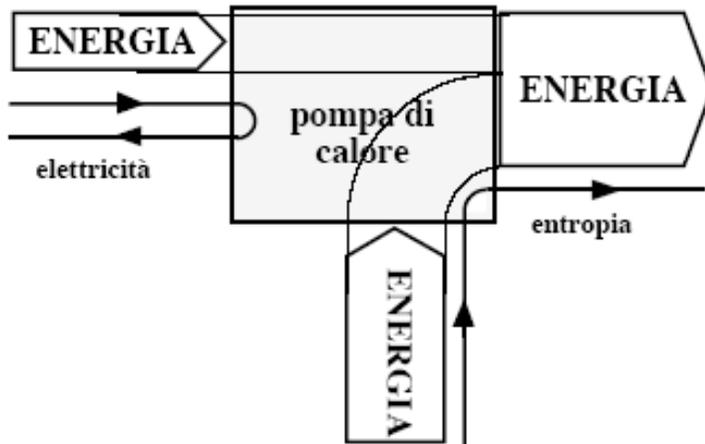
L'elettricità lascia la pompa di calore dopo aver scaricato la sua energia. Dall'altra parte, l'entropia affluisce alla pompa di calore e viene caricata con l'energia portata dall'elettricità. Questa energia lascia la pompa di calore con l'entropia che defluisce.

Anche l'entropia che affluisce alla pompa di calore porta energia. L'entropia che defluisce porta però più energia di quella che affluisce, in quanto viene aggiunta quella portata dall'elettricità. Due correnti di entropia della stessa intensità, possano portare quantità diverse di energia. L'intensità della corrente di energia dipende anche dalla temperatura.



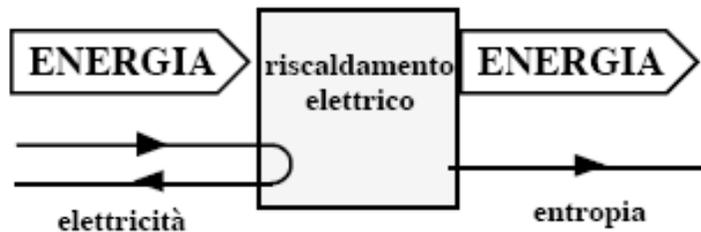
$$P = TI_S$$

La **temperatura** indica quanto una corrente di **entropia** sia caricata di **energia**.



$$P = (T_A - T_B)I_S$$

Diagramma di flusso e potenza energetica per una pompa di calore

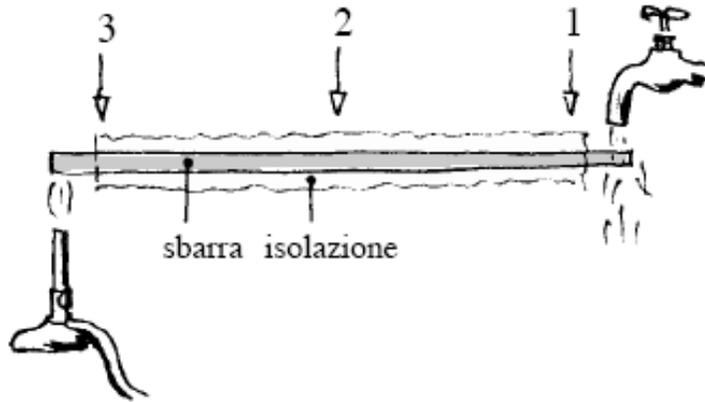


$$P = TI_S$$

Diagramma di flusso e potenza energetica per un riscaldatore elettrico

Il consumo di energia di un riscaldamento elettrico è maggiore di quello di una pompa di calore.

Corrente di entropia e corrente di energia in un conduttore termico



In condizioni di equilibrio termico (dinamico), la temperatura lungo la sbarra passa gradualmente dal valore massimo all'estremità sinistra al valore minimo a quella destra.

La corrente di entropia diventa più intensa da sinistra verso destra.

All'estremità destra della sbarra esce più entropia di quanta ne sia entrata a sinistra.

