

Didattica della fisica

Mod.A

Lezione n° 1

Nota: Le lezioni riportate sono un riassunto delle lezioni del modulo A della Prof. Vicentini, integrato con considerazioni dedotte da altri articoli della Prof. Vicentini e da considerazioni personali. Le frasi tra virgolette, se non diversamente specificato, sono state prese dagli articoli sopra indicati.

Nella prima lezione si parla di cinematica ovvero dello *studio del moto dei corpi indipendentemente dalle cause che lo producono*.

Concetti essenziali per tale studio:

posizione, spostamento, traiettoria, legge oraria, velocità, accelerazione.

Lo studio dei legami che intercorrono tra questi elementi si compie mediante rappresentazioni grafiche o attraverso l'analisi matematica:

$$S = f(t)$$

$$v = \frac{dS}{dt}$$

$$a = \frac{d^2S}{dt^2} = \frac{dv}{dt}$$

L'approccio cinematico allo studio del moto comporta:

- l'individuazione di un sistema di riferimento a cui riferire il moto stesso
- l'introduzione di variabili spaziali
- la definizione di traiettoria
- la specificazione dei vincoli che influenzano il sistema

I corpi si muovono in un certo *ambiente* che interagisce con il corpo stesso.

Per descrivere il moto di un oggetto dovremmo analizzare l'oggetto e l'ambiente e poi decidere cosa è possibile trascurare nello studio del moto.

La cinematica è la descrizione fenomenologica di un evento.

Si passa dalla cinematica alla dinamica quando si studiano le cause del moto: perché un corpo si ferma e perché si muove.

Le leggi della **cinematica precedono** quelle della **dinamica**; vengono prima della teoria, prima della costruzione di un modello scientifico.

Importanza dell'approccio fenomenologico nello studio della fisica

La didattica attuale mette in secondo piano gli aspetti fenomenologici rispetto ai modelli teorici: si esclude, cioè, dalla didattica, tutta la fase esplorativa che permette di costruire e di provare la validità dei modelli stessi. Riteniamo che l'approccio fenomenologico sia molto importante perché consente di comprendere meglio i modelli teorici stessi e perché consente all'alunno di capire cosa sia il *metodo scientifico*.

Cinematica generalizzata

L'approccio cinematico può essere esteso a diverse fenomenologie. Esso consiste nel definire quelle grandezze che consentono di descrivere un certo fenomeno in termini di leggi empiriche.

Nella didattica della fisica sarebbe opportuno partire dall'osservazione dei fenomeni della vita quotidiana: tutti i corpi tendono a raggiungere una situazione di equilibrio.

L'osservazione ci consente, inoltre, di capire che solo una scelta appropriata di parametri "rilevanti" ci permetterà di descrivere in modo semplice i fenomeni osservati.

Un grafico molto generale

Moltissimi fenomeni sono descritti da un grafico del tipo riportato in figura 1:

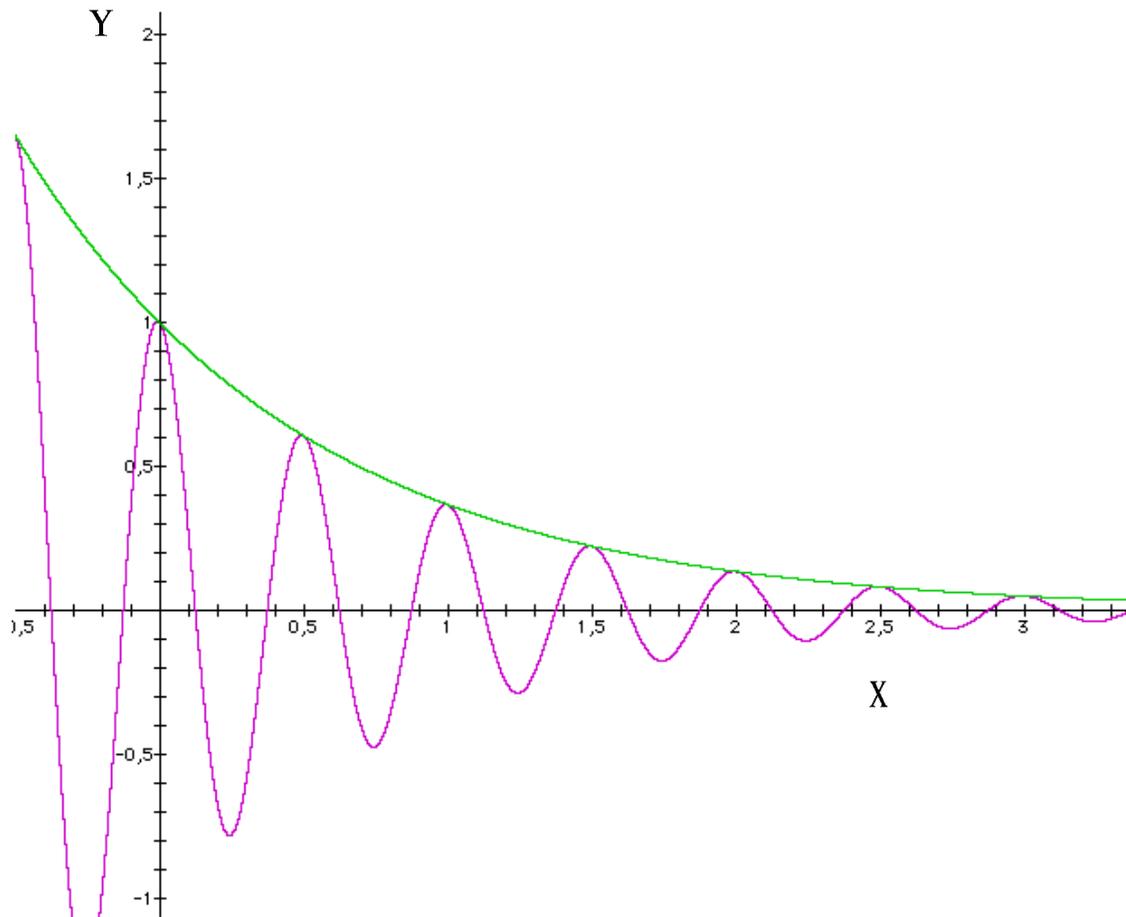


figura 1

in cui X e Y indicano, naturalmente, a seconda dei casi, delle grandezze fisiche anche molto diverse tra loro.

Riportiamo due esempi:

1. un condensatore che si scarica su una resistenza e su una induttanza può dare origine a una corrente (Y) che si smorza, nel tempo (X), senza oscillazioni (grafico verde) o con un andamento oscillante (grafico rosa) a seconda dei valori che assumono le grandezze R, L, C.
2. un pendolo "reale" tende a una situazione di equilibrio con un lento decadere dell'ampiezza (Y) delle oscillazioni.

Possiamo introdurre 2 parametri:

1. T =periodo delle oscillazioni smorzate (misurabile dal grafico rosa)
2. τ = costante di smorzamento (anch'essa misurabile dal grafico rosa)

Particolare interesse, come vedremo, rivestono i casi limite:

- oscillazioni "pure" $T \ll \tau$
- decadimento esponenziale $T \gg \tau$

Didattica della fisica

Mod.A

Lezione n° 2

Se la relazione tra **causa** ed **effetto** è *lineare* è possibile inquadrare fenomeni fisici **completamente diversi** tra loro in un unico formalismo.

In questo caso la relazione matematica che lega la causa all'effetto assume una forma particolarmente semplice nello spazio di Fourier delle frequenze.

Vediamo due esempi:

- $\mathbf{P}(\mathbf{w}) = \epsilon_0 \chi(\mathbf{w}) \mathbf{E}(\mathbf{w})$

- $I(\omega) = \frac{V(\omega)}{Z(\omega)}$

La prima relazione lega il momento di dipolo elettrico al campo elettrico in un *mezzo lineare*.

La seconda relazione lega la corrente elettrica (nel formalismo complesso) alla tensione applicata in un circuito in corrente alternata.

Uno schema molto utile, nello studio della fisica, è quello rappresentato in figura 2:

una "scatola nera" con due ingressi input/output. L'effetto misurato all'uscita dipende dalla causa all'ingresso e dalla natura della scatola. Ad esempio la *scatola* potrebbe essere un circuito elettrico, la *causa* la ddp applicata e l'*effetto* la corrente misurata.

