

Mercoledì, 17 novembre 2010 - Scuola media di Breganzona
Mercoledì, 15 dicembre 2010 - Liceo di Locarno

Modelli e analogie nell'insegnamento delle scienze sperimentali

- 1 – Esperienze
- 2 – Il modello di riferimento
- 3 – L'equazione di bilancio
- 4 – Il ruolo dell'energia

Michele D'Anna – Liceo Locarno
michele.danna@edu.ti.ch

1



Il Karlsruher Physikkurs

Prof. F. Herrmann
Abteilung der Didaktik der Physik
Uni Karlsruhe
<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/>

Criteria e obiettivi

- la semplificazione del percorso didattico
- l'ammodernamento dei contenuti
- la riduzione delle barriere tra le discipline scientifiche

- l'eliminazione dei “fardelli storici”
- l'analisi del ruolo del linguaggio
- la messa in evidenza della struttura disciplinare sottostante e l'utilizzo delle analogie

2

L'eliminazione dei “fardelli storici”

Constatazione:

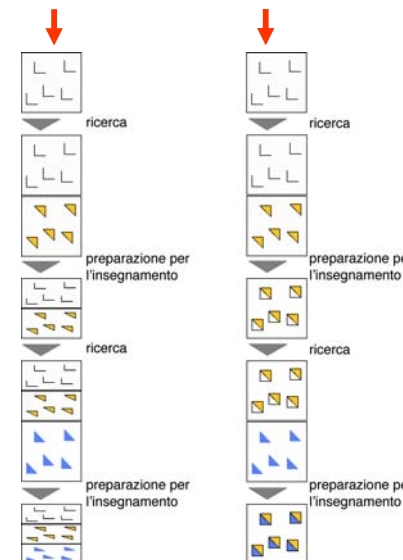
l'insegnamento della fisica contiene difficoltà e complicazioni assolutamente non necessarie;

molti dei misconcetti degli studenti derivano direttamente da misconcetti presenti nell'insegnamento consolidato della fisica.

3

Schema tradizionale
semplice accumulo
compressione

Schema auspicato
revisione concettuale
riduzione



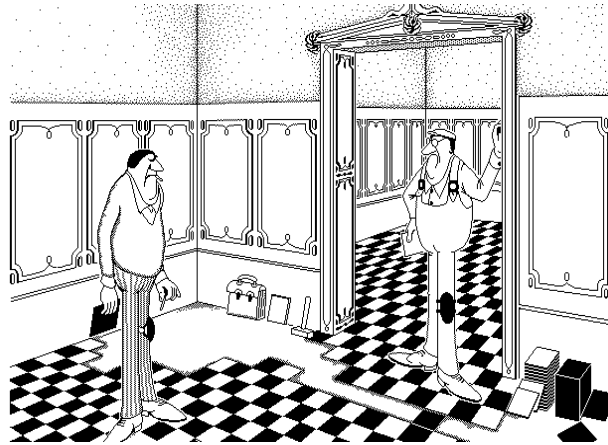
L'origine dei “fardelli storici”

Continuo aumento dei saperi:
come integrarli nel corpo
disciplinare insegnato?
→ **Necessità di una rivisitazione concettuale** (a livello disciplinare).

Nuovi saperi
talvolta consentono una
semplificazione /
essenzializzazione
(possono fornire chiavi per una
nuova organizzazione concettuale).

(Disegno originale di F. Herrmann)

4



5

1 – Esperienze

Iniziamo con alcune esperienze che ci serviranno per costruire il modello e precisare il senso delle analogie. In particolare:

A) un esperimento in cui un sistema in cui è presente una “differenza” iniziale evolve verso una situazione di equilibrio

B) un esperimento in cui grazie ad un intervento esterno viene creata una “differenza”

in ambiti diversi:

- idraulici
- elettrici
- meccanici
- termici
- chimici.

6

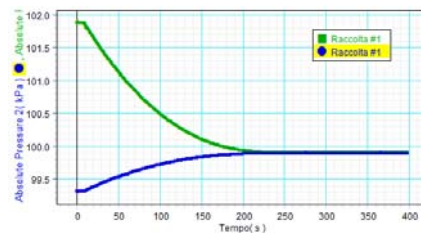
Idraulica A: durante il processo la differenza di pressione scompare



Differenza di pressione
(dovuta alla differenza di
altezza)

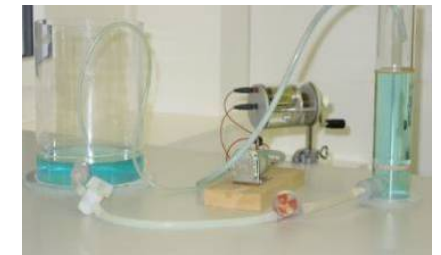
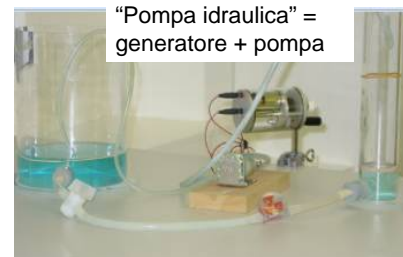
La differenza di pressione
origina un flusso di acqua

Nel corso del processo il livello
tende ad equilibrarsi
(stessa pressione finale)