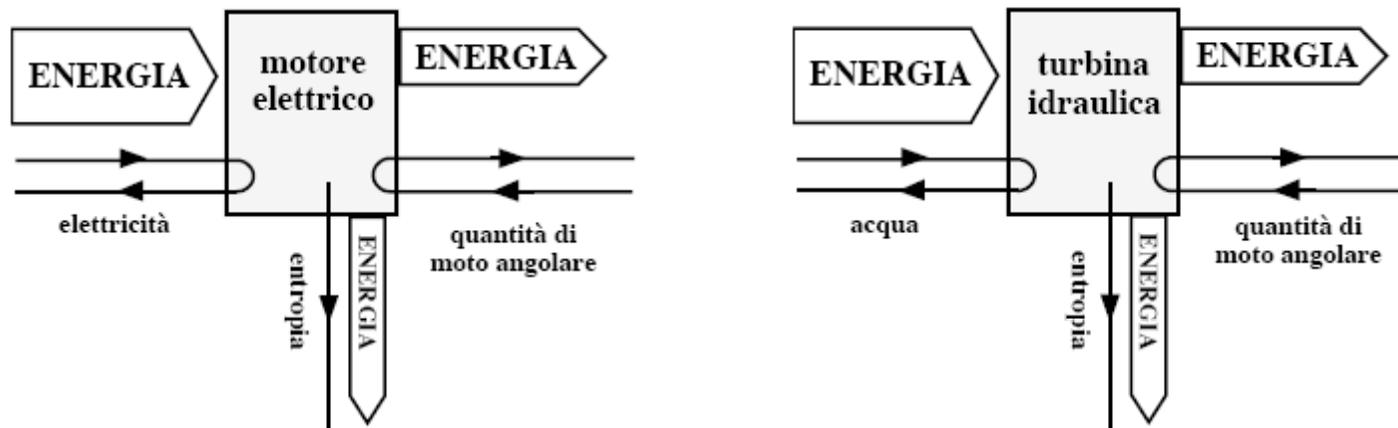
Nella sbarra si è prodotta entropia

$$\begin{cases} T_3 > T_2 > T_1 \\ P_3 = P_2 = P_1 \\ P_i = T_i I_{S,i} \end{cases} \Rightarrow I_{S,1} > I_{S,2} > I_{S,3}$$

$$I_{S,1} = I_{S,3} + \pi_S$$

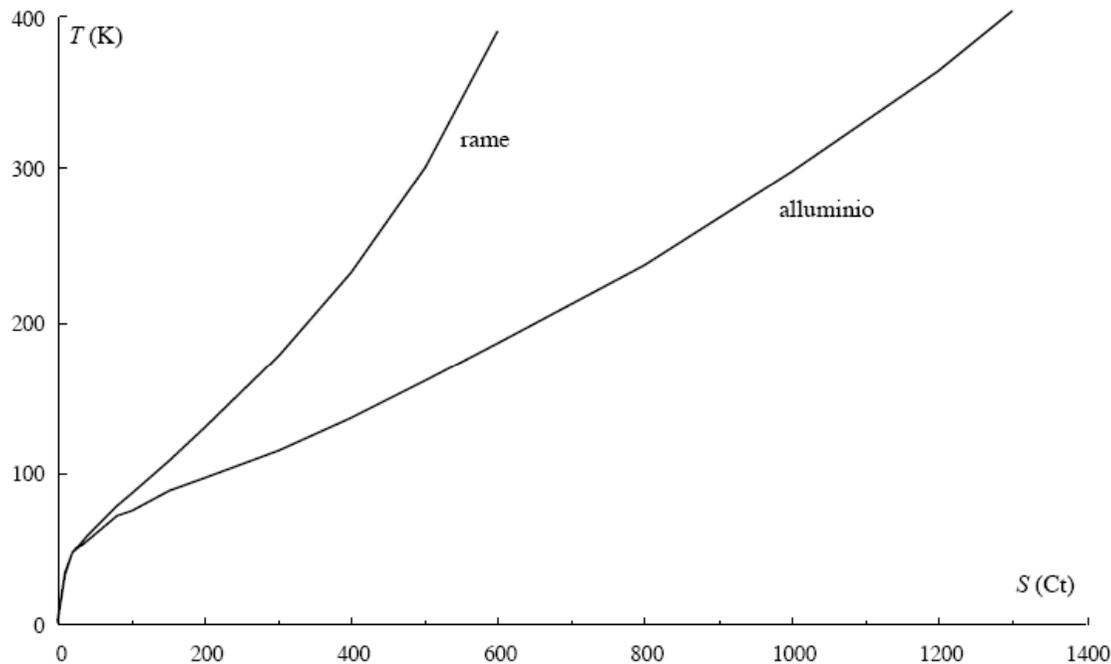
“Perdite” di energia

In quasi tutti gli apparecchi che trasferiscono energia su un altro portatore e in quasi tutti i conduttori che servono alla trasmissione di energia, l'energia in uscita è inferiore di quella in entrata.



Le “perdite” di energia sono quasi sempre causate da **produzione di entropia**.