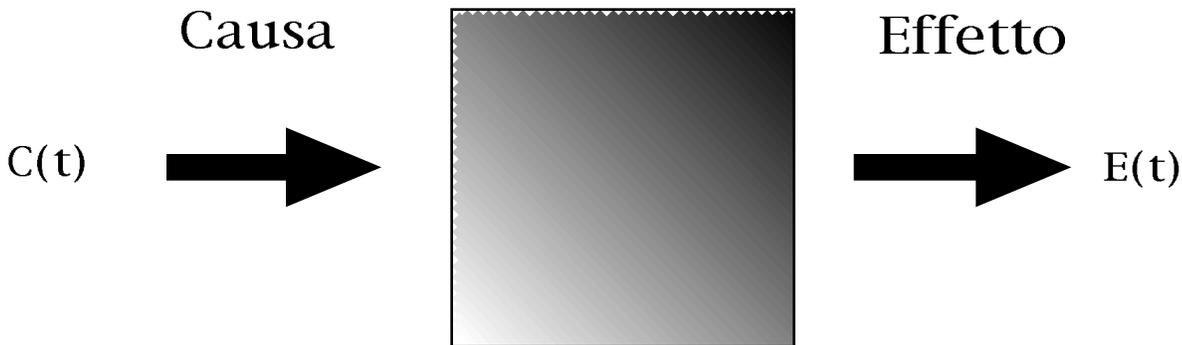


fig. 2

Se vogliamo avere delle informazioni sulla *scatola* operiamo in qualche modo sulla scatola e studiamo ciò che succede. In una prima fase della ricerca scientifica cerchiamo una relazione fenomenologica tra l'*uscita* e l'*ingresso*. Successivamente si costruisce una teoria scientifica per "spiegare" tale relazione.

La teoria della risposta lineare

Questa teoria presuppone una relazione di proporzionalità fra causa ed effetto nello spazio di Fourier

2.1 $E(\omega) = R(\omega)C(\omega)$

in cui:

2.2 $C(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(t)e^{i\omega t} dt$

$$E(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(\omega)e^{-i\omega t} d\omega$$

2.3 $E(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(t)e^{i\omega t} dt$

$$C(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(\omega)e^{-i\omega t} d\omega$$

$R(w)$, valutabile a posteriori come rapporto tra E e C , si chiama *funzione di risposta*.
La relazione 2.1, nello spazio dei tempi, assume la forma seguente:

$$2.4 \quad E(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(t-t')C(t')dt'$$

Delle considerazioni di carattere *fisico* impongono delle limitazioni alle possibili forme funzionali della risposta $R(t)$:

$$2.5 \quad \begin{aligned} R(t-t') &= 0 \quad \forall t < t' \\ (R(t) &= 0 \quad \forall t < 0) \end{aligned}$$

Infatti *l'effetto* $E(t)$ misurato al tempo t **non può dipendere** dai valori assunti dalla *causa* negli istanti successivi $t' > t$

La 2.4 si riscrive, quindi:

$$2.6 \quad E(t) = \int_{-\infty}^t R(t-t')C(t')dt'$$

E' interessante osservare che la limitazione 2.5, conseguenza del *principio di causalità*, impone una restrizione alle possibili forme funzionali, nello spazio di Fourier, delle funzioni di risposta *ammissibili*:

$$2.7 \quad \begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{A(w)}{w-w'}dw &= -B(w') \\ \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{B(w)}{w-w'}dw &= A(w') \end{aligned}$$

in cui $A(w)$ e $B(w)$ rappresentano, rispettivamente, la parte reale e immaginaria di $R(w)$:

$$2.8 \quad R(w) = A(w) + iB(w)$$

Le equazioni 2.7 permettono di definire *fisicamente*, date due grandezze mutuamente dipendenti, quale delle due debba essere considerata *causa* e quale *effetto*.

L'importanza della teoria della risposta lineare è nel fatto che **tutti** i fenomeni fisici che ubbidiscono al *principio di causalità* e tali che l'effetto sia una funzione lineare della causa sono descrivibili con un **unico** formalismo :

$$2.9 \quad \begin{aligned} E(t) &= \int_{-\infty}^t R(t-t')C(t')dt' \\ E(w) &= R(w)C(w) \end{aligned}$$

Osserviamo che la funzione $R(t)$ è interpretabile come una funzione di *memoria* nel senso che essa "pesa" il contributo di $C(t')$ negli istanti t' che precedono l'istante in cui si valuta $E(t)$.