Idraulica B: la “pompa idraulica” genera una differenza di pressione

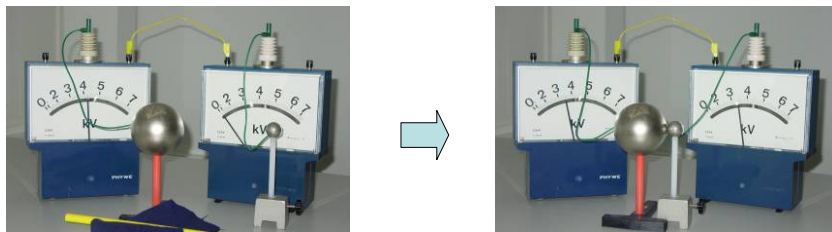
La pompa trasferisce una certa quantità di
acqua, generando una differenza di pressione



Il volume dell'acqua nel recipiente di destra aumenta.
Domanda: da dove viene?
Risposta:

8

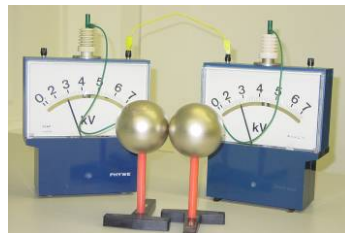
Elettricità A: durante il processo la differenza di potenziale elettrico scompare



La differenza di potenziale elettrico origina un flusso di carica

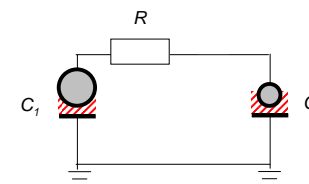
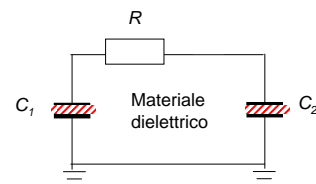
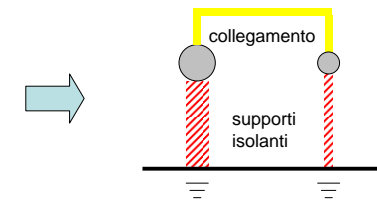


Nel corso del processo il potenziale elettrico tende ad equilibrarsi



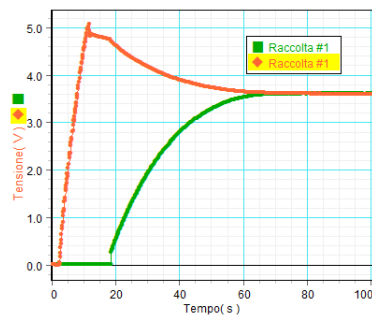
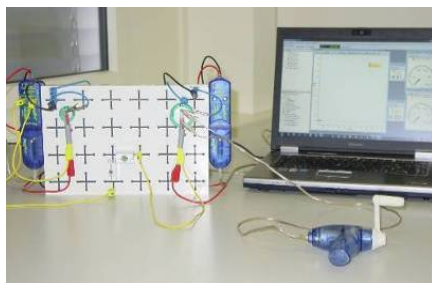
9

Elettricità A: durante il processo la differenza di potenziale elettrico scompare

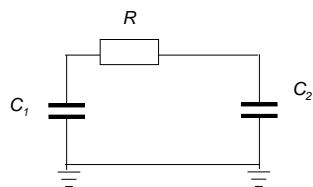


10

Elettricità A: durante il processo la differenza di potenziale elettrico scompare



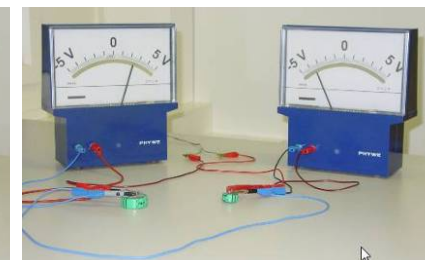
La differenza di potenziale elettrico origina un flusso di carica



Nel corso del processo il potenziale elettrico tende ad equilibrarsi

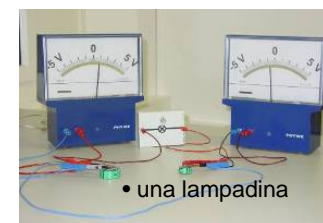
11

Elettricità B: la "pompa elettrica" genera una differenza di potenziale elettrico

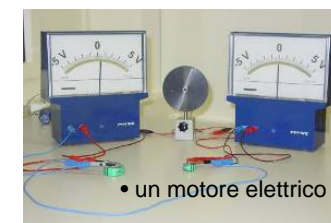


"Pompa elettrica" = generatore

La pompa trasferisce carica elettrica, generando una differenza di potenziale elettrico ... che può essere utilizzata per far funzionare ...