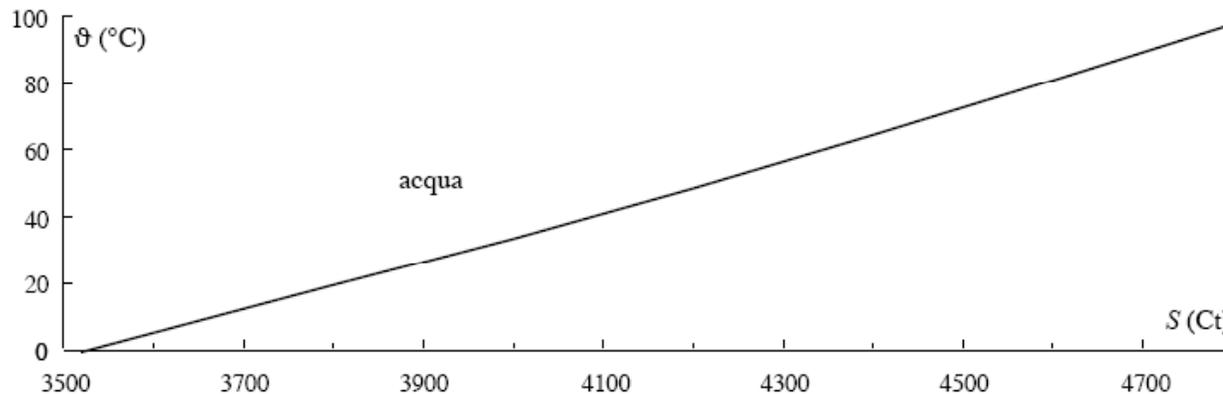
Relazione fra contenuto di entropia e temperatura



La temperatura di un corpo che contiene una certa entropia dipende dalla sua massa e dal materiale di cui è fatto

Relazione fra apporto di energia e variazione di temperatura

Per scaldare l'acqua dobbiamo fornire entropia.
Assieme all'entropia, l'acqua riceve anche energia.



Lontano dalle transizioni di fase la relazione fra entropia e temperatura è lineare per cui l'apporto di energia è lineare con la variazione di temperatura.

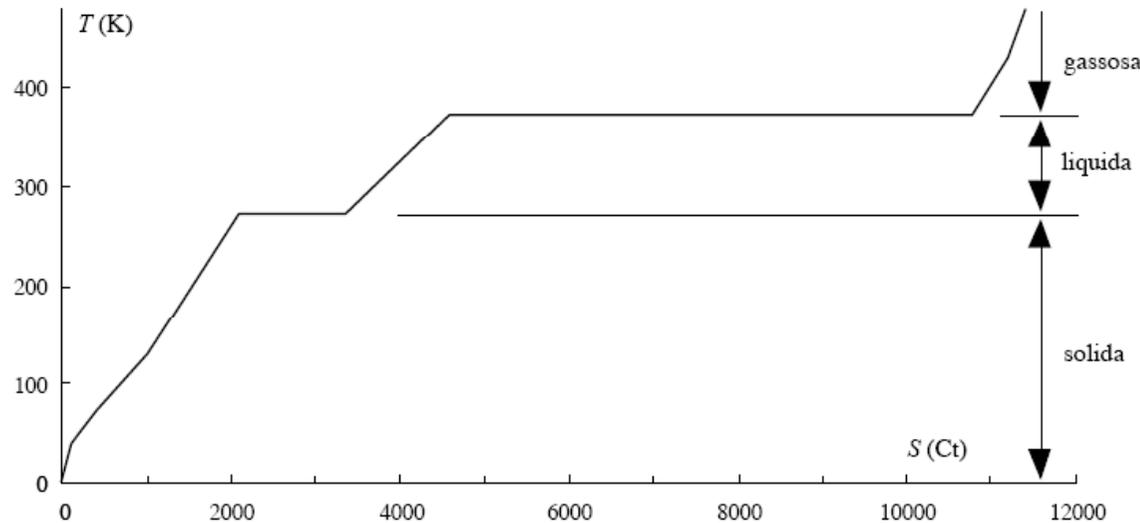
$$\Delta E = mc\Delta T$$

m massa dell'acqua

c capacità termica specifica

Relazione fra apporto di energia e variazione di temperatura

Se forniamo entropia a 1 kg di acqua la relazione fra entropia e temperatura non è sempre lineare.



Durante una **transizione di fase**, una sostanza, acquisisce (cede) entropia **senza aumentare** (diminuire) **la temperatura**.

A 100 °C il vapore acqueo contiene più entropia dell'acqua e l'entropia fornita fa evaporare l'acqua senza aumentare la temperatura.

$$\Delta E = m_{NF} L$$

m_{NF} massa nuova fase

L calore latente

Un modo efficace per accumulare entropia è facendo avvenire una transizione di fase

SOMMARIO

- L'ENTROPIA è la grandezza estensiva della termologia
- La grandezza associata è la TEMPERATURA
- Scala termometrica assoluta
- Come si crea l'entropia
- Come si sposta: conduzione e convezione
- Entropia come portatore di energia
- Conservazione dell'energia e creazione dell'entropia
- Relazioni fra entropia, temperatura ed energia