Casi limite

* *Memoria infinita (schema Newtoniano)*

In questo caso $R(t)$ è costante.

Si arriva alla seconda legge della dinamica identificando, con ovvio significato dei simboli:

$$C(t) \rightarrow \mathbf{F}(t)$$

$$2.10 \quad E(t) \rightarrow \mathbf{v}(t)$$

$$R(t) \rightarrow \frac{1}{m}$$

In queste condizioni si ha, infatti:

$$2.11 \quad \mathbf{v}(t) = \frac{1}{m} \int_{-\infty}^t \mathbf{F}(t') dt'$$

che derivata fornisce:

$$2.12 \quad \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Principio d'inerzia

Se risulta, per un certo intervallo di tempo, $\mathbf{F} = 0$, la velocità rimane costante, “ricordando” tutte le cause passate.

* *Memoria infinitamente breve (schema Aristotelico)*

In questo caso $R(t)$ è una funzione impulsiva (una delta di Dirac).

Si arriva alla conclusione che la velocità è proporzionale al valore istantaneo della forza identificando:

$$C(t) \rightarrow \mathbf{F}(t)$$

$$2.13 \quad E(t) \rightarrow \mathbf{v}(t)$$

$$R(t) \rightarrow c\delta(t)$$

ovvero:

$$2.14 \quad \mathbf{v}(t) = c \int_{-\infty}^t \delta(t-t')\mathbf{F}(t')dt' = c\mathbf{F}(t)$$

Questa è la legge del moto a regime di un corpo immerso in un fluido viscoso sotto l'azione di una forza costante.

In questo schema possiamo inquadrare anche la legge di Ohm e la legge di Fourier.

Caso intermedio

studiamo il seguente caso:

$$C(t) \rightarrow \mathbf{F}(t)$$

$$2.15 \quad E(t) \rightarrow \mathbf{v}(t)$$

$$R(t) \rightarrow \alpha R_0 e^{-\alpha t}$$

Richiediamo, inoltre, che la forza sia costante ($\mathbf{F}(t) = \mathbf{F}_0$) e nulla per $t < 0$.

Si ha, in queste condizioni:

$$2.16 \quad \mathbf{v}(t) = \alpha R_0 \mathbf{F}_0 \int_0^t e^{-\alpha(t-t')} dt' = R_0 \mathbf{F}_0 (1 - e^{-\alpha t})$$

La forma funzionale 2.16 è quella che descrive il moto di un corpo in un mezzo viscoso in presenza di una forza costante.

Il caso $\alpha \rightarrow \infty$ (α "grande") ci riporta nello schema Aristotelico;

La 2.16 descrive anche l'andamento della carica di un condensatore in funzione del tempo in un circuito RC.

Considerazioni

Nel caso di *memoria infinita* il sistema è conservativo

Nel caso di *memoria infinitamente breve* il sistema dissipa con rapidità infinita

Nel caso intermedio abbiamo che il sistema dissipa più o meno rapidamente a seconda del valore della costante di smorzamento.

Un aspetto molto interessante connesso con questo tipo di formalismo è il seguente:

per ricavare la 2.16 non abbiamo avuto bisogno di introdurre **forze non conservative** (non esprimibili come il gradiente di un potenziale) come invece normalmente si fa per descrivere i sistemi non conservativi.

Possiamo, quindi, "sfruttare in generale il principio di conservazione dell'energia come elemento unificante per la descrizione dinamica di processi anche di natura completamente diversa"

Didattica della fisica

Mod.A

Lezione n° 3

Riprendiamo i grafici analizzati nella prima lezione:

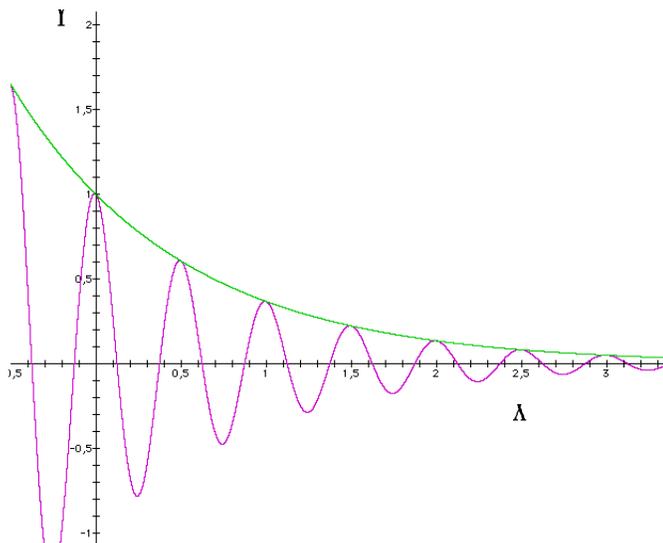


figura 1

Il grafico verde descrive, ad esempio, la scarica (la quantità di carica in funzione del tempo) di un condensatore in un circuito RC mentre, sotto certe condizioni determinate dai valori della capacità, della resistenza e dell'induttanza, il grafico rosa descrive la corrente che scorre in un circuito RLC in cui si sta scaricando un condensatore.

Moltissime altri fenomeni fisici possono essere descritti o dal grafico verde o da quello rosa.

L'importanza didattica dei grafici della fig.1 sta nel fatto che essi descrivono " *tutti quei fenomeni in cui una differenza iniziale in una variabile intensiva tende ad annullarsi nello stato finale di equilibrio* ".

Le due forme analitiche dei grafici di fig.1, che a seconda dei casi possono essere determinate per interpolazione dei punti sperimentali o dedotte da una teoria (come, ad esempio, nel caso dei circuiti elettrici) sono le seguenti:

grafico verde $Ae^{-\frac{x}{\tau}}$

grafico rosa $Ae^{-\frac{x}{\tau}} \cos(wx)$

Un altro fenomeno, descritto dai grafici di fig.1, che vedremo più in dettaglio è il seguente:

Si consideri un tubo a U riempito d'acqua e in cui sia stata imposta una differenza di livello $h_1 - h_2$ (vedi fig.2)

Se in prossimità del fondo si opera uno *strizzamento*, osservazioni qualitative permettono di stabilire quanto segue:

- a) andamento smorzato con oscillazioni con poco strizzamento
- b) andamento smorzato senza oscillazioni con sufficiente strizzamento

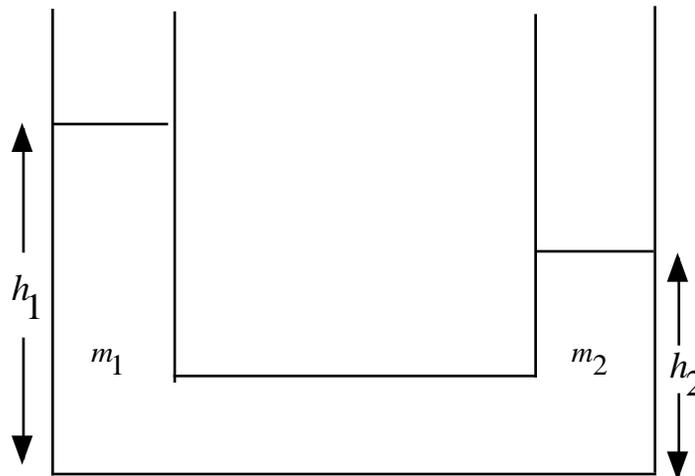


fig.2

Dal punto di vista della cinematica generalizzata l'approccio al problema consiste nel ricercare delle grandezze necessarie alla descrizione del fenomeno in termini di legge empirica.

Appare naturale considerare, come grandezza rilevante per la descrizione del fenomeno, la differenza di livello del liquido rispetto al livello di equilibrio verso cui il sistema tende.

Per fissare le idee concentriamo l'attenzione sulla parte sinistra del tubo di fig.2 e chiamiamo $h(t)$ tale differenza di livello. L'importanza didattica di questo esempio sta nel fatto che si possono introdurre concetti importanti sfruttando oggetti presi dalla vita quotidiana: un tubo, dell'acqua ecc.