• una lampadina



• un motore elettrico

Meccanica A: durante il processo la differenza di velocità scompare



La differenza di velocità origina un flusso di quantità di moto

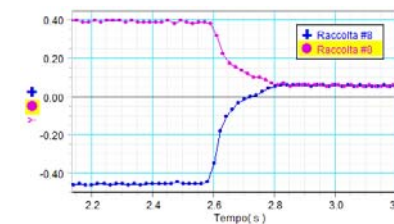


Nell'urto anelastico le due velocità tendono ad assumere il medesimo valore

Meccanica A: durante il processo la differenza di velocità scompare

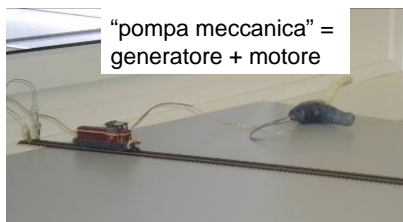


La differenza di velocità origina un flusso di quantità di moto

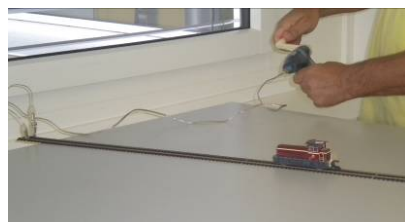


Nell'urto anelastico le due velocità tendono ad assumere il medesimo valore

Meccanica B: la "pompa meccanica" genera una differenza di velocità



"pompa meccanica" =
generatore + motore



Perché la locomotiva inizia a muoversi?

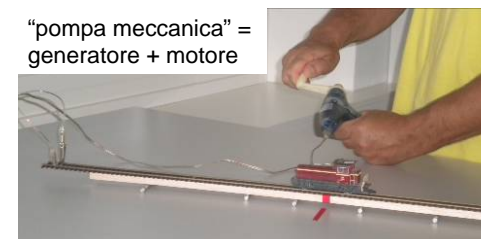
La pompa trasferisce una certa quantità di moto alla locomotiva, generando una differenza di velocità

Da dove viene la quantità di moto trasferita alla locomotiva?

Risposta:

Meccanica B: la "pompa meccanica" genera una differenza di velocità

Tra binario e tavolo sono inseriti degli "isolatori meccanici"



"pompa meccanica" =
generatore + motore

La pompa trasferisce una certa quantità di moto dal binario alla locomotiva, generando una differenza di velocità tra locomotiva e binario

B1) Locomotiva verso destra,
binario a sinistra



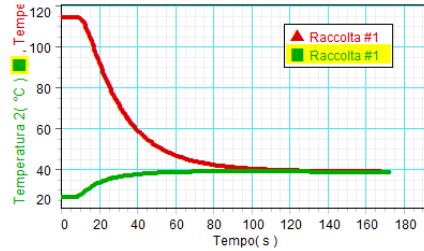
B1) Locomotiva verso sinistra,
binario a destra



Fenomeni termici A: durante il processo la differenza di temperatura scompare

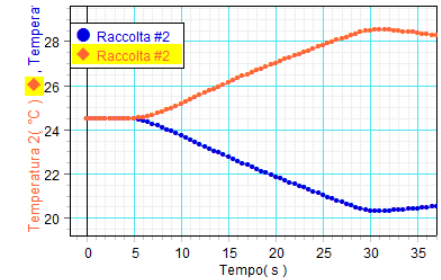
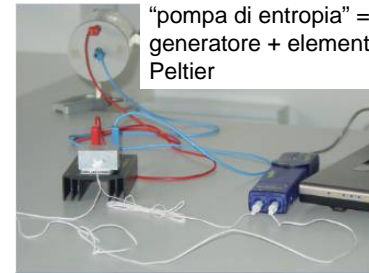


La differenza di temperatura genera un flusso di entropia



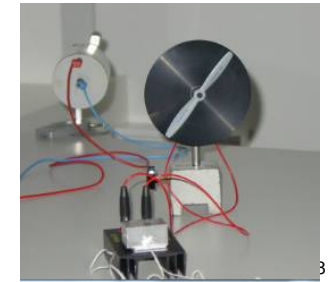
Nel corso del contatto termico la temperatura tende ad equilibrarsi

Fenomeni termici B: la "pompa termica" genera una differenza di temperatura



La pompa trasferisce entropia, generando una differenza di temperatura ...

... che può essere utilizzata ad esempio per generare una differenza di potenziale elettrico



Chimica A: durante il processo la differenza di potenziale chimico tende a ridursi



Cella a combustibile

La differenza di potenziale chimico costituisce la forza motrice per il processo

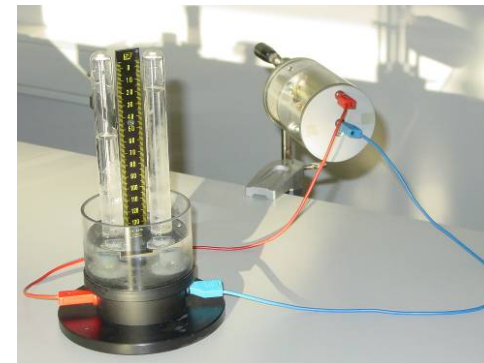
Nel corso del processo il potenziale chimico tende ad equilibrarsi (anche se questo dispositivo funziona in regime stazionario)

Chimica B: la "pompa chimica" genera una differenza di potenziale chimico

Con la pompa è possibile scomporre l'acqua in diossigeno e diidrogeno, creando così una differenza di potenziale

... che può essere utilizzata come forza motrice per una cella a combustibile

"Pompa chimica" = Generatore a manovella + cella elettrolitica

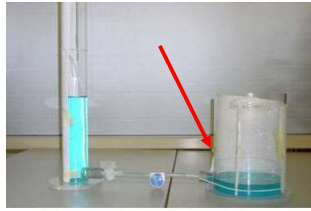


... o in alternativa cella solare + cella elettrolitica



2 – Il modello di riferimento

Che cosa succede quando il rubinetto **viene aperto**?

