

Il Karlsruher Physikkurs:
uno strumento per il rinnovamento
dell'insegnamento delle scienze

Michele D'Anna – ASP Locarno
danna@liceolocarno.ch

Bellinzona, 27 agosto 2004

I^a parte:

la struttura concettuale:

grandezze estensive e grandezze intensive

II^a parte: il ruolo dell'energia:

aspetti didattici e sperimentali

III^a parte: un caso esemplare:

termodinamica - entropia sin dall'inizio!

Note finali e bibliografia

Il *Karlsruher Physikkurs*:
uno strumento per il rinnovamento dell'insegnamento delle scienze

I^a parte

La struttura concettuale: grandezze estensive e grandezze intensive

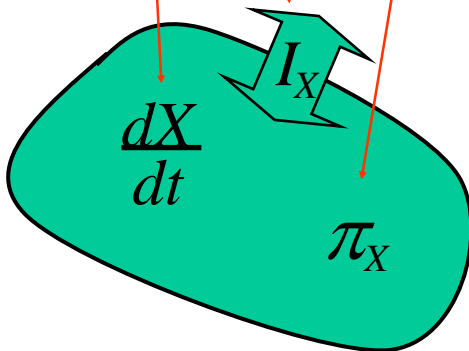
Bellinzona, 27 agosto 2004

Per ogni grandezza estensiva è possibile scrivere una relazione di bilancio della forma:

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \pi_X$$

Equazione di bilancio

X : misura della grandezza
 I_X : misura dell'intensità di
corrente
 π_X : misura del tasso di
produzione/distruzione



Equazione di bilancio Trasferimenti di energia

elettricità $dQ/dt = I_Q$

$$I_E = \varphi \cdot I_Q$$

meccanica $dp/dt = F$

$$I_E = v \cdot F$$

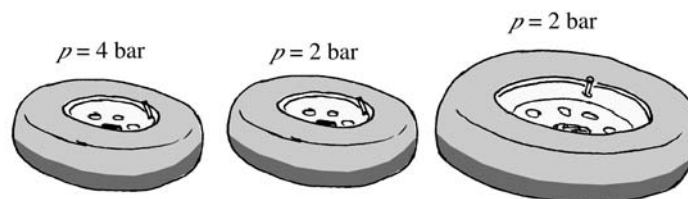
termologia $dS/dt = I_S + \pi_S$

$$I_E = T \cdot I_S$$

chimica $dn/dt = I_n + \pi_n$

$$I_E = \mu \cdot I_n$$

“L’energia non fluisce mai da sola!”



Lo pneumatico contiene tanta più aria
– quanto più esso è grande;
– quanto più la sua pressione è alta.

$\rho = 4 \text{ bar}$ $\rho = 2 \text{ bar}$ $\rho = 2 \text{ bar}$

$\varphi = 12 \text{ kV}$ $\varphi = 6 \text{ kV}$ $\varphi = 6 \text{ kV}$

Un corpo contiene tanta più carica elettrica
 – quanto più esso è grande;
 – quanto più il suo potenziale elettrico è alto.

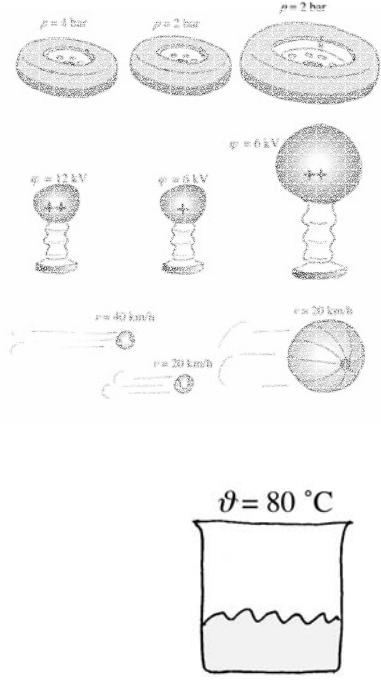
$\rho = 4 \text{ bar}$ $\rho = 2 \text{ bar}$ $\rho = 2 \text{ bar}$

$\varphi = 12 \text{ kV}$ $\varphi = 6 \text{ kV}$ $\varphi = 6 \text{ kV}$

Un corpo contiene tanta più
 quantità di moto
 – quanto più la sua massa
 è grande;
 – quanto più la sua velocità
 è alta.

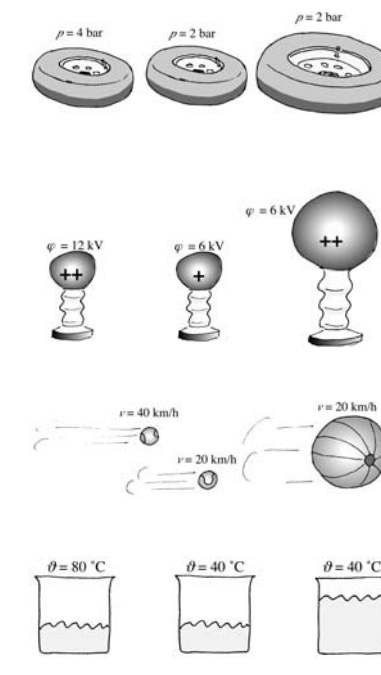
$\nu = 40 \text{ km/h}$ $\nu = 20 \text{ km/h}$

$\nu = 20 \text{ km/h}$



Un corpo contiene tanta più entropia

- quanto più esso è grande;
- quanto più la sua temperatura è alta.



Lo pneumatico contiene tanta più aria

- quanto più esso è grande;
- quanto più la sua pressione è alta.

Un corpo contiene tanta più carica elettrica

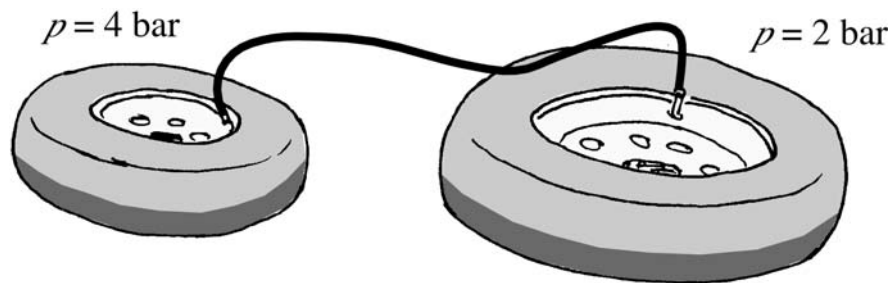
- quanto più esso è grande;
- quanto più il suo potenziale elettrico è alto.

