

ANALOGIE E CONCETTI SCIENTIFICI ELEMENTARI

Friedrich Herrmann

Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

Traduzione a cura di Ira Torresi

Abstract

Si ritiene che la struttura del curriculum di scienze debba essere regolarmente aggiornata. In questa sede si propone un aggiornamento che prevede l'utilizzo di analogie per strutturare i contenuti del corso di scienze, rendendo così più conciso l'insegnamento e facilitando l'apprendimento. Verrà inoltre presentato un corso introduttivo di fisica basato sull'analogia fra diversi modi di trasportare l'energia.

1. Analogie

Nelle sezioni successive si delineerà un corso di scienze basato su analogie, la cui caratteristica principale è la chiarezza strutturale. Sebbene questa struttura non sia il principale obiettivo didattico, è importante che i discenti siano consapevoli dell'esistenza di tale struttura.

Un'analogia è una mappatura o una corrispondenza che mantiene inalterate le strutture originali. Consideriamo due sistemi, A e B, ciascuno dei quali è formato da elementi. Se c'è un'analogia fra i sistemi, gli elementi di A corrispondono agli elementi di B e tra gli elementi di A vigono le stesse le relazioni che intercorrono fra gli elementi corrispondenti di B.

Per ogni analogia si può creare un "dizionario", che dice quale elemento di un sistema corrisponde ad ogni dato elemento del secondo sistema. Spesso il dizionario è bilingue, ma possiamo avere corrispondenze fra più di due sistemi. Nel prosieguo avremo a che fare con un'analogia di questo tipo, per la quale avremo quindi una tabella di corrispondenze simile a un dizionario multilingue.

Il nostro dizionario accoglierà diversi tipi di termini: quantità fisiche, relazioni fra di esse, regole, sistemi fisici e dispositivi tecnici. Una caratteristica importante di tale analogia è che la struttura linguistica delle frasi che usiamo per descrivere un fenomeno è la stessa per vari sistemi.

2. Quantità estensive come mezzo per strutturare la fisica

L'analogia che si procederà a presentare collega i seguenti campi scientifici:

- fenomeni gravitazionali
- movimenti di traslazione
- movimenti di rotazione
- calore (termologia)
- fenomeni elettrici
- chimica

Pertanto, la tabella delle corrispondenze sarà come un dizionario con sei lingue. Introduciamo ora l'analogia in due momenti successivi.

2.1 Analogia basata su quantità "simil-sostanze" (substance-like)

In questa prima versione dell'analogia vi sono varie quantità estensive che corrispondono l'una all'altra, ovvero:

energia

massa

quantità di moto

momento angolare

entropia

carica elettrica

quantità di sostanza

Una peculiarità delle grandezze estensive è che per ciascuna di esse si possono stabilire dei bilanci. Pensiamo ad una certa regione di spazio. Ci si può chiedere per esempio quanta carica elettrica c'è in questa regione. Se nella nostra regione il valore della carica elettrica cambia, allora si può dire che c'è un flusso che ne attraversa il confine in entrata o in uscita. Quindi, a ogni quantità estensiva corrisponde una corrente o un flusso, (Tab. 1).

extensive quantity	current
E	P
m	I_m
p	F
L	M
S	I_S
Q	I
n	I_n

Tab. 1 - Corrispondenze tra quantità estensive e rispettive correnti.

Si noti che, in quest'ottica, parliamo della quantità usando le stesse parole che utilizziamo per parlare di un fluido o di una sostanza. Per questo chiamiamo le quantità, che possiamo definire in questi termini, "quantità simil-sostanze" (*substance-like quantities*). Questo linguaggio che ci sentiamo autorizzati a impiegare è un linguaggio conosciuto da ogni bambino fin dalla prima infanzia: i bambini sanno come parlare di acqua o di aria.

Poiché si tratta di un linguaggio naturale, abbiamo grande libertà di scelta dei termini, possiamo dire: "la carica elettrica è in un corpo", "il corpo *contiene* la carica elettrica", "la carica *sta* sul corpo"; oppure che essa *va* da un corpo all'altro, *scorre*, *viene*, *va*, *sparisce*, *si diffonde*, *si perde*, *si concentra*, *si accumula* ecc. Si usano gli stessi termini quando si parla dell'acqua, dell'aria

o del denaro.

Confrontiamo questo con il linguaggio che dobbiamo usare quando parliamo di altre quantità fisiche, per esempio la forza. Qui la nostra competenza linguistica acquisita non ci aiuta molto. Dobbiamo imparare un nuovo linguaggio che è abbastanza controintuitivo e molto standardizzato. Una forza *si esercita*, o *agisce*, e nient'altro, non ci sono altre possibilità.

L'analogia che abbiamo descritto è già di per sé molto utile per la didattica delle scienze, ma può ancora essere modificata o estesa in modo da aumentarne l'utilità.

2.2 Secondo passo

Se dalla Tab. 1 togliamo l'energia e la corrente ad essa corrispondente, ci appare una nuova analogia fra le quantità rimanenti. A ciascuna di queste quantità estensive, o simil-sostanze, si può correlare una quantità che definiremo quantità intensiva, vedi Tab. 2. Le quantità intensive sono: potenziale gravitazionale, velocità, velocità angolare, temperatura, potenziale elettrico e potenziale chimico.

Ogni riga del nostro nuovo dizionario corrisponde quindi a un particolare campo della fisica:

gravitazione

meccanica dei movimenti traslatori

meccanica dei movimenti rotatori

termologia

elettricità

chimica.

extensive quantity	current	intensive quantity	energy	energy current
m	I_m	gravitational potential ψ	E	$P = \psi \cdot I_m$
p	F	velocity v	E	$P = v \cdot F$
L	M	angular velocity ω	E	$P = \omega \cdot M$
S	I_S	temperature T	E	$P = T \cdot I_S$
Q	I	electric potential φ	E	$P = U \cdot I$
n	I_n	chemical potential μ	E	$P = \mu \cdot I_n$

Tab. 2 - A ogni quantità estensiva, ad eccezione dell'energia, corrisponde una quantità intensiva. Ciascuna riga corrisponde a un ambito della fisica. L'energia è un elemento centrale in tutti questi ambiti.

Questa nuova tabella di traduzione potrebbe essere estesa ulteriormente, introducendo le resistenze, le capacità e vari tipi di equazioni analoghe. Un esempio ci aiuterà a capire come funziona l'analogia.

Sappiamo che l'acqua scorre in discesa: in termini fisici, va da un potenziale gravitazionale alto ad uno basso.

In un processo in cui è presente un attrito meccanico, la quantità di moto va da una velocità alta ad una velocità bassa. Sebbene in genere non lo si trovi scritto nei testi di fisica, è facile da constatare: un oggetto che scivola sul tavolo dopo un po' si ferma. La sua quantità di moto si trasferisce nel tavolo, va dal corpo che ha maggiore velocità al corpo che ha velocità minore, il tavolo, che ha velocità zero.

Allo stesso modo il momento angolare passa da una velocità angolare alta a una di valore più basso. Ciò vale anche per il calore (o l'entropia), che va dai corpi più caldi ai corpi più freddi; l'elettricità scorre dal potenziale elettrico più alto a quello più basso; e infine, è dalla differenza tra un potenziale chimico alto ed uno basso che avvengono le reazioni chimiche.

Ma che fine fa l'energia in questo modello? Naturalmente ne abbiamo ancora bisogno, rimane anzi la quantità più importante; anziché appartenere a un ambito particolare della fisica, però, è trasversale a tutti gli ambiti. Possiamo quindi introdurre una nuova colonna che riporta l'energia su ciascuna riga, come in Tab. 2. Nella nostra metafora del dizionario, l'energia è una parola internazionale.

L'importanza dell'energia emerge dalle equazioni nell'ultima colonna, che descrivono vari modi in cui essa si può trasferire. In ciascun caso il flusso di energia può essere descritto da una semplice equazione che ha sempre la stessa struttura, cioè la quantità intensiva moltiplicata per il flusso della corrispondente quantità estensiva.

3. Elementarizzazione

Quello che ci sta a cuore in questa sede, tuttavia, è l'insegnamento ai bambini. Vedremo ora in che modo il contenuto delle equazioni nell'ultima colonna della Tab. 2 possa essere affrontato anche ad un livello elementare.

Iniziamo introducendo le correnti, di qualsiasi cosa: di una folla di gente, dell'acqua, di energia, di elettricità... Poi passiamo a parlare di energia e dei flussi di energia. I bambini apprendono che in molti processi tecnici l'energia è importante.

Si può riscaldare una casa in molti modi diversi, ma ciascuno di essi si riconduce essenzialmente all'uso di energia. Si può viaggiare in auto, in treno, a cavallo o a piedi, facendo uso di diversi tipi di combustibile: la cosa che hanno in comune tutti questi mezzi di trasporto è che contengono energia.

Possiamo osservare che, per spostare l'energia da un posto all'altro, c'è sempre qualcos'altro che fluisce, altre "cose": benzina, carbone, elettricità, acqua calda, aria sotto pressione, luce... Possiamo concludere che *l'energia non fluisce mai da sola* e chiamiamo la cosa che fluisce insieme con l'energia *portatore di energia*. Possiamo dire che *la benzina, l'elettricità, la luce... portano energia*.

Questo risultato è lo stesso che ad un livello avanzato sarà espresso con le equazioni nell'ultima colonna della Tab. 2. Nella nostra versione elementare del corso sostituiamo le quantità fisiche con sostanze. In alcuni casi tali sostanze sono sostanze reali: acqua calda, per esempio, quando la quantità fisica sarebbe il calore. Poiché abbiamo un trasporto convettivo di calore, chiamiamo la sostanza che trasporta il calore portatore di energia. In altri casi, come per l'elettricità,

parliamo dell'elettricità come di una sostanza immaginaria. Un portatore di energia porta l'energia da un apparecchio, macchina o dispositivo, ad un altro. Chiamiamo il dispositivo dal quale proviene *sorgente di energia* e il sistema dove si dirige *ricevitore di energia*. Possiamo ora tracciare i diagrammi del trasporto dell'energia di cui vediamo alcuni esempi in Fig. 1. Se guardiamo più nei particolari, notiamo che a volte il portatore di energia torna indietro. Porta l'energia dalla sorgente al ricevitore, la scarica e torna indietro alla sorgente per prendere nuova energia. È come riportare indietro le bottiglie vuote per riempirle di nuovo.

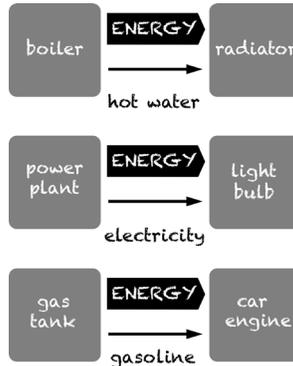


Fig. 1 - Diagrammi di flusso per tre diversi mezzi di trasporto. L'energia ha sempre bisogno di un portatore.

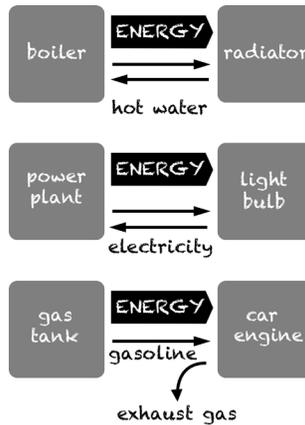


Fig. 2 - Portatori di energia a doppio senso e a senso unico.

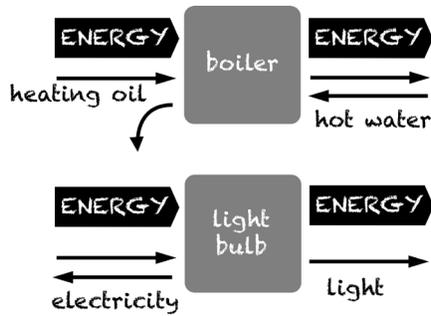


Fig. 3 - In un trasbordo di energia, l'energia cambia portatore.

- boiler
- car engine
- dynamo, generator
- electric motor
- water turbine
- water pump
- light bulb
- solar cell
- wind power plant
- air blower
- battery
- electrolytic cell

Tab. 3 - Trasbordatori di energia.

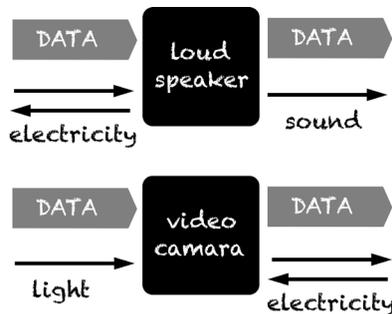


Fig. 4 - In un trasbordo di dati, i dati cambiano portatore.

Ci sono altri portatori di energia che non tornano indietro. Possiamo così distinguere fra portatori *a senso unico* e portatori *a doppio senso*. La Fig. 2 mostra i diagrammi di flusso dell'energia aggiornati tenendo conto di ciò.

Ma cosa avviene all'energia quando arriva al ricevitore? Spesso va semplicemente altrove, ma con un altro portatore. Vediamo che tale dispositivo semplicemente *trasborda* l'energia da un portatore ad un altro (Fig. 3). È come una stazione dei treni: i passeggeri arrivano in auto alla stazione e partono con il treno, cioè arrivano con un portatore e se ne vanno con un altro. Con i diagrammi di flusso dell'energia possono essere descritti diversi processi tecnici e molti fenomeni naturali. La Tab. 3 mostra dei dispositivi che possono essere interpretati come trasbordatori di energia.

Ci sono altri processi e dispositivi tecnici in cui l'energia non è così importante. Essi hanno a che fare con informazioni o dati. È interessante notare che la stessa struttura che abbiamo imparato a riconoscere la ritroviamo in questi dispositivi tecnici e processi naturali, solo che qui la grandezza fondamentale è la quantità di dati. Abbiamo diversi tipi di portatori di dati: l'elettricità, il suono, la luce e altro; e abbiamo dei trasbordatori di dati. In un altoparlante per esempio i dati sono trasbordati dall'elettricità alle onde sonore.

Ricordiamo che l'obiettivo del corso non è semplicemente insegnare la struttura o l'analogia. Il corso contiene molti dettagli tecnici e molti fenomeni naturali e la struttura serve soltanto ad organizzarli. Senza la struttura essi apparirebbero come indipendenti e non correlati fra loro, mentre usando l'analogia il processo di apprendimento risulta più facile. Ogni singolo fenomeno appare come un caso particolare di una classe di fenomeni più generale.

4. Bibliografia

Alcuni materiali citati possono essere scaricati da <www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>

Falk, G. e Herrmann, F. (1981). *Neue Physik - Das Energiebuch*. Hannover, Schroedel.

Falk, G., Herrmann, F. e Schmid, B. (1989). Diverse forme di energia o portatori di energia. *La Fisica nella Scuola XXII* (4), 169-172.

Schmid, B. (1982). Energy and its carriers. *Phys. Education* 17, 212-218.

Herrmann, F., Schmälzle, P. e Schmid, B. (1985). Information and its carriers. *Phys. Education* 20, 206-210.

Herrmann, F. (2006). *Der Karlsruher Physikkurs*. Repubblica e Cantone Ticino/ Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport/Divisione della scuola / Centro didattico cantonale.