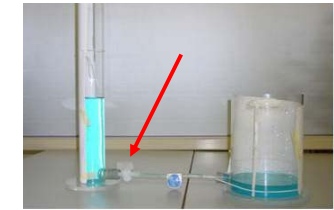


Semplice osservazione e risposta verbale (linguaggio comune):

vi è un trasferimento di acqua dal vaso piccolo a quello grande fino a quando l'acqua nei due vasi arriverà alla stessa altezza.

21

Che cosa succede quando il rubinetto **viene aperto**?



Strumenti:

- introduzione di grandezze fisiche opportune;
- determinazione sperimentale;
- gestione delle relazioni quantitative.

Obiettivo:

- graduale affinamento della risposta verbale (linguaggio comune → linguaggio scientifico):
- *descrizione qualitativa e quantitativa di ciò che viene osservato;*
 - *elaborazione di un modello che abbia carattere predittivo.*

22

Modello per il fluido “acqua” (I)

Volume d'acqua come **grandezza primaria**, caratterizzata dalle seguenti proprietà:

- può essere immagazzinata;
- può fluire da un recipiente ad un altro;
- è soggetta ad una legge di bilancio;
- è una grandezza conservata.

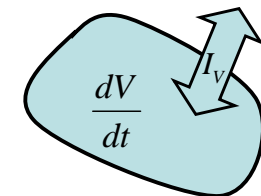
23

Acqua → volume d'acqua V
tasso istantaneo di variazione $\frac{dV}{dt} \equiv \dot{V}$
variazione del volume d'acqua ΔV
intensità del flusso I_V
quantità totale trasferita (scambiata) V_{sc}

L'equazione di bilancio

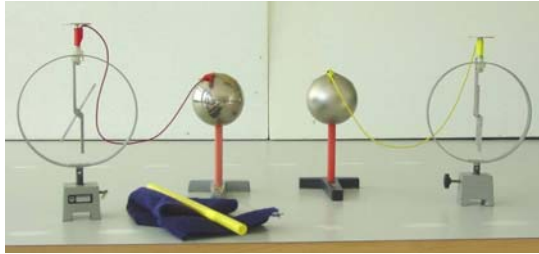
Forma istantanea $\frac{dV}{dt} \equiv \dot{V} = I_{V,tot}$

Forma integrata $\Delta V = V_{sc}$



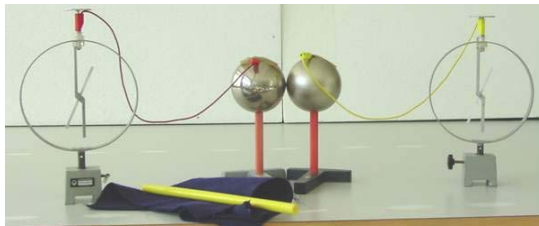
24

Fenomeni elettrici



Carica elettrica
Potenziale elettrico

Contatto:
vi è trasferimento di **carica elettrica** da un oggetto all'altro fintanto che vi è una **differenza di potenziale elettrico**.



25

Fenomeni meccanici



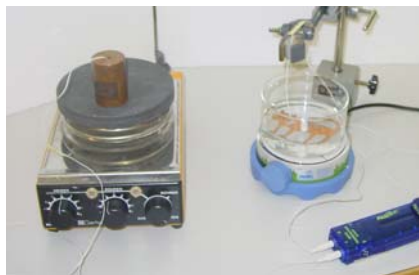
Quantità di moto
Velocità



Urto anelastico:
vi è trasferimento di **quantità di moto** da un carrello all'altro fintanto che vi è una **differenza di velocità**.

26

Fenomeni termici



Entropia
Temperatura

Contatto termico:
vi è trasferimento di **entropia** da un oggetto all'altro fintanto che vi è una **differenza di temperatura**.



27

Fenomeni chimici



Quantità chimica
Potenziale chimico



Processo chimico:
vi è trasferimento di **quantità chimica** da una fase (ossia: dalle sostanze reagenti) all'altra (ossia: alle sostanze prodotte) fintanto che vi è una **differenza di potenziale chimico**.

28

Proprietà generali:

Grandezze estensive (con le relative correnti) possono essere immagazzinate; possono fluire da un corpo ad un altro; sono soggette ad una legge di bilancio.

Grandezze intensive

le cui **differenze** hanno il ruolo di “spinta”, di “forza motrice”.

Osservazione:

aspetti quantitativi dei fenomeni osservati: occorre introdurre anche i concetti di *resistenza* e di *capacità*.