Il principio di conservazione della massa, può essere qui facilmente introdotto :

$$3.1 \quad m_1(t) + m_2(t) = \text{costante}$$

da cui, con ovvio significato dei simboli:

$$3.2 \quad \phi_1 = \frac{dm_1(t)}{dt} = -\frac{dm_2(t)}{dt} = -\phi_2$$
$$\rho S_1 \frac{dh_1(t)}{dt} = -\rho S_2 \frac{dh_2(t)}{dt}$$

Caso a

Sperimentalmente osserviamo che

$$3.3 \quad \phi = \rho S \frac{dh(t)}{dt} = -ch$$

Non dovrebbe essere difficile misurare il flusso in funzione del tempo e notare che vale la 3.3

Caso b

Il caso b, sebbene più difficile da verificare sperimentalmente, comporta:

$$3.4 \quad \phi = \rho S \frac{dh(t)}{dt} = -ch + b \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Il principio di conservazione dell'energia

Immaginiamo una situazione, del tutto generale, in cui un sistema ha la **capacità potenziale di fare qualcosa**. Nel caso del fluido di fig.2 lo squilibrio iniziale permette al liquido di muoversi per un tempo limitato e con modalità descritte da uno dei due grafici di figura 1.

Nel caso di un condensatore la caduta di potenziale ai capi del condensatore carico permette, per un po', il passaggio di corrente nel circuito.

Nel caso del pendolo, lo squilibrio iniziale del sistema, permette al pendolo di muoversi per un po' prima di fermarsi dopo un tempo più o meno lungo.

Inventiamo una grandezza, **l'energia potenziale**, e richiediamo che essa sia una funzione delle coordinate generalizzate q_i . (nel caso del fluido la coordinata generalizzata è $q = h$)

Se il sistema ritorna nella condizione di partenza esso recupera completamente *la capacità potenziale di fare qualcosa*, cioè la sua **energia potenziale**, $U(q_i)$.

Nel caso di oscillazioni smorzate deduciamo, quindi, che il sistema recupera **in parte**, al variare del tempo, tale capacità potenziale ma dopo un tempo sufficiente lungo tale capacità è persa e non è più recuperabile. (a meno che non si intervenga dall'esterno).

Nel caso *conservativo* (caso limite di oscillazioni "pure"), postuliamo che l'energia potenziale non venga persa ma convertita, nel corso del processo, in un altro tipo di energia, l'energia cinetica, funzione delle derivate rispetto al tempo delle coordinate generalizzate: $K(\dot{q}_i)$. Limitiamoci al caso di una sola coordinata. La

forma funzionale dell'energia cinetica va **postulata** della forma: $K(\dot{q}) = \frac{1}{2} a \dot{q}^2$.

$$3.5 \quad U(q) + K(\dot{q}) = E = \text{costante}$$

Derivando rispetto al tempo:

$$3.6 \quad \frac{dU(q)}{dq} + a\ddot{q} = 0$$

La 3.6, nel caso della meccanica, è la seconda legge della dinamica.

Chiamiamo forza *generalizzata* l'espressione

$$3.7 \quad -\frac{dU(q)}{dq}$$

Riprendiamo il formalismo della teoria della risposta lineare e chiamiamo *causa* $-\frac{dU(q)}{dq}$ ed *effetto*, \dot{q} .

$$3.8 \quad \begin{aligned} \dot{q} &= -\int_{-\infty}^t R(t-t') \frac{dU(q)}{dq} \\ \ddot{q} &= -R(o) \frac{dU(q)}{dq} - \int_{-\infty}^t \frac{dR(t-t')}{dt} \frac{dU(t')}{dq} \end{aligned}$$

Confrontando la seconda delle 3.8 con la 3.6 vediamo che il caso conservativo implica l'annullarsi della derivata della risposta e che $aR(o) = 1$.

In realtà, aspettando un tempo sufficientemente lungo, *ogni* sistema si porta all'equilibrio senza tornare mai "indietro" spontaneamente. Il principio di conservazione dell'energia, per essere ancora valido, deve contenere un termine che, alla fine del processo, ha immagazzinato tutta l'energia potenziale iniziale. Postuliamo l'esistenza di un'altra energia, che chiamiamo energia interna, U_i , in modo tale che:

$$3.9 \quad U_i + U(q) + K(\dot{q}) = E = \text{costante}$$

dopo qualche passaggio matematico si arriva alla relazione seguente:

$$3.10 \quad \frac{dU_i}{dt} = \dot{q} \int_{-\infty}^t \frac{dR(t-t')}{dt} \frac{dU}{dq} dt'$$

La 3.10 mostra "come la dissipazione (trasferimento di energia da esterna a interna) sia legata alla maggiore o minore rapidità con cui la memoria decresce nel tempo, mentre il caso Newtoniano è il caso limite di una risposta costante o memoria infinita"

Notiamo che, nel linguaggio della termodinamica, la variazione di energia interna è connessa con la variazione di entropia del sistema: $\frac{dU_i}{dt} = T \frac{dS}{dt}$

"La funzione di risposta è in grado di gestire gli aspetti dinamici e termodinamici mentre le cause che li determinano entrambi sono sempre e solo forze conservative derivanti da un potenziale. Gli aspetti termodinamici sono gestiti dal termine $\frac{dR}{dt}$, mentre il secondo principio della termodinamica corrisponde al requisito che, in media, la funzione di risposta sia decrescente nel tempo. Una tale schematizzazione concilia sia il principio di conservazione dell'energia che la crescita dell'entropia che assumono insieme il ruolo di organizzatori cognitivi unificanti per tutta la fisica "

Considerazioni conclusive sulle prime tre lezioni

L'approccio alla didattica della fisica, proposto in queste lezioni, è, sostanzialmente, un invito a invertire lo schema didattico forza-lavoro-energia potenziale nell'altro energia potenziale-forza (conservativa) senza introdurre le forze non conservative. Confesso di essere rimasto impressionato dalle potenzialità didattiche di questo tipo di approccio: la teoria della risposta lineare è del tutto generale e il principio di conservazione dell'energia è il cardine della fisica. La possibilità di introdurre, *subito*, la funzione entropia e di legarla alla perdita del sistema della capacità di "tornare indietro" permette di introdurre, *subito*, l'altro principio cardine della fisica: il secondo principio della termodinamica. L'approccio iniziale, di tipo euristico e,

successivamente, la formulazione di un principio, formalizzato con un'equazione, è il metodo scientifico in azione.

Le difficoltà di una traduzione di quanto visto nelle secondarie è nelle trasformate di Fourier non nelle derivate e integrali che possono essere spiegati facilmente rispettivamente come variazione di una grandezza diviso un tempo *molto piccolo* e come somme di tante *piccole parti*. La trasformata di Fourier è, purtroppo, un ostacolo, a mio giudizio, difficile da aggirare.

Occorrerebbe inventare un percorso didattico, in grado di far capire il senso delle trasformate di Fourier. L'uso del computer potrebbe essere determinante per far capire che una qualsiasi funzione "ragionevole" può essere pensata come *somma di tante armoniche* e che, conoscendo queste armoniche, si può "tornare indietro".

Naturalmente si può anche pensare di "tagliare" la teoria della risposta lineare, partendo ugualmente dal principio di conservazione dell'energia e da questo dedurre, ad esempio, il secondo principio della dinamica. Questo approccio non richiede l'uso di complicate relazioni matematiche che sono necessarie in fisica per fare dei calcoli, delle previsioni quantitative, ma non per capire il metodo scientifico né per comprendere i concetti fondamentali della fisica.

Riflessioni critiche sull'uso degli strumenti didattici

Non ho mai usato, se non il giorno in cui discussi la mia tesi di laurea, la lavagna luminosa e questo perché ogni volta che ho dovuto "subire" questo strumento ho capito molto poco di ciò che l'insegnante voleva comunicare. L'uso della lavagna tradizionale, al contrario, permette di seguire i passaggi, dà il tempo all'alunno di rendersi conto di ciò che gli si sta dicendo; lo studente ha il tempo di riflettere un attimo; ha la possibilità di interrompere e di chiedere spiegazioni. E' chiaro che se, invece, si vuole dare solo una "visione d'insieme", se *non si vuole*, per motivi didattici, che lo studente si perda nel seguire i passaggi; se vogliamo mostrare agli studenti le caratteristiche essenziali, fondamentali, di un grafico ben disegnato, l'uso della lavagna luminosa è necessario.

L'uso appropriato di uno strumento può influire sulla comprensione e sull'attenzione dello studente.

Didattica della fisica

Mod.A

Lezione n° 4

L'immagine della scienza

Riflessioni sulle proprie idee sulla scienza

Assumiamo che esista, senza entrare nel mondo della filosofia, una realtà esterna che chiamiamo mondo reale. Nel mondo reale accadