

# COME LEGGERE I FENOMENI NATURALI

*Friedrich Herrmann, Sezione di Didattica della Fisica, Università, 76128 Karlsruhe*

Il sapere scientifico continua ad aumentare. Il tempo disponibile per l'insegnamento rimane invece costante. Questo problema è facile da capire ma difficile da risolvere. Cosa è possibile fare?

Il rinnovamento continuo dei contenuti dei piani di formazione, in particolare per quanto riguarda i contenuti classici è una delle strategie possibili. L'80 per cento dei contenuti dei programmi attuali e dei libri di testo è costituito infatti da temi di fisica risalenti a prima del 1900. Riteniamo quindi necessaria una revisione o una compattazione di questi temi.

Un'altra ragione che ci porta a proporre modifiche nell'insegnamento della fisica è che la fisica è la materia che, fra tutte, agli allievi piace meno. La fisica è la materia più odiata di tutte le materie scolastiche.

Le ragioni per preoccuparsi dell'insegnamento della fisica quindi sovrabbondano.

Ciò che viene presentato di seguito è un tentativo di risolvere, o almeno mitigare questo problema.

Si tratta più precisamente di un approccio didattico per l'insegnamento della fisica destinato ad allievi di età tra i 13 e i 16 anni, chiamato *Karlsruher Physikkurs*, abbreviato KPK.

Il corso è stato sviluppato assieme ai miei collaboratori. Abbiamo realizzato personalmente la prima sperimentazione in varie classi di liceo. Soltanto in seguito, quando avevamo a disposizione una versione accettabile, hanno partecipato alla sperimentazione un numero maggiore di persone tutte reclutate tra professori di liceo.

Fino ad oggi il corso è stato sperimentato con circa 20'000 allievi.

Uno dei problemi maggiori della fase di sperimentazione è stata la gestione delle differenze rispetto al programma ufficiale. Siamo riusciti a convincere l'autorità scolastica dei vantaggi del nostro approccio, in modo da poter dare la libertà ai professori di scegliere tra il metodo tradizionale e il metodo KPK.

A partire da quest'anno i nuovi programmi sono stati elaborati secondo nostra proposta.

Questo corso di fisica fa in realtà parte di un progetto più ampio che non ha come obiettivo un cambiamento dei metodi di insegnamento ma bensì dei loro contenuti. Si tratta insomma di dare una struttura nuova all'intero insegnamento della fisica (l'ambizioso e impegnativo progetto prevede altre versioni oltre a quella che consideriamo oggi, una per il livello secondario superiore, cioè per allievi di 17 o 18

anni, e una versione per l'insegnamento universitario).

In questa sede non sarà possibile esporre i contenuti dell'intero corso, per cui ci vorrebbe molto più tempo. Ciò che verrà fatto invece sarà di mostrarne i principi, le basi dell'approccio.

## **1. I concetti sono antiquati**

È possibile osservare un parallelismo tra lo sviluppo storico della scienza e l'evoluzione biologica.

Ogni insegnante di scienze, ogni autore di un libro di scienze, ha dovuto imparare la scienza lui stesso. Quando più tardi dovrà insegnare, lo farà in una forma un po' diversa da come l'ha imparata lui stesso.

Quale ne è la ragione? Semplicemente che qualche volta penserà che una modifica potrà rendere più chiara la presentazione dell'argomento previsto oppure che l'introduzione di alcuni risultati ottenuti dalla ricerca contemporanea aiuterà lo studente a capire meglio. Queste modifiche possono essere paragonate alle *mutazioni* citate nell'ambito dell'evoluzione biologica.

Sappiamo che in generale ogni insegnante o scienziato conosce a fondo soltanto una piccola parte della sua disciplina, in questo caso la fisica. Sul resto ha solo alcune conoscenze piuttosto globali. I cambiamenti che introdurrà nel suo corso o nel suo libro si riferiranno di conseguenza unicamente a dettagli specifici e non alla struttura di base della fisica. In altri termini: il sapere di base non viene sottoposto alla stessa *pressione selettiva* come i dettagli più recenti. Questo significa che i risultati nuovi si aggregano, si appiccicano ai più antichi, senza integrarli realmente. Questo fenomeno è conosciuto nella teoria dell'evoluzione come *ricapitolazione*.

Una conseguenza di tutto questo è che nella rappresentazione attuale della scienza è possibile riconoscervi il suo sviluppo storico. Ogni studente deve quindi riprodurre questo percorso storico. Il processo di apprendimento riflette, riproduce, ricopia, fino nei dettagli, il processo tortuoso dell'evoluzione della scienza stessa.

Il tutto rimanda a una legge della teoria dell'evoluzione: la *legge fondamentale biogenetica* di Ernesto Haeckel, secondo la quale l'ontogenesi è una ricapitolazione della filogenesi. È in questo modo che si conservano quindi le deviazioni dell'evoluzione. Si mantengono idee che, in un contesto più largo, risultano svantaggiose o superflue. Stati transitori possono perdurare, come fossili viventi, come dicono i genetisti. E sopravvivono persino errori evidenti.

Sviluppando il corso di fisica di Karlsruhe abbiamo cercato di eliminare questi fardelli o residuati storici, questi concetti superflui così come altre inconsistenze\* .

## 2. Il linguaggio della fisica

Questo tema è riferito in particolare alla lingua tedesca anche se siamo sicuri che in italiano i problemi sono molto simili.

Il linguaggio che utilizziamo quando insegniamo la fisica necessita di modifiche importanti e questo per ragioni diverse:

1. I termini tecnici sono troppo numerosi. Analisi fatte hanno mostrato che nei libri scolastici di fisica, ci sono più termini tecnici che vocaboli in un corso di lingua straniera, come ad esempio nell'insegnamento dell'inglese. Gli allievi devono imparare più vocaboli in fisica che in inglese. Attraverso queste indagini si è scoperto che molti termini tecnici vengono introdotti senza essere in seguito più utilizzati.

“Der Proportionalitätsfaktor  $D$ , das Verhältnis aus rücktreibender Kraft  $F$  und Elongation  $y$ , heißt **Richtgröße** oder **Direktionsgröße** des schwingenden Systems.”

“Il fattore di proporzionalità  $D$ , cioè il quoziente fra la forza di richiamo  $F$  e l'elongazione  $y$ , viene chiamato grandezza di riferimento o grandezza direzionale del sistema oscillante.”

La frase qui sopra è tratta da un libro di testo tedesco. Si possono contare 6 termini tecnici. Tuttavia, la frase non serve ad altra cosa che a definire una grandezza o un coefficiente. Oltre a ciò si introducono due nomi per la stessa grandezza.

2. Un abuso molto frequente nei testi tedeschi è quella della formazione di termini composti. Ciò è particolarmente negativo nel caso di nomi di grandezze fisiche. Così si possono contare più di 40 tipi di forze. Lo stesso discorso vale per i numerosi nomi utilizzati per l'energia. Un vantaggio importante nell'uso di

*forza elastica, forza gravitazionale, forza elettrica, forza magnetica, forza di richiamo, forza centripeta, forza frenante, forza peso, forza d'attrito, forza di marea, forza di Archimede, forza di Coriolis, forza di Lorentz*

*energia meccanica, energia cinetica, energia potenziale gravitazionale, energia potenziale elettrostatica, energia potenziale elastica, energia elettrica, energia termica, energia chimica, energia nucleare, energia elettromagnetica, energia interna, energia luminosa, energia eolica, energia solare, energia idraulica, energia muscolare, energia tellurica, energia geotermica, energia di ionizzazione, energia di legame, energia di attivazione, energia di rotazione, energia di oscillazione, energia di traslazione, energia dissipata*

grandezze fisiche è che una grandezza ha il medesimo significato in sistemi molto differenti. Se conosciamo la massa di una stella, la massa di una mela e la massa di un elettrone possiamo comparare questi tre oggetti. I tre oggetti hanno una stessa proprietà: l'inerzia. Se assegniamo nomi diversi alle varie grandezze, a seconda del sistema considerato, diamo l'impressione che si tratti di grandezze differenti. La differenza sta invece soltanto nel valore della massa e non nella massa stessa.

3. Il linguaggio antiquato: oggigiorno si usano ancora espressioni che erano adeguate solo in passato. Le idee su di un dato tema erano differenti rispetto a oggi e veniva quindi utilizzata una descrizione verbale diversa. Un esempio: diciamo che “*un corpo A compie un lavoro su un di corpo B*”, invece di dire che “*c'è un flusso di energia da A a B*”. Questo linguaggio suggerisce un'azione a distanza: si parla soltanto di A e di B, ma non si menziona il sistema di collegamento tra A e B, responsabile per il

trasferimento dell'energia. Questa terminologia viene da un'epoca in cui non esisteva

*Il termine "LAVORO": "A compie lavoro su B."*  
*- La proposizione suggerisce un'azione a distanza.*  
*- L'espressione risale a prima del 1850, cioè a prima dell'introduzione del concetto di energia.*

*Il termine "POTENZA"*  
*- L'espressione risale a prima del 1900, quando non si era ancora in grado di localizzare l'energia.*

ancora l'idea di campo. Non c'era altra possibilità che postulare un'azione a distanza. È però da più di 150 anni che non si crede più a

tale azione a distanza. Nel linguaggio fisico l'antica convinzione si è però conservata. Un altro esempio è quello relativo al termine di *potenza*, che proviene da un'epoca in cui non era ancora possibile localizzare l'energia e tanto meno una corrente di energia. Oggi chiameremmo questa grandezza fisica *corrente di energia* o *flusso di energia*. Nonostante ciò il termine antiquato di *potenza* continua a sopravvivere. Nel KPK abbiamo cercato invece di utilizzare un vocabolario tecnico ridotto allo stretto necessario. Non ci sono mille forze, né energie o pressioni.

### 3. Le strutture della fisica

Una particolarità del corso KPK consiste nell'evidenziare una certa classe di grandezze fisiche ritenendole particolarmente importante.

Queste grandezze giocano il ruolo di *grandezze fondamentali*: sono dette grandezza *estensive*. Appartengono a questa classe le grandezze seguenti: l'*energia*, la *carica elettrica*, la *quantità di sostanza*, la *quantità di moto*, l'*entropia* e altre.

Le particolarità delle grandezze estensive sono le seguenti:

1. Il valore di una grandezza estensiva si riferisce sempre a una regione di spazio e non ad esempio ad un punto, come nel caso di una temperatura o una pressione.
2. A ogni grandezza estensiva corrisponde una corrente: corrente elettrica, di energia, di massa, di entropia ecc.
3. Per ciascuna grandezza estensiva è possibile stabilire se questa è una grandezza conservata o meno. Così, l'energia, la quantità di moto o la carica elettrica sono grandezze conservate. L'entropia e la quantità di sostanza invece non sono grandezze conservate. Al contrario, non ha senso dire che la temperatura, la pressione o la velocità siano conservate o non conservate.

*Particolarità delle grandezze estensive*  
*- i valori si riferiscono a una regione di spazio ben definita*  
*- a ogni grandezza estensiva corrisponde una corrente*  
*- alcune sono conservate, altre no*

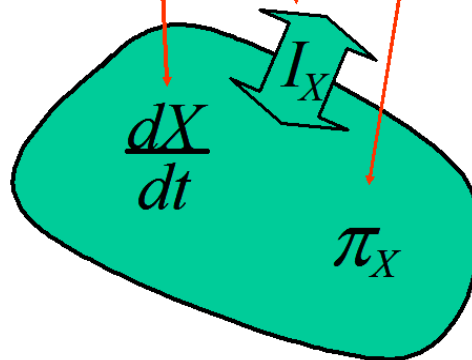
Il tutto può essere riassunto in nell'equazione seguente: si prende in considerazione una regione dello spazio. La  $X$  rappresenta una *grandezza estensiva* qualsiasi. Il termine alla sinistra rappresenta il cambiamento della quantità di  $X$  all'interno della regione

considerata. Il primo termine a destra è la corrente di X attraverso la superficie della regione, il secondo termine a destra è invece il tasso di produzione di questa grandezza. L'equazione ci indica quindi che la grandezza X all'interno della regione può cambiare per due motivi:

1. per mezzo di una corrente che ne attraversa la superficie;
2. per mezzo di produzione o annichilazione all'interno della regione.

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

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \pi_X \quad \text{Equazione di bilancio}$$



X: misura della grandezza  
 $I_x$ : misura dell'intensità di corrente  
 $\pi_x$ : misura del tasso di produzione/annichilazione

Notiamo come quest'equazione non sia altro che l'espressione di un bilancio. Possiamo quindi dire che le grandezze estensive sono grandezze soggette a bilancio.

Per le grandezze conservate, la  $\pi$  alla destra è sempre zero. Non c'è produzione o annichilazione. Per quelle non conservate la  $\pi$  è diversa da zero.

Consideriamo alcuni esempi:

Sia X la carica elettrica. In questo caso l'equazione verrà scritta nel modo seguente:

$$dQ/dt = I.$$

Attenzione: il significato dell'equazione non è la definizione dell'intensità di corrente; l'equazione esprime invece il bilancio della carica elettrica ed esprime la conservazione della carica, poiché non c'è il termine  $\pi$  che indicherebbe una produzione.

Altro esempio:

$$dp/dt = F.$$

Equazione molto nota come seconda legge di Newton. Possiamo vedere che è possibile interpretare una forza come la corrente della quantità di moto.

Terzo esempio, l'energia:

$$dE/dt = \mathcal{P}.$$

La potenza non è altro che la corrente di energia.

Un ultimo esempio, l'entropia:

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

$I_S$  è la corrente di entropia,  $\pi_S$  è il suo tasso di produzione. L'aspetto particolare di questo caso è che la  $\pi$  può essere soltanto positiva. C'è produzione ma non è possibile l'annichilazione.

Per quale ragione si ritiene interessante mettere queste grandezze al centro di un corso di fisica? Le ragioni sono parecchie.

La prima salta subito all'occhio: si può approfittare dell'analogia tra le varie grandezze.

Come funziona quest'analogia? Si applica semplicemente una corrispondenza tra le varie grandezze fisiche. In primo piano vi sono le corrispondenze tra le grandezze estensive: la carica elettrica, la quantità di moto, l'entropia e la quantità di sostanza. In seguito abbiamo le cosiddette grandezze intensive coniugate: il potenziale elettrico, la velocità, la temperatura assoluta e il potenziale chimico.

Notiamo quindi che ogni linea di questa tabella corrisponde a uno dei campi classici della fisica: all'elettricità, alla meccanica, alla termologia e persino alla chimica.

Mettiamo i simboli e avviciniamo le colonne, per avere più spazio. Già abbiamo visto, in precedenza, che a ognuna di queste grandezze estensive corrisponde una corrente: la corrente elettrica, la corrente della quantità di moto, che non è altro che la forza, la corrente di entropia, la corrente di quantità di sostanza.

Si potrebbero anche aggiungere altre colonne, come la resistenza, la capacità ecc.

	<i><b>bilancio</b></i>	<i><b>corrente di energia</b></i>
<i><b>elettricità</b></i>	$dQ/dt = I$	$I_E = \varphi \cdot I$
<i><b>meccanica</b></i>	$dp/dt = F$	$I_E = \mathbf{v} \cdot \mathbf{F}$
<i><b>termologia</b></i>	$dS/dt = I_S + \pi_S$	$I_E = T \cdot I_S$
<i><b>chimica</b></i>	$dn/dt = I_n + \pi_n$	$I_E = \mu \cdot I_n$

Molte relazioni tra queste grandezze appaiono in una linea e le possiamo trovare per analogia anche nelle altre linee della tabella. Abbiamo già visto un esempio: per ogni linea vale un'equazione di bilancio. Ma ce ne sono anche altre.

È possibile considerare questa tabella come un dizionario. Se cominciamo con una linea e consideriamo una relazione tra le grandezze fisiche di questa linea, allora per mezzo della tabella, possiamo costruire una relazione tra le grandezze di un'altra linea con una semplice traduzione letterale.

Notiamo però che manca una cosa ritenuta fondamentale: l'*energia*. L'energia è una grandezza particolare. Non corrisponde a nessuna linea particolare. Passando da una linea all'altra, l'energia si trasforma in energia, non necessita alcuna traduzione. L'energia è una grandezza che ha la stessa importanza in tutti questi campi. È una grandezza che può servire per l'integrazione dei vari campi specifici della fisica.

Prendiamo per esempio il flusso di energia: con questa equazione si calcola una corrente di energia elettrica, e da lì un flusso di energia meccanica, per mezzo di una cinghia di trasmissione, che corrisponde a un flusso di energia termica e questa a una corrente di energia chimica ...

Importante adesso è che corrispondano non soltanto grandezze e relazioni, ma anche fenomeni, dispositivi tecnici, modelli mentali. Di conseguenza è possibile presentare tutti questi campi della fisica in un modo analogo. Ciò permette di unificare l'insegnamento della fisica.

Nell'insegnamento tradizionale non si approfitta di questa possibilità. Lo svolgimento della meccanica è molto differente da come si affronta l'elettricità e diverso anche dal modo con cui si affronta la termologia. Noi proponiamo invece di mettere in evidenza questa struttura comune e di utilizzare gli stessi modelli quando insegniamo la meccanica, l'elettricità, la termologia e la chimica.

Ma qual è il modello da impiegare? Proponiamo di utilizzare il modello che tradizionalmente viene usato in elettricità e che ho già impiegato quando ho spiegato l'equazione di bilancio.

In che cosa consiste questo modello? Immaginiamo la grandezza X in quest'equazione come una sostanza, come un fluido. Con "immaginare" voglio dire che si parla correttamente di essa, in senso fisico, quando se ne parla come se si trattasse di una sostanza, quando si applica lo stesso vocabolario che si usa quando parliamo di una sostanza nel linguaggio comune.

Questo modello ci è familiare nel caso dell'elettricità. Non ci è però familiare negli altri campi della fisica: né nella meccanica, né nella termologia. Riteniamo però che il fatto di poter parlare così di una grandezza e di farsene una rappresentazione mentale come se

fosse una sostanza è della massima importanza nell'insegnamento.

La meccanica, la termologia e la chimica hanno in questo modo tanto da guadagnare: risultano infatti più facili. Faremo più tardi un esempio con la termologia.

È già stato messo in evidenza che se si prende sul serio questa analogia queste grandezze estensive diventano le protagoniste del campo corrispondente. Per questa ragione nel nostro corso, in meccanica si inizia sin dalla prima ora di lezione a parlare di quantità di moto, e in termologia con l'entropia.

La scelta del modello delle analogie offre un ulteriore vantaggio legato al linguaggio. Quando introduciamo infatti una nuova grandezza fisica, non è sufficiente darne una definizione e spiegare come si misura. Importante è anche l'apprendimento dell'impiego verbale della grandezza in questione.

Un esempio: consideriamo la grandezza “forza” e chiediamoci quali sono i verbi che si utilizzano in relazione con la parola “forza” in fisica. Sappiamo che sono essenzialmente tre: *una forza agisce, una forza è esercitata, si applica una forza.*

Un altro esempio: il lavoro. Un lavoro si compie. Un verbo non molto frequente nel linguaggio comune. L'allievo deve quindi imparare non soltanto i nomi delle grandezze, ma anche verbi, preposizioni, avverbi corrispondenti.

Il tutto ricorda un linguaggio segreto.

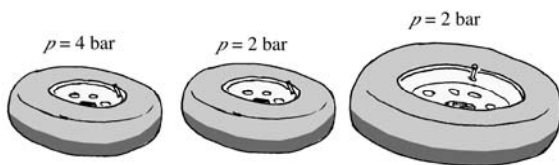
Passiamo a un terzo esempio: la carica elettrica. Qui, le cose sono molto diverse. Per quale ragione? Semplicemente perché ci sono molte possibilità di esprimersi. Da dove viene questa particolarità? Dipende dal fatto che la carica elettrica è una grandezza estensiva e che utilizziamo il modello già menzionato.



#### 4. Alcuni vantaggi nell'uso delle analogie.

Di seguito vengono presentate alcune situazioni in quattro versioni analoghe: la prima è una situazione che riguarda l'ambito pneumatico o idraulico, la seconda in ambito elettrico, in seguito sarà la volta di una situazione in meccanica e infine una in ambito termico. Non verrà invece illustrata una situazione in ambito chimico: saranno discussi quindi quattro esempi, ognuno in 4 versioni.

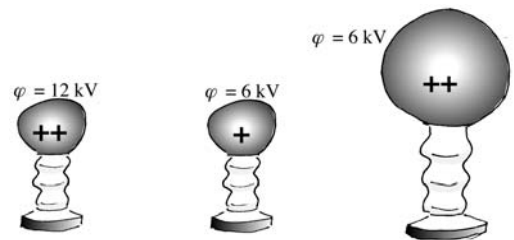
##### 1. Esempio: idraulica.



Domanda: in quale di questi tre pneumatici c'è più aria?

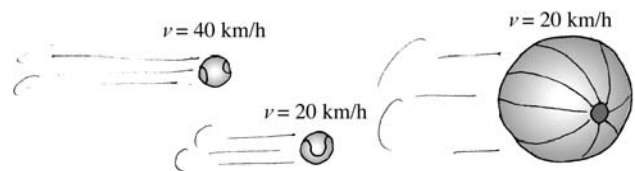
##### 2. Esempio: elettricità.

Domanda: in quale di queste tre sfere c'è più carica elettrica?

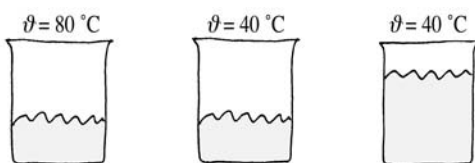


##### 3. Esempio: meccanica.

Domanda: quale di questi tre palloni ha più moto?

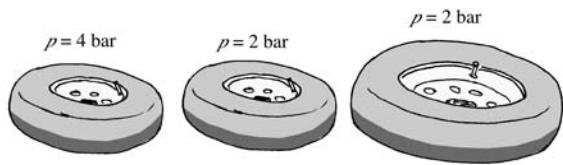


##### 4. Esempio: termologia.

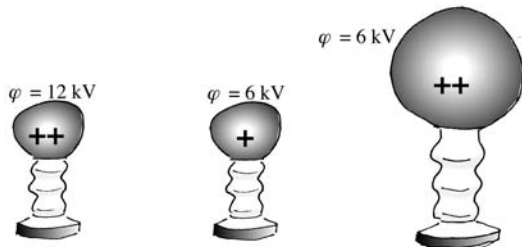


Domanda: in quale di questi tre bicchieri c'è più entropia?

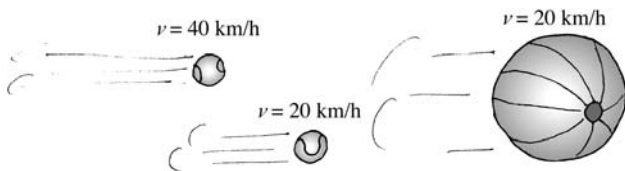
Il contenuto di aria, di carica elettrica, di moto, di entropia dipende dalle dimensioni del corpo e dalla differenza (di potenziale) che esiste tra l'interno e l'esterno del corpo.



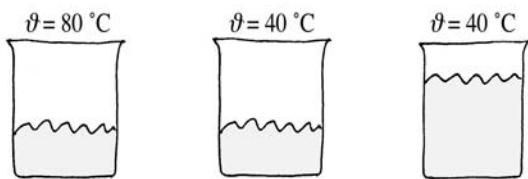
Il pneumatico contiene tanta più aria:  
 - quanto esso è più grande;  
 - quanto più alta è la sua pressione.



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



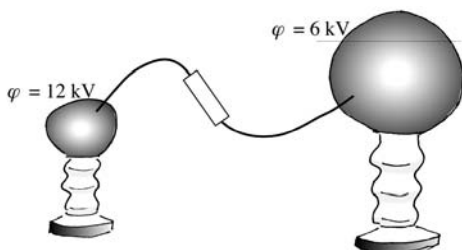
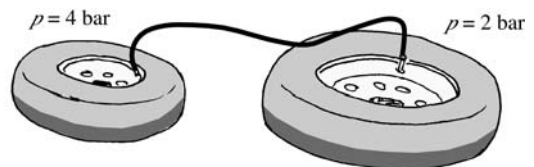
Un corpo contiene tanto più moto:  
 - quanto più la sua massa è grande;  
 - quanto più alta è la sua velocità.



Un corpo contiene tanta più entropia:  
 - quanto più esso è grande;  
 - quanto più la sua temperatura è alta.

1. Esempio: idraulica.

Domanda: da dove a dove l'aria scorre spontaneamente?

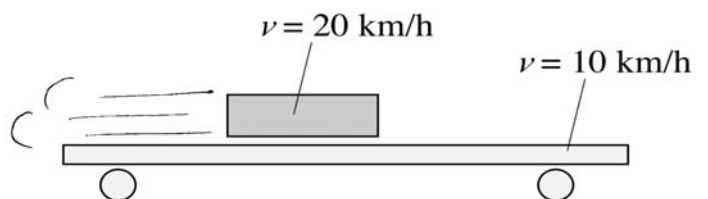


2. Esempio: elettricità.

Domanda: da dove a dove scorre spontaneamente la carica elettrica?

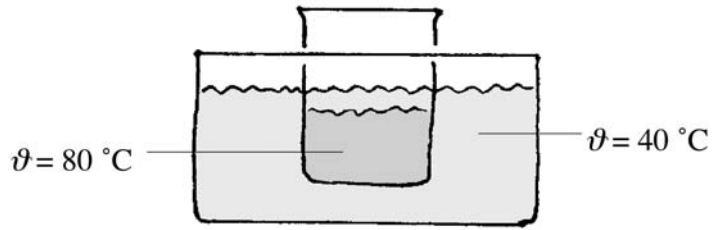
3. Esempio: meccanica.

Domanda: da dove a dove scorre spontaneamente il moto?

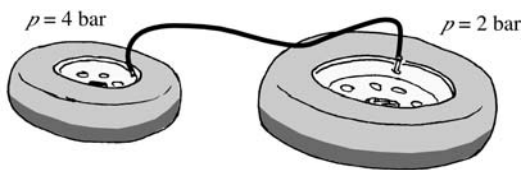


4. Esempio: termologia.

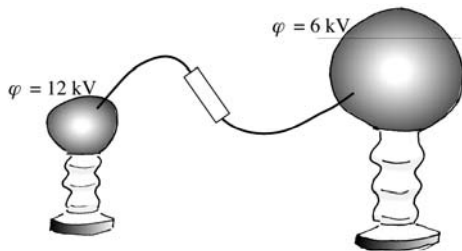
Domanda: da dove a dove scorre spontaneamente l'entropia?



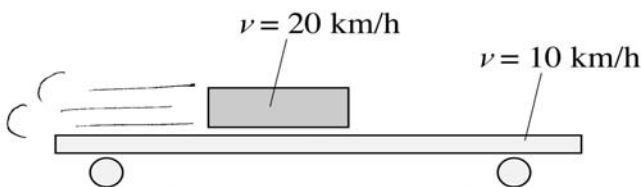
Una corrente scorre spontaneamente lungo una differenza di potenziale, da quello maggiore a quello minore.



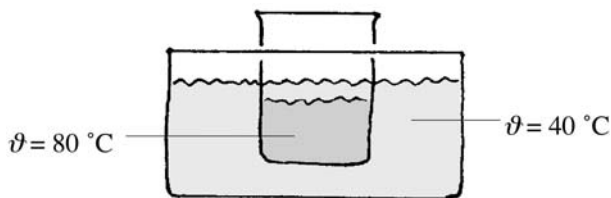
Il aria scorre spontaneamente da punti a pressione più alta verso punti a pressione più bassa.



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



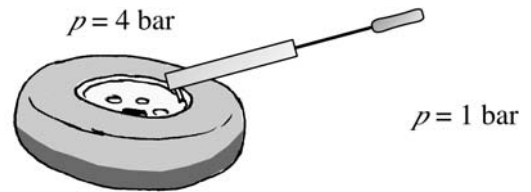
Il moto scorre spontaneamente da corpi a velocità più alta verso corpi a velocità più bassa.



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

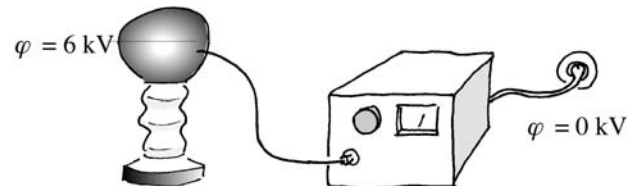
1. Esempio: idraulica.

Domanda: da dove a dove viene trasportata l'aria dalla pompa?



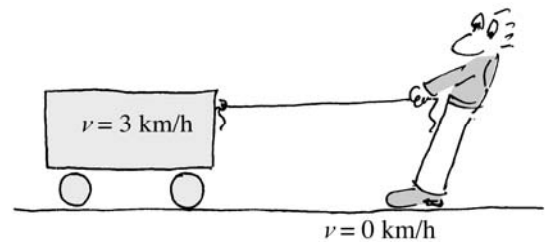
2. Esempio: elettricità.

Domanda: da dove a dove viene trasportata la carica elettrica dalla batteria o dal generatore?



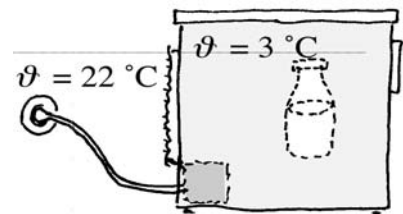
3. Esempio: meccanica.

Domanda: da dove a dove il moto viene trasportato dal motore?

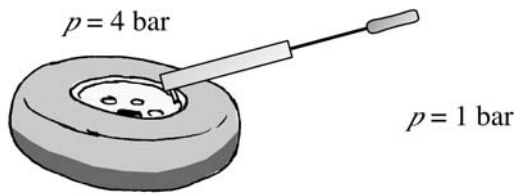


4. Esempio: termologia.

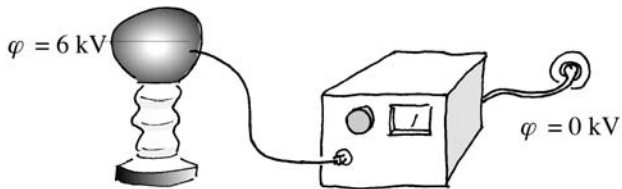
Domanda: da dove a dove l'entropia viene trasportata dalla "pompa a entropia"?



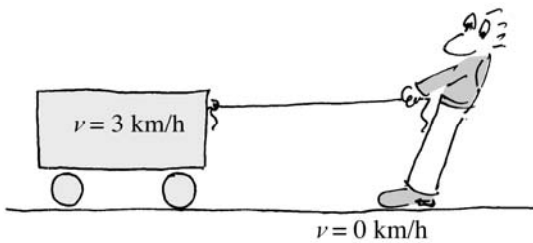
L'aria, la carica elettrica, il moto, l'entropia vengono trasportate dal corpo che ne ha meno a quello che ne ha di più.



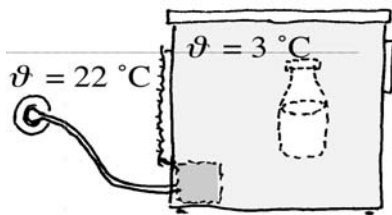
La pompa trasporta l'aria dal luogo in cui la pressione è più bassa a quello in cui la pressione è più alta.



La "pompa di carica" (batteria, generatore) trasporta la carica elettrica dal corpo con potenziale più basso a quello con potenziale maggiore.



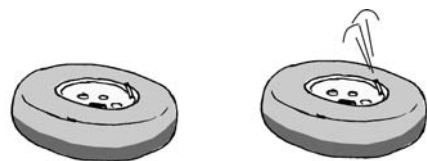
La "pompa di moto" (motore) trasporta il moto dal corpo che ha velocità minore a quello con velocità maggiore.



La "pompa di entropia" (pompa di calore) trasporta l'entropia dal luogo in cui la temperatura è più bassa a quello in cui la temperatura è più alta.

1. Esempio: idraulica.

Domanda: dove va a finire l'aria del pneumatico?



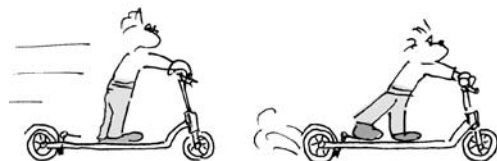
2. Esempio: elettricità.

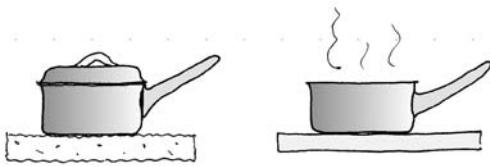


Domanda: dove va a finire la carica elettrica?

3. Esempio: meccanica.

Domanda: dove va a finire il moto?

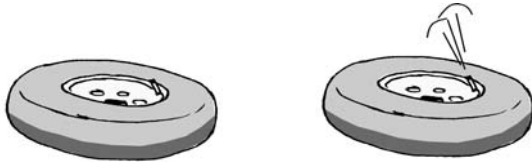




4. Esempio: termologia.

Domanda: dove va a finire l'entropia?

In tutti e 4 i casi le condizioni del corpo che ricevono la corrente d'aria, di carica elettrica, di velocità e di entropia non cambiano a causa della loro grande capacità.



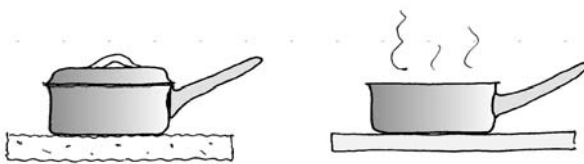
L'atmosfera accetta l'aria che fuoriesce dal pneumatico, senza che la sua pressione cambi.



La Terra accetta la carica elettrica proveniente dalla sfera, senza che il suo potenziale cambi.



La Terra assorbe il moto del veicolo, senza che la sua velocità cambi.



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

## Conclusioni

A nostro modo di vedere i vantaggi del KPK nell'insegnamento secondario sono dati dal fatto che gli argomenti di fisica classica non soltanto sono più corti e più agili, ma anche più facili da capire. Disponiamo così di più tempo per l'insegnamento della fisica moderna.

\* L'autore scrive da molti anni una rubrica su di una rivista scolastica in cui mensilmente presenta un *residuo storico* della fisica, il concetto antiquato del mese. Nel frattempo sono già 80 e si possono trovare sul sito internet [www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de](http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de)