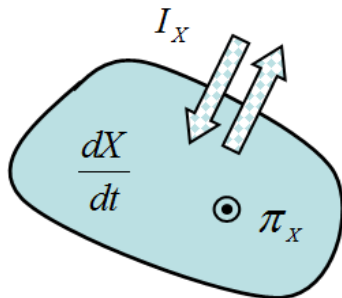
29

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	$\Delta\varphi$
Meccanica (traslazioni)	Quantità di moto p_x	conservata	Corrente meccanica (traslazioni) I_{p_x} (o forza F)	Velocità v_x	Δv_x
Meccanica (rotazioni)	Quantità di moto angolare L_x	conservata	Corrente meccanica (rotazioni) I_{L_x}	Velocità angolare ω_x	$\Delta\omega_x$
Termologia	Entropia S	non conservata	Corrente d'entropia I_S	Temperatura assoluta T	ΔT
Chimica	Quantità di sostanza n	non conservata	Corrente chimica I_n	Potenziale chimico μ	$\Delta\mu$

3 - L'equazione di bilancio

Per ogni **grandezza estensiva** è possibile scrivere una *relazione di bilancio (istantaneo)*

$$\frac{dX(t)}{dt} = I_X(t) + \pi_X(t)$$



X : misura della grandezza
 I_X : misura dell'intensità di corrente

π_X : misura del tasso di produzione/distruzione

31

Equazione di bilancio

idraulica $dV/dt = I_V$

elettricità $dQ/dt = I_Q$

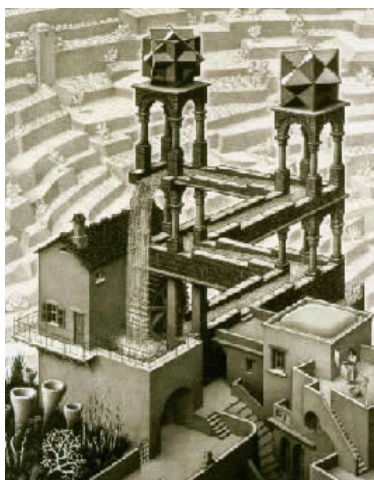
meccanica $dp/dt = F$

termologia $dS/dt = I_S + \pi_S$

chimica $dn/dt = I_n + \pi_n$

32

4 - Il ruolo dell'energia



Che cosa c'è che non va?

33

Un modello per l'energia

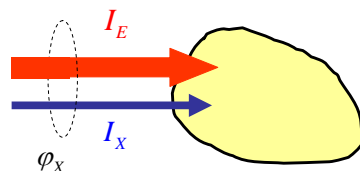
L'energia è una grandezza fisica che può essere caratterizzata dalle seguenti proprietà:

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

34

Nei trasporti

$$I_E = I_X \cdot \varphi_X$$



Fenomeni idraulici al flusso I_V della grandezza *volume d'acqua* è associato un flusso I_E di *energia*;

Fenomeni elettrici al flusso I_Q della grandezza *carica elettrica* è associato un flusso I_E di *energia*;

Fenomeni termici al flusso I_S della grandezza *entropia* è associato un flusso I_E di *energia*;

Fenomeni meccanici al flusso I_p della grandezza *quantità di moto* è associato un flusso I_E di *energia*.

35

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:

$$\mathcal{P} = I_X \cdot \Delta\varphi_X$$

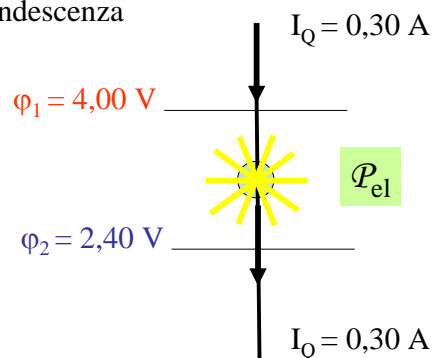
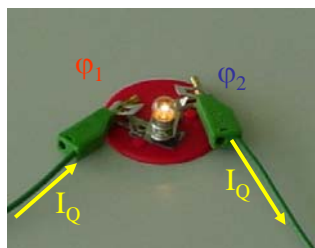
Come si ricava questa relazione?

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

36

Flusso di energia associato a un dato flusso di carica elettrica

Esempio: lampadina ad incandescenza



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

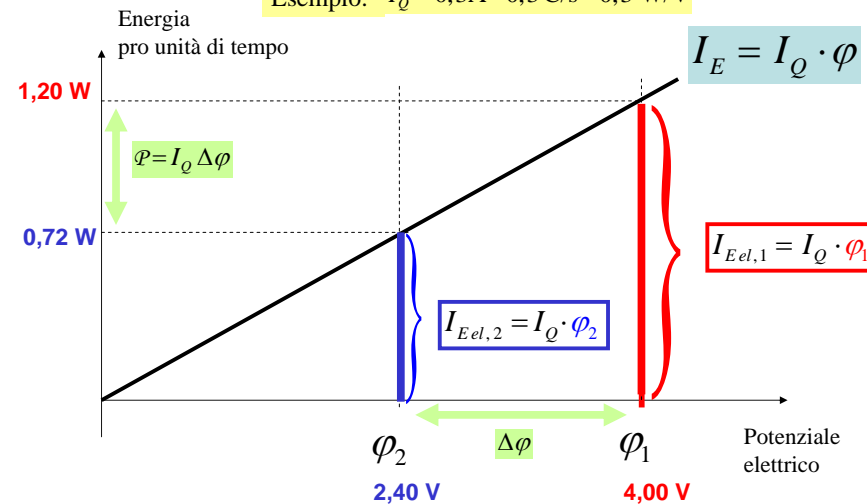
$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 4,00 \text{ V} - 2,40 \text{ V} = 1,60 \text{ V}$$