Un corpo contiene tanta più quantità di moto

- quanto più la sua massa è grande;
- quanto più la sua velocità è alta.

Un corpo contiene tanta più entropia

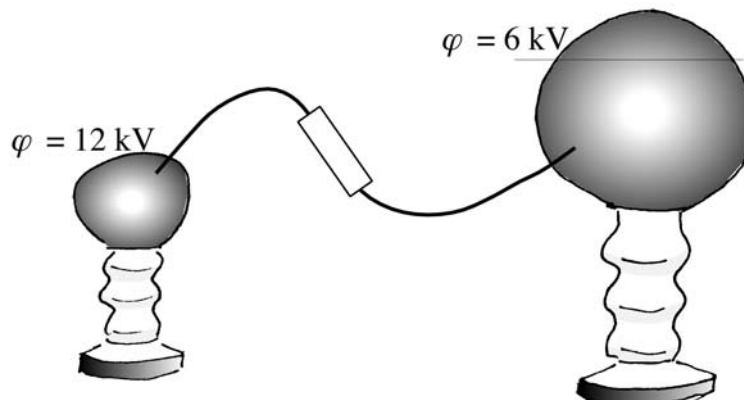
- quanto più esso è grande;
- quanto più la sua temperatura è alta.

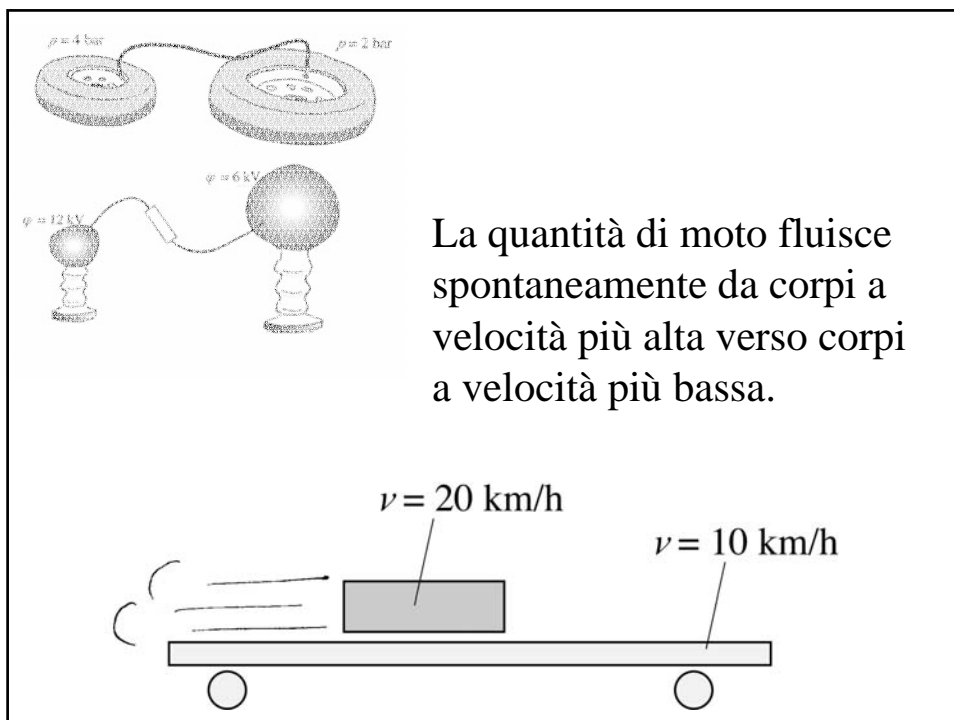


L'aria fluisce spontaneamente da punti a pressione più alta verso punti a pressione più bassa.

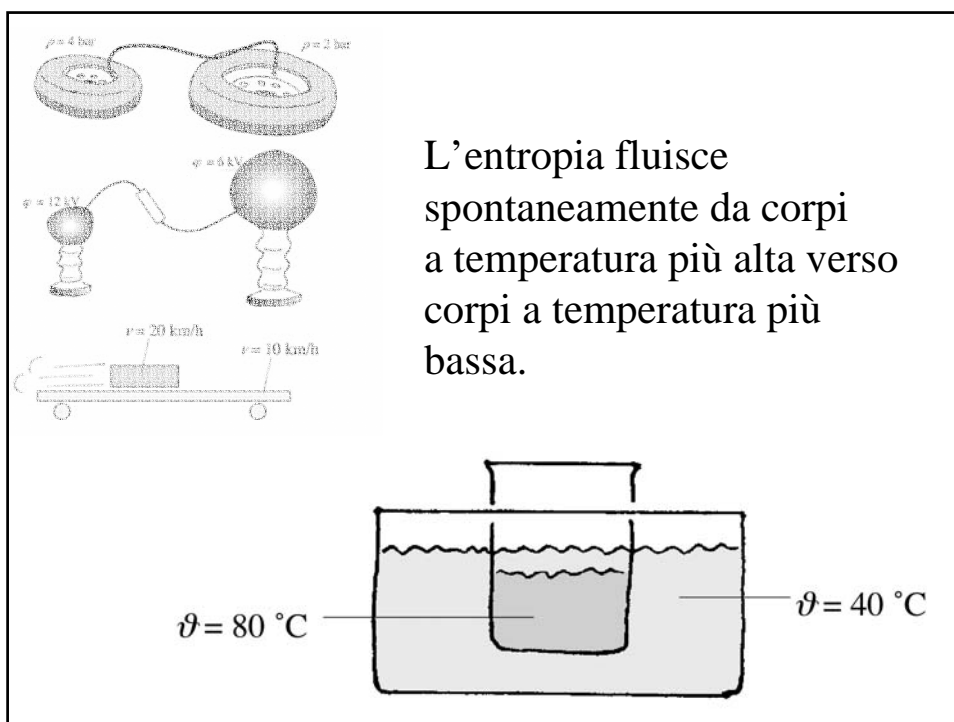


La carica elettrica fluisce spontaneamente da punti a potenziale più alto verso punti a potenziale più basso.





La quantità di moto fluisce spontaneamente da corpi a velocità più alta verso corpi a velocità più bassa.



L'entropia fluisce spontaneamente da corpi a temperatura più alta verso corpi a temperatura più bassa.

$p = 4 \text{ bar}$ $p = 2 \text{ bar}$

L'aria fluisce spontaneamente da punti a pressione più alta verso punti a pressione più bassa.

$\varphi = 12 \text{ kV}$ $\varphi = 6 \text{ kV}$

La carica elettrica fluisce spontaneamente da punti a potenziale più alto verso punti a potenziale più basso.

$v = 20 \text{ km/h}$ $v = 10 \text{ km/h}$

La quantità di moto fluisce spontaneamente da corpi a velocità più alta verso corpi a velocità più bassa.

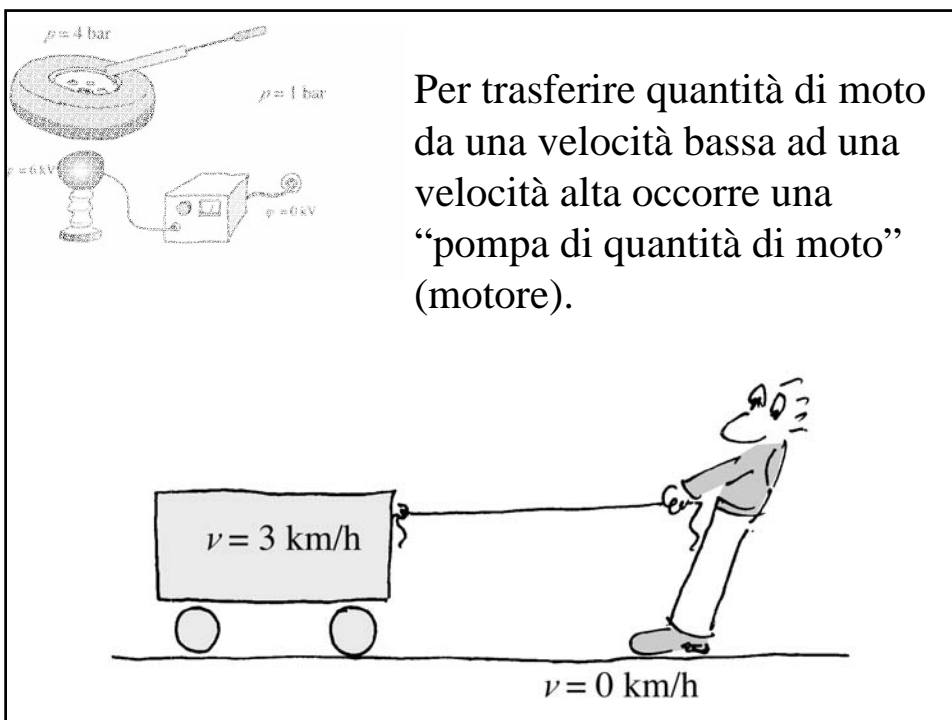
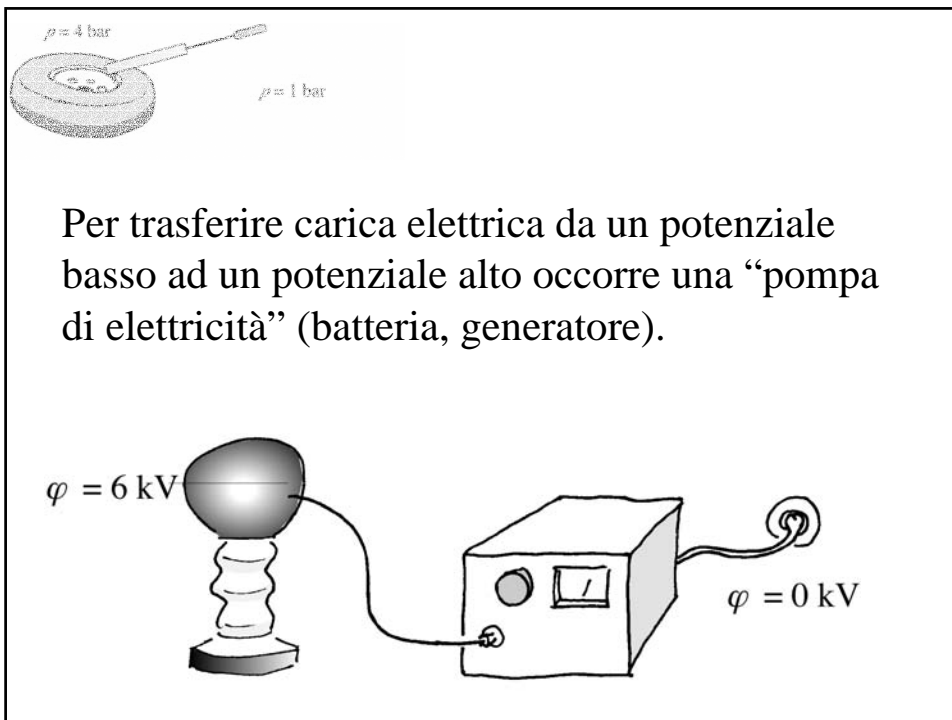
$\theta = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ $\theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

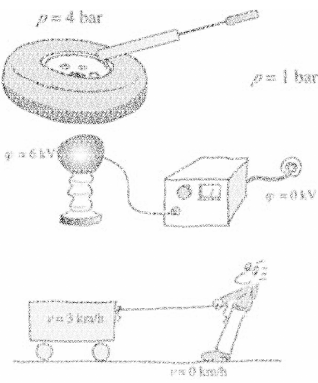
L'entropia fluisce spontaneamente da corpi a temperatura più alta verso corpi a temperatura più bassa.

$p = 4 \text{ bar}$

$p = 1 \text{ bar}$

Per trasferire aria da una pressione bassa ad una pressione alta occorre una “pompa d’aria”.





$p = 4 \text{ bar}$

$p = 1 \text{ bar}$

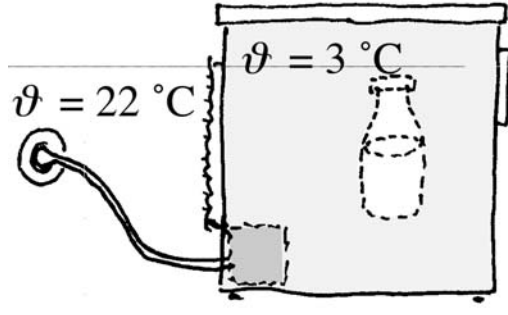
$\varphi = 6 \text{ kV}$

$\varphi = 0 \text{ kV}$

$v = 3 \text{ km/h}$

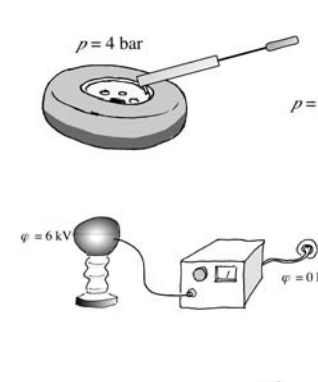
$v = 0 \text{ km/h}$

Per trasferire entropia da una temperatura bassa ad una temperatura alta occorre una “pompa di entropia” (pompa di calore).



$\vartheta = 3^\circ\text{C}$

$\vartheta = 22^\circ\text{C}$



$p = 4 \text{ bar}$

$p = 1 \text{ bar}$

$\varphi = 6 \text{ kV}$

$\varphi = 0 \text{ kV}$

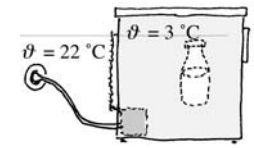
$v = 3 \text{ km/h}$

$v = 0 \text{ km/h}$

Per trasferire aria da una pressione bassa ad una pressione alta occorre una “pompa d’aria”.

Per trasferire carica elettrica da un potenziale basso ad un potenziale alto occorre una “pompa di elettricità” (batteria, generatore).

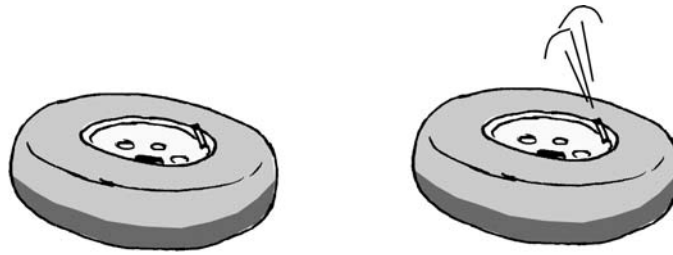
Per trasferire quantità di moto da una velocità bassa ad una velocità alta occorre una “pompa di quantità di moto” (motore).



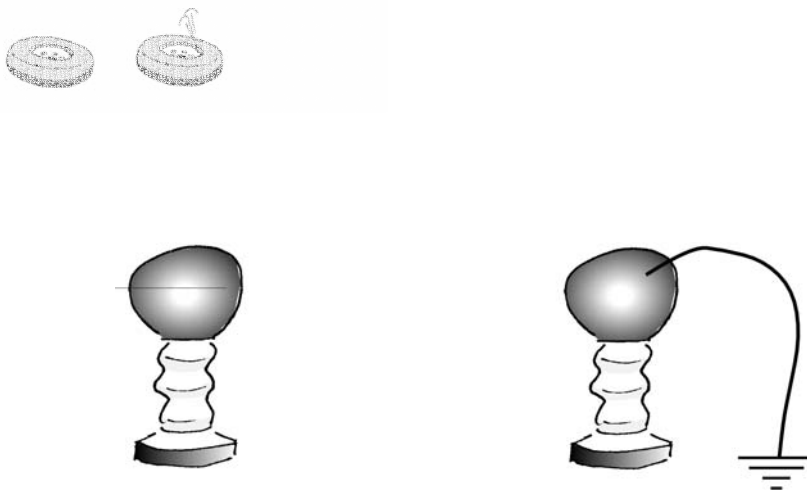
$\vartheta = 22^\circ\text{C}$

$\vartheta = 3^\circ\text{C}$

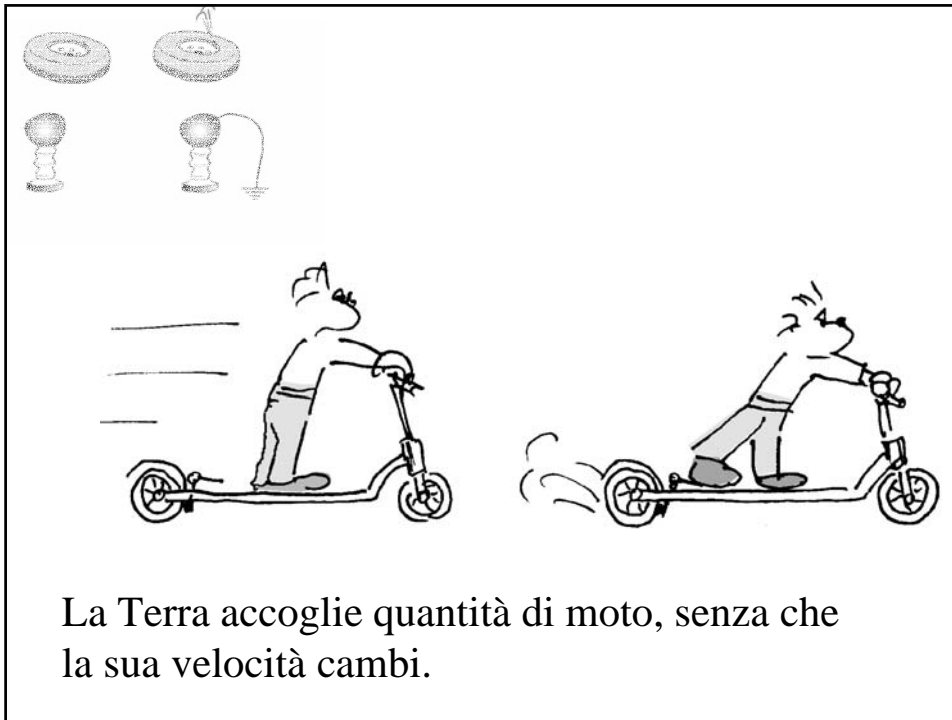
Per trasferire entropia da una temperatura bassa ad una temperatura alta occorre una “pompa di entropia” (pompa di calore).



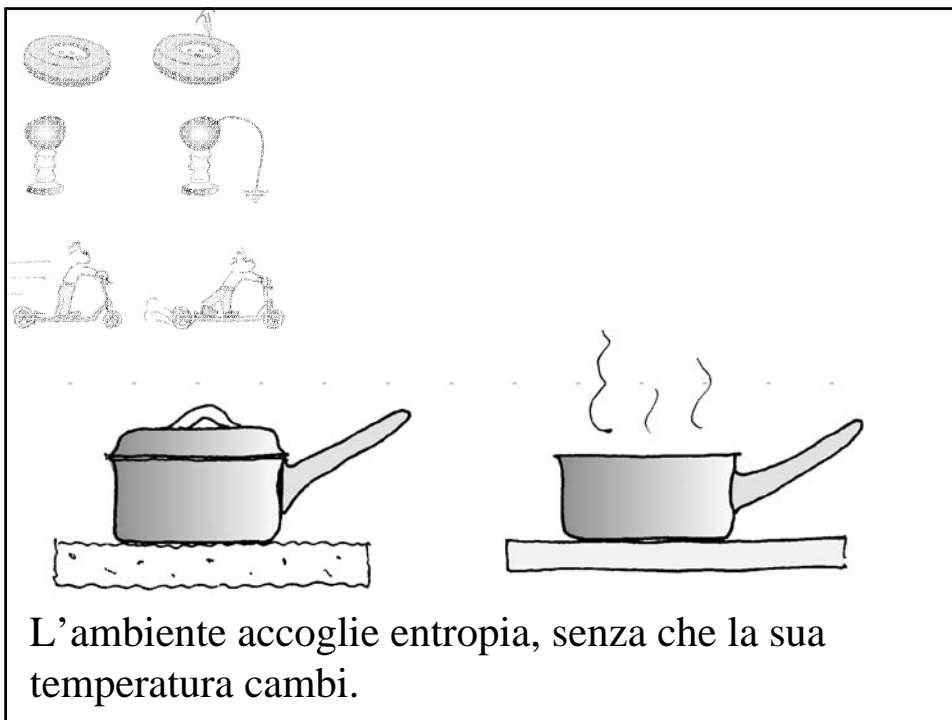
L'atmosfera accoglie aria, senza che la sua pressione cambi.



La Terra accoglie carica elettrica, senza che il suo potenziale cambi.



La Terra accoglie quantità di moto, senza che la sua velocità cambi.



L'ambiente accoglie entropia, senza che la sua temperatura cambi.

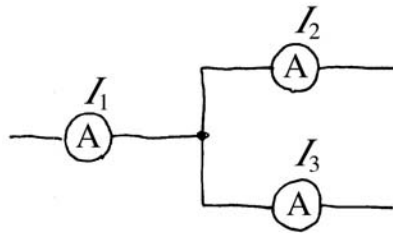
	<p>L'atmosfera accoglie aria, senza che la sua pressione cambi.</p>
	<p>La Terra accoglie carica elettrica, senza che il suo potenziale cambi.</p>
	<p>La Terra accoglie quantità di moto, senza che la sua velocità cambi.</p>
	<p>L'ambiente accoglie entropia, senza che la sua temperatura cambi.</p>

$$I_1 = I_2 + I_3$$

L'intensità totale delle correnti che fluiscono verso un nodo è uguale all'intensità totale delle correnti che escono dal nodo.



$$I_1 = I_2 + I_3$$



$$I_1 = I_2 + I_3$$

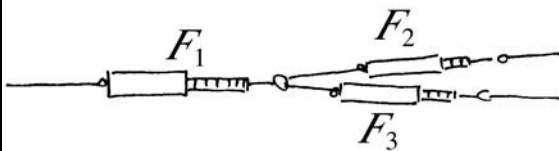
L'intensità totale delle correnti che fluiscono verso un nodo è uguale all'intensità totale delle correnti che escono dal nodo.



$$I_1 = I_2 + I_3$$




$$I_1 = I_2 + I_3$$




$$F_1 = F_2 + F_3$$


L'intensità totale delle correnti che fluiscono verso un nodo è uguale all'intensità totale delle correnti che escono dal nodo.



$I_1 = I_2 + I_3$

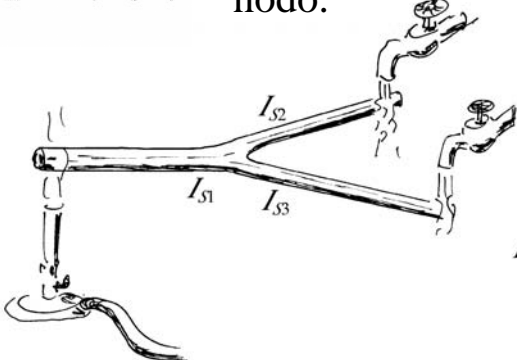


$I_1 = I_2 + I_3$




$F_1 = F_2 + F_3$

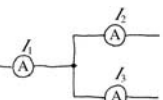
L'intensità totale delle correnti che fluiscono verso un nodo è uguale all'intensità totale delle correnti che escono dal nodo.




$I_{S1} = I_{S2} + I_{S3}$



$I_1 = I_2 + I_3$

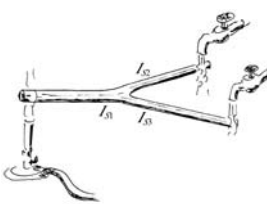


$I_1 = I_2 + I_3$



$F_1 = F_2 + F_3$

L'intensità totale delle correnti che fluiscono verso un nodo è uguale all'intensità totale delle correnti che escono dal nodo.



$I_{S1} = I_{S2} + I_{S3}$

L'intensità totale delle correnti che fluiscono verso un nodo è uguale all'intensità totale delle correnti che escono dal nodo.

Il Karlsruher Physikkurs:
uno strumento per il rinnovamento dell'insegnamento delle scienze

II^a parte

Il ruolo dell'energia: aspetti didattici e sperimentali

Bellinzona, 27 agosto 2004

Punto di partenza: il percorso delle esperienze
qualitative **MOVIMENTO ED ENERGIA**

sottolinea l'approccio sperimentale, dando un
carattere euristico all'attività di laboratorio (la
formalizzazione viene poi sviluppata in classe)

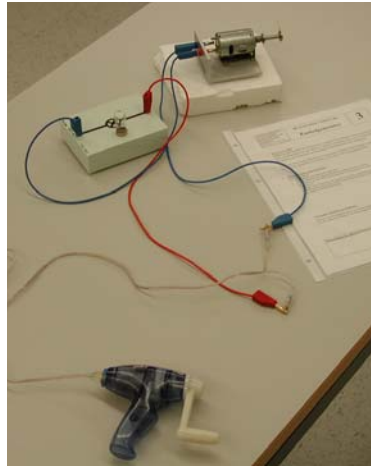
con l'obiettivo di

- confrontare gli studenti sin dall'inizio con una pluralità di ambiti e di situazioni
- far emergere sia l'esigenza di descrivere le particolarità dei singoli campi sia la necessità di una "grandezza trasversale" (riconoscere l'energia come organizzatore cognitivo)

ESPERIENZE
QUALITATIVE
MOVIMENTO E
ENERGIA

Generatore a manovella

3



Che cosa fare?

Aziona il generatore a manovella dopo averlo collegato con il piccolo motore e la lampadina: cosa succede?

Varia la velocità di rotazione e osserva cosa capita

Stacca gli elementi collegati e fa girare la manovella allo stesso ritmo di prima: cosa osservi?

Che cosa annotare?

- schema dell'apparecchiatura;
- una descrizione a parole di quello che hai osservato;
- le grandezze che permettono di descrivere il fenomeno e quelle che influenzano il suo andamento;
- analogie o aspetti complementari riscontrati in altre esperienze (ev. riconsidera l'esperienza anche dopo aver visto le successive! - riporta le tue nuove annotazioni in un colore diverso)



IL RUOLO DELL'ENERGIA E DELLA SUA CONSERVAZIONE

PERCORSO ESPERIENZE
QUALITATIVE:
per **interpretare** le relazioni tra i
vari fenomeni come **processi e**
trasformazioni ...



IPOTESI DI LAVORO
Esiste una grandezza
(conservata?) che ci
permette di collegare i vari
aspetti sperimentali
osservati:
la indichiamo con il nome
di **ENERGIA**



Nei diversi campi
occorre riconoscere:

- **la grandezza**
estensiva

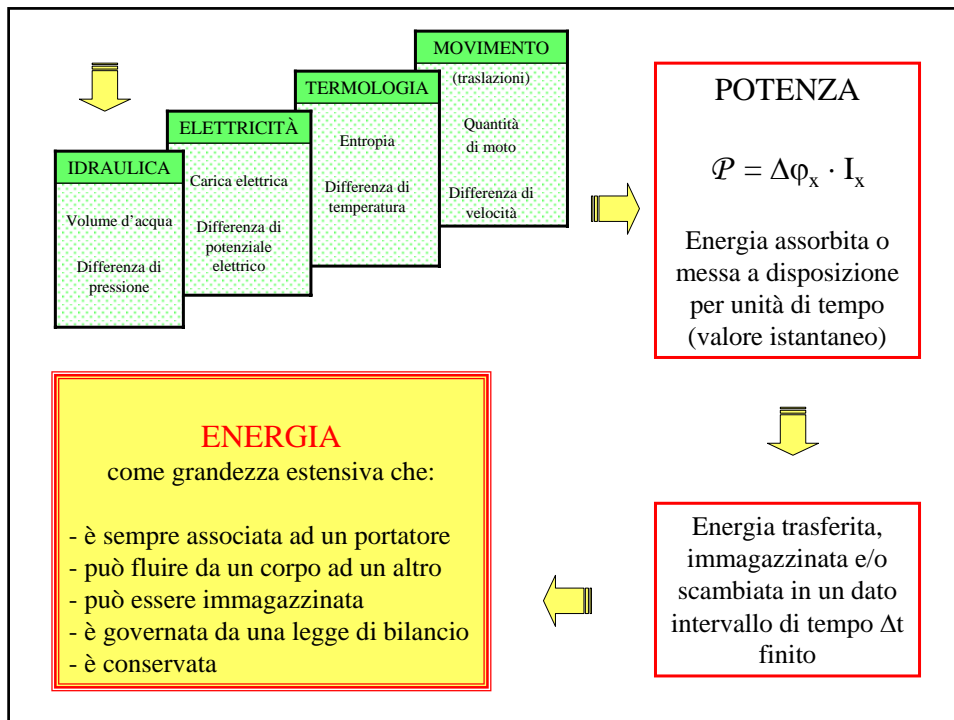
interpretabile come
portatore dell'energia

- **la grandezza**
intensiva

interpretabile come
potenziale



Definizioni operative
Relazioni quantitative



Uno sguardo d'assieme nei vari campi:

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	Quantità di moto p_x	Velocità v_x	Corrente meccanica I_{p_x} (o forza F)	$I_E = I_{p_x} \cdot v_x$	$\mathcal{P} = I_{p_x} \cdot \Delta v_x$
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 di sostanza n	Potenziale chimico μ	Corrente chimica (o di quantità di sostanza) I_n	$I_E = I_n \cdot \mu$	$\mathcal{P} = I_n \cdot \Delta\mu$

Come costruire l'espressione per la potenza?

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

Esempi:

- 1) turbina idraulica
- 2) riscaldatore a immersione

1) Turbina idraulica: l'apparecchiatura




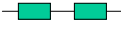

Turbina idraulica: risultati sperimentali

differenza di pressione (bar)	tempo di raccolta (s)	quantità di acqua (litri)	intensità corrente (litri/s)	I . ΔP (potenza) (W)
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)	$I_Q \cdot \Delta\varphi_{AB}$ (W)	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

Il *Karlsruher Physikkurs*:
uno strumento per il rinnovamento dell'insegnamento delle scienze

III^a parte

Termodinamica : entropia sin dall'inizio!

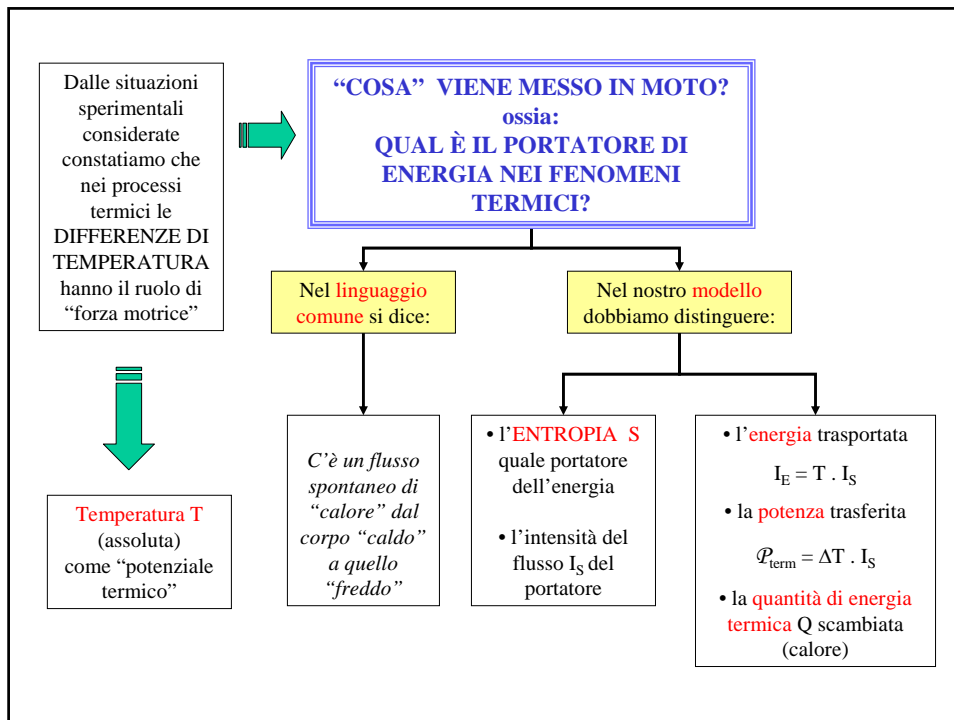
Bellinzona, 27 agosto 2004

Fenomeni termici: aspetti generali

Ruolo della differenza di temperatura

Cosa viene messo in moto? Ossia: qual è il
portatore dell'energia nei fenomeni termici?

A proposito di "CALORE" : distinzione tra
il **linguaggio comune** (una sola parola:
calore) e il **nostro modello** (due concetti
distinti: energia e portatore dell'energia)



La conduzione termica



Un'estremità di una sbarra di rame viene mantenuta "calda" con l'aiuto di un asciugacapelli; l'altra estremità è messa in contatto con un termogeneratore. Quest'ultimo alimenta un piccolo motore elettrico che è in grado di mantenere in rotazione l'elica. Che cosa possiamo concludere?

Lungo la sbarra di rame viene trasportata energia:

conduzione termica

differenza di temperatura tra i due estremi della sbarra

“spinta” al trasferimento dell’energia.

La conduzione termica è un processo irreversibile:

il flusso di energia è sempre diretto dal corpo caldo a quello freddo e avviene **spontaneamente**.

Anche nel caso termico il trasporto di energia avviene grazie al trasporto di un’altra grandezza, che possiamo designare come **portatore d’energia**: parliamo di **entropia** (simbolo S).

L'entropia può essere prodotta ma mai venir distrutta (annichilata).

Proprietà fondamentale:

entropia totale costante: **processo reversibile**

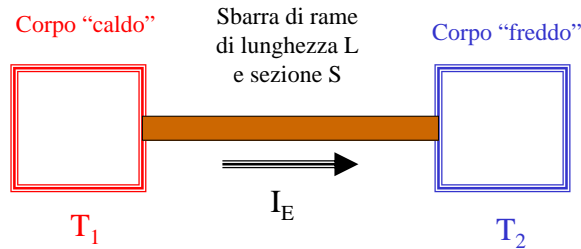
produzione di entropia: **processo irreversibile**

La **conduzione termica** è sempre accompagnata da una **produzione di entropia**

ed è quindi un processo irreversibile.

Possiamo convincerci di ciò se analizziamo più in dettaglio la conduzione termica attraverso la sbarra di rame:

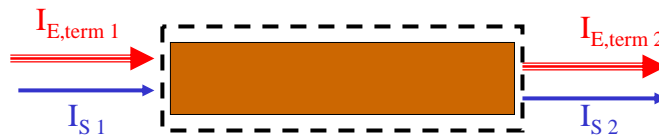
La situazione considerata può essere schematizzata come segue:



I_E = intensità del trasporto di energia (ossia: intensità della corrente di energia)

T_1 = temperatura del corpo più "caldo"

T_2 = temperatura del corpo più "freddo"



per semplicità assumiamo che gli unici scambi energetici possano avvenire agli estremi della sbarra, ciascuno dei quali è in contatto termico con due corpi di temperature T_1 e T_2 che possono essere considerate costanti.

Inoltre, tra le intensità delle correnti di entropia e di energia vale una relazione analoga a quella già incontrata in elettricità:

$$I_{E,term} = I_S \cdot T \quad (\text{con } T \text{ espressa in K})$$

Principio della conservazione dell'energia :

$$I_{E,term 1} = I_{E,term 2}$$

ossia

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

Dato che per ipotesi T_1 è maggiore di T_2 , concludiamo che deve valere:

$$I_{S2} > I_{S1}$$

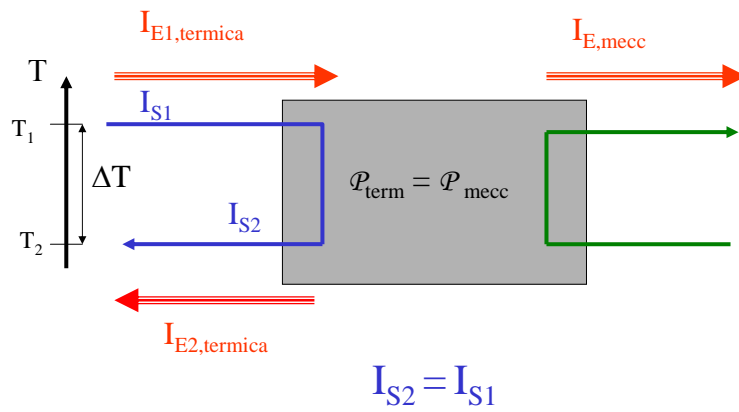
vale a dire: l'intensità della corrente d'entropia in uscita è maggiore di quella in entrata. Ciò viene interpretato dicendo che all'interno della sbarra vi è produzione di entropia: **il processo di conduzione termica è un fenomeno irreversibile.**

Osservazione:

Questo risultato è del tutto generale e di grande aiuto per comprendere **la formulazione di Carnot** relativa all'ottenimento del **massimo rendimento possibile** con le macchine termiche: **occorre evitare che vi siano contatti termici fra il vapore e parti della macchina a temperatura diversa:**

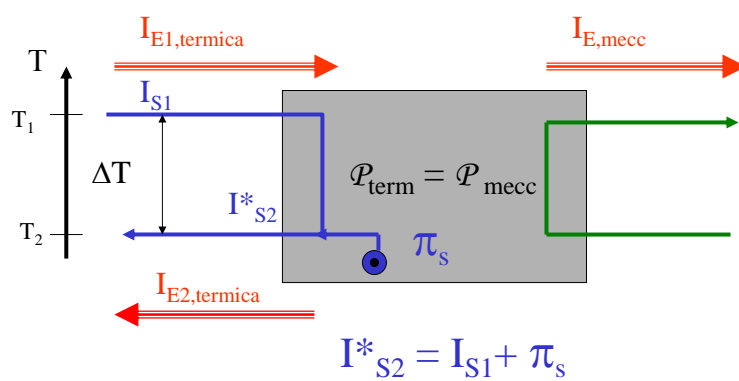
occorre cioè **evitare che vi siano fenomeni di conduzione termica fra corpi a temperature diverse**, fenomeni necessariamente accompagnati dalla produzione di entropia.

Macchina termica reversibile



$$\eta_{rev} = \frac{I_{E,mecc}}{I_{E1,term}} = \frac{I_{E1,term} - I_{E2,term}}{I_{E1,term}} = \frac{T_1 \cdot I_{S1} - T_2 \cdot I_{S2}}{T_1 \cdot I_{S1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Macchina termica NON reversibile



$$\eta = \frac{I_{E,mecc}}{I_{E1,term}} = \frac{I_{E1,term} - I_{E2,term}}{I_{E1,term}} = \frac{T_1 \cdot I_{S1} - T_2 \cdot I_{S2}^*}{T_1 \cdot I_{S1}} < \eta_{rev}$$

Alcune referenze in merito agli aspetti storici e didattici:

- H.L. Callendar, *The caloric theory of heat and Carnot's principle*, Proc. Phys. Soc. (London) 24, p. 153-159 (1911)
- J.N. Broensted, *The fundamental principles of energetics*, Phil. Mag. 7, p. 449-470 (1940)
- V. La Mer, *Some current misinterpretations of N.L. Sadi Carnot's memoir and cycle*, Am. J. Phys., 22, p. 20-27 (1954)
- M.A. Hirshfeld, *On "Some current misinterpretation of Carnot's memoir"*, Am. J. Phys. 23, p. 103-105, (1955)
- T.S. Kuhn, *Carnot's version of "Carnot's cycle"*, Am. J. Phys. 23, p. 91-95 (1955)
- V. La Mer, *Some current misinterpretations of N.L. Sadi Carnot's memoir and cycle. II*, Am. J. Phys. 23, p. 95-102 (1955)
- G. Falk, *Entropy, a resurrection of caloric – a look at the history of thermodynamics*, Eur. J. Phys., 6 (1985)
- H.U. Fuchs, *A surrealistic tale of electricity*, Am. J. Phys. 54, 907-909 (1986)
- A. Drago, R. Pisano *Interpretazione e ricostruzione delle Réflexions di Sadi Carnot mediante la logica non classica*, Giornale di Fisica, 4/XLI (2000)
- J. Ferbar *Irreversibility of irreversibility*, Proceedings of the 1996 GIREP Conference in Ljubiana *New ways of teaching physics*, p. 151
- J. Güémez, *Sadi Carnot on Carnot's theorem*, Am. J. Phys. 70, January (2002)
- M.E. Loverude et al, *Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas*, Am. J. Phys., 70, 137-148 (2002)
- H.U. Fuchs, *Heat and constitutive relations in adiabatic and isothermal compression of air: An investigation of student reasoning*, (unpublished)

In merito al KPK:

•<http://www-tfp.physik.unikarlsruhe.de/~didaktik/>

Sekundarstufe I

- Schülerband 1 (Energie, Strömungen, Mechanik, Wärmelehre)
- Schülerband 2 (Daten, Elektrizitätslehre, Optik),
- Schülerband 3 (physikalische Chemie, Wellen, Photonen, Atome, Festkörper, Kerne)
- Unterrichtshilfen (Gesamtband)

Sekundarstufe II

- Band 1: Elektrodynamik + Unterrichtshilfen zur Elektrodynamik
 - Band 2: Thermodynamik + Unterrichtshilfen zur Thermodynamik
- ottenibili presso Aulis Verlag, www.aulis.de

•<http://www.job-stiftung.de>

- G. Job, *Neudarstellung der Wärmelehre*, Akad. Verlagsgesellschaft Frankfurt a.M. (1972)
- E. Starauschek, *Zur Sprache im Karlsruher Physikkurs*, PdN, 2/47 (1998)
- E. Starauschek, *Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs – Ergebnisse einer Evaluationsstudie*, Logos-Verlag, Berlin (2001)

Il Karlsruher Physikkurs:
uno strumento per il rinnovamento
dell'insegnamento delle scienze

Note finali e indicazioni bibliografiche

Bellinzona, 27 agosto 2004

Didaktik der Physik

KPK

Il *Karlsruher Physikkurs* (KPK) per la *Sekundarstufe I* è stato sviluppato e sperimentato nel corso degli ultimi 15 anni. Esso si fonda su di una ristrutturazione della fisica che tiene conto dei seguenti criteri:

- eliminazione dei “fardelli storici”;
- utilizzo delle analogie;
- stretto legame con le discipline scientifiche affini (chimica, biologia, informatica).

Il corso risulta quindi essere particolarmente compatto, semplice e attuale.

THE KARLSRUHE PHYSICS COURSE ■

F. Herrmann, Abteilung für Didaktik der Physik, Universität Karlsruhe, Germany
GIREP International Conference 1996 – Ljubljana, Slovenia

(...)

2. Gli obiettivi

- **Primo obiettivo:** ridurre il tempo impiegato per la presentazione dei temi tradizionali; far posto a temi della fisica del 20° secolo;
- **Secondo obiettivo:** il corso di fisica deve risultare più semplice. Occorre superare la situazione attuale, in cui la fisica scoraggia e intimidisce gli studenti;
- **Terzo obiettivo:** abbattere le barriere tra la fisica e le discipline affini.

3. Il fardello della storia sulla conoscenza scientifica

La forma attuale della fisica è il risultato di un processo di evoluzione. Simili processi seguono vie e percorsi particolari: è quindi normale che il risultato finale rifletta con grande fedeltà il corso del processo che l'ha generato.

Chi oggi impara la scienza lo fa in larga misura lungo un cammino molto simile a quello dello sviluppo storico, compresi tutti gli errori, gli ostacoli e i travisamenti. Ripensare l'insieme della scienza alla luce delle conoscenze attuali, dovrebbe far emergere un curriculum molto più semplice. **Durante lo sviluppo del nostro corso abbiamo cercato di liberarci da molti fardelli storici.**

Il *Karlsruher Physikkurs* è in fase di traduzione in italiano: attualmente sono disponibili il volume 1 (*Energia, Quantità di moto e Entropia*), il volume 2 (*Dati, Elettricità, Luce*) nonché la corrispondente parte della *Guida per l'insegnante*.

L'uscita del terzo volume (*Reazioni, Onde, Fotoni, Atomi, Stato solido, Nuclei*) è prevista per la fine 2004.



Altri testi per il liceo (*Sekundarstufe II*):



1. Elektrodynamik + UH
2. Thermodynamik + UH
3. Schwingungen und Wellen; Daten + UH