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

37

Flusso di energia associato a un dato flusso di carica elettrica

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

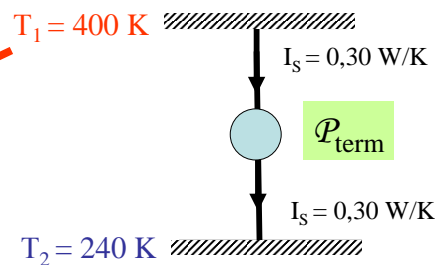
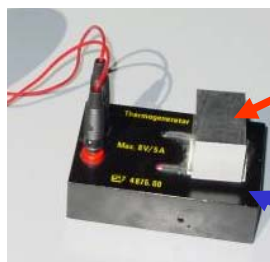


$$\mathcal{P}_{el} = I_Q \Delta\varphi = 0,3 \text{ W/V} \cdot 1,60 \text{ V} = 0,48 \text{ W}$$

38

Flusso di energia associato a un dato flusso di entropia

Esempio: macchina termica reversibile



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

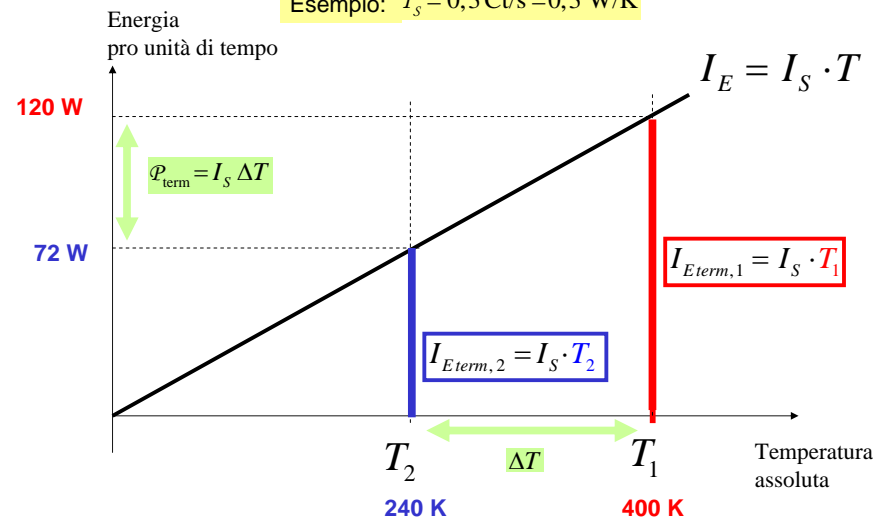
$$\Delta T = T_1 - T_2 = 400 \text{ K} - 240 \text{ K} = 160 \text{ K}$$

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

39

Flusso di energia associato a un dato flusso di entropia

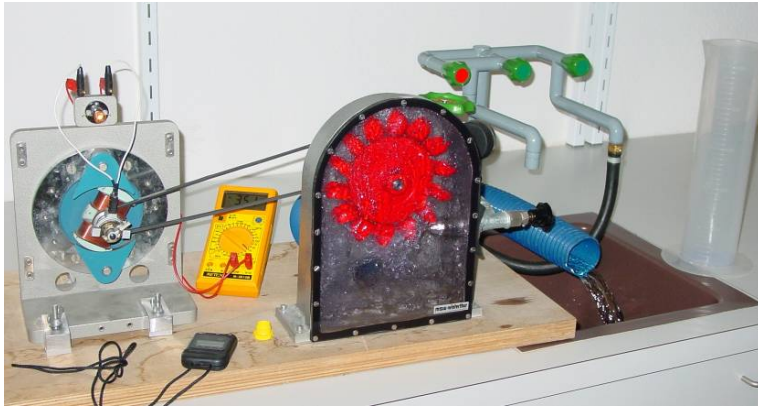
Esempio: $I_S = 0,3 \text{ Ct/s} = 0,3 \text{ W/K}$



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

40

Esempio 1: la potenza idraulica



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



41

Turbina idraulica: risultati sperimentali

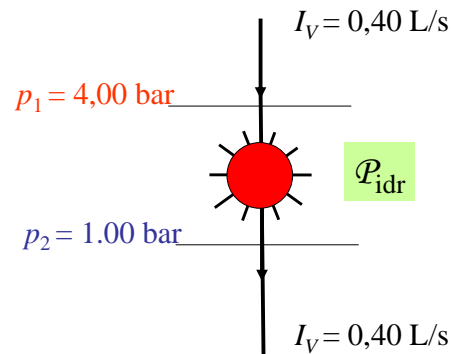
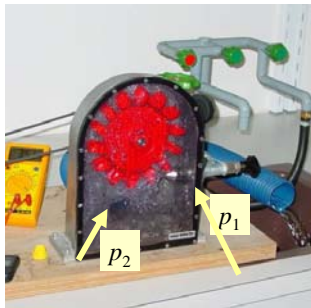
differenza di pressione (bar)	tempo di raccolta (s)	quantità di acqua (litri)	intensità corrente (litri/s)	$I \cdot \Delta P$ (potenza) (u.a)
0.66	9.6	2.40	0.25	0.17
0.72	7.4	1.60	0.22	0.16
0.82	7.8	1.40	0.18	0.15
0.92	8.0	1.43	0.18	0.17
1.20	10.9	1.73	0.16	0.19
1.22	14.4	2.15	0.15	0.18



42

Flusso di energia associato a un dato flusso di volume d'acqua

Esempio: turbina ad acqua



$$I_v = 0,4 \text{ L/s} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ W/Pa}$$

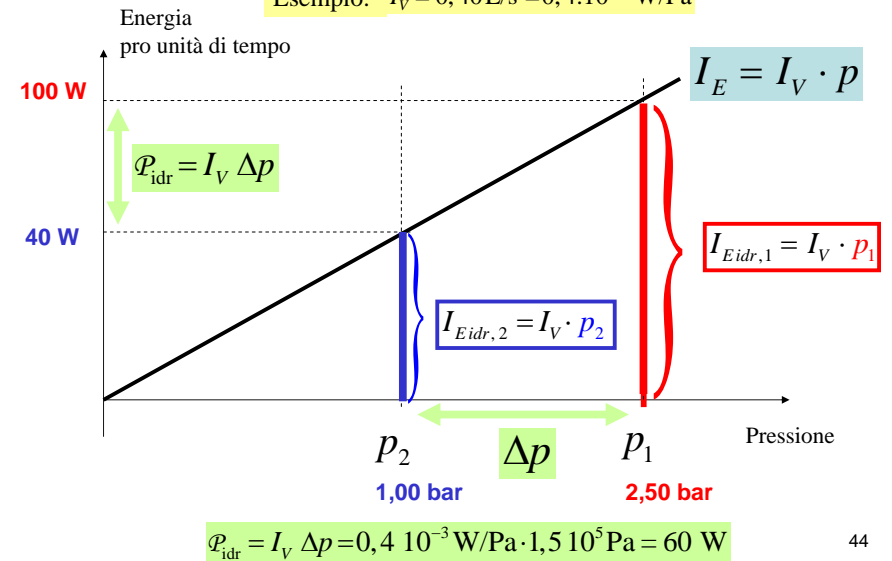
$$\Delta p = p_1 - p_2 = 2,50 \text{ bar} - 1,00 \text{ bar} = 1,50 \text{ bar}$$

$$P_{el} = I_v \Delta p = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ W/Pa} \cdot 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 60 \text{ W}$$

43

Flusso di energia associato a un dato flusso di volume d'acqua

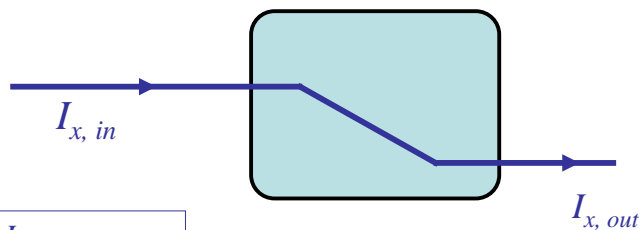
Esempio: $I_v = 0,40 \text{ L/s} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ W/Pa}$



44

Rappresentazione grafica del modello

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



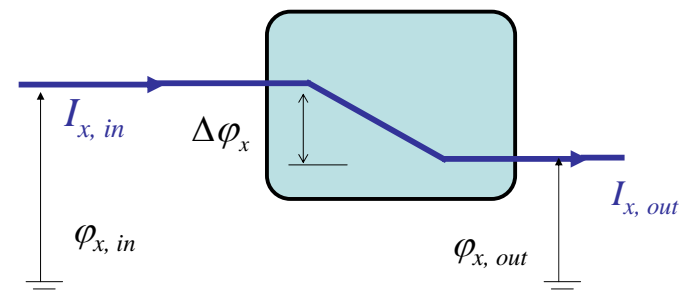
Corrente I_x associata alla grandezza estensiva X che supponiamo essere conservata

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

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

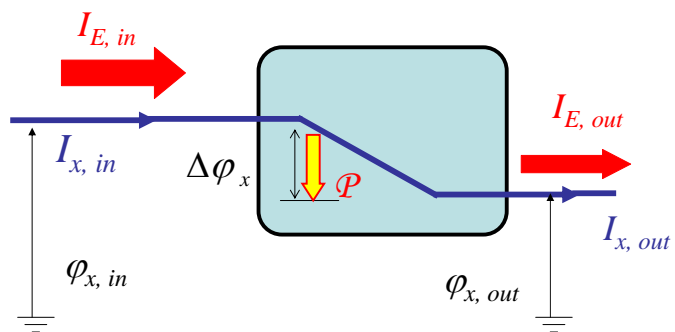
45

Potenziali:



46

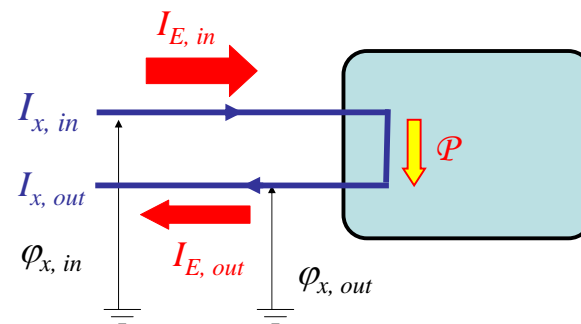
Aspetti energetici (1)



Bilancio per l'energia: $\mathcal{P} = I_{\mathcal{E},in} - |I_{\mathcal{E},out}|$

47

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



Bilancio per l'energia: $\mathcal{P} = I_{\mathcal{E},in} - |I_{\mathcal{E},out}|$

48

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

Esempio: motore elettrico (considerato ideale):



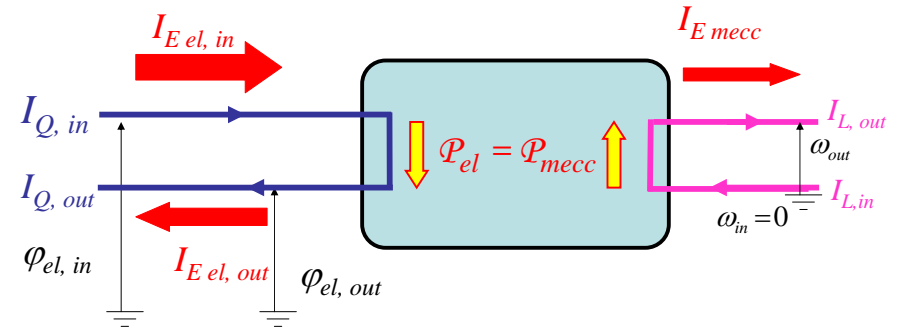
questo dispositivo riesce a trasferire
una certa quantità di energia per
unità di tempo dal portatore elettrico
(*carica elettrica*) a quello meccanico
(*momento angolare*).

Nel caso ideale si ha:

$$\mathcal{P}_{el} = \mathcal{P}_{mecc}$$

49

Esempio: motore elettrico (ideale)



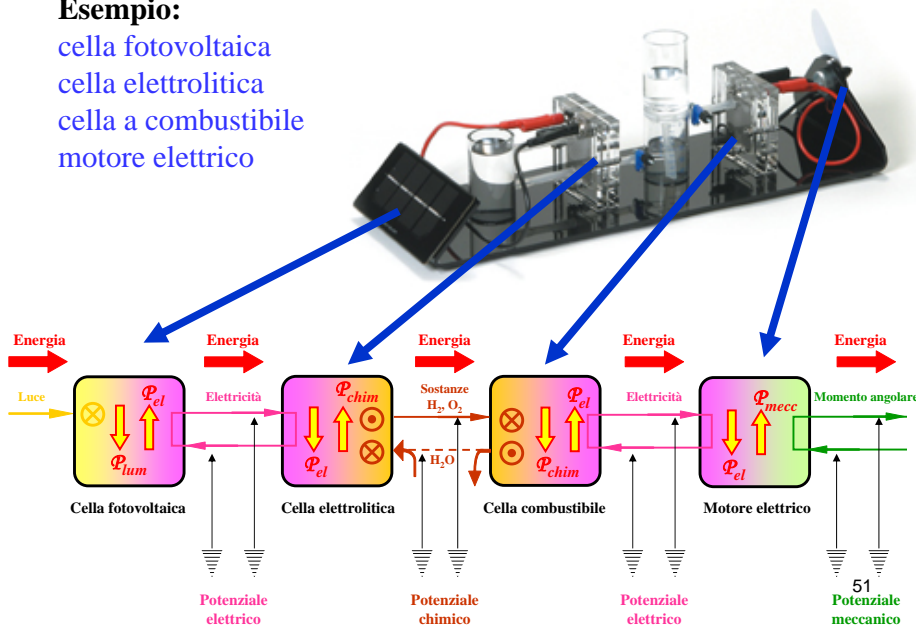
Bilancio per l’energia:

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

50

Esempio:

cella fotovoltaica
cella elettrolitica
cella a combustibile
motore elettrico



Indicazioni bibliografiche

- F. Herrmann, *Le KPK – un cours de physique basé sur des analogies*, BUP, 870, 2005;
- F. Herrmann, *The Karlsruhe Physics Course*, Eur. J. Phys, 21, 2000;
- H.U. Fuchs, *From images schema to dynamical models in fluids, electricity, heat, and motion*, ZHAW 2007;
- M. D’Anna, *Nuove correnti nell’insegnamento della fisica*, Atti XLIV Congresso AIF 2005.
- Herrmann et al: *Problems in the Teaching of Energy - Historical Burden of Physics*, Proceedings GIREP Conference 2006, Amsterdam;
- M. D’Anna, U. Kocher, P. Lubini, S. Sciarini, *L’equazione di bilancio per l’energia e l’entropia*, LFNs, 4 2005;
- H. U. Fuchs, *The Dynamics of Heat – A unified approach to thermodynamics and heat transfer*, Springer, New York, 2010;
- J. Ferbar *Irresistibility of irreversibility*, Proceedings of the 1996 GIREP Conference in Ljubljana *New ways of teaching physics*, p. 151.

I filmati delle esperienze sono scaricabili da:

http://www.youtube.com/view_play_list?p=9B638811E36695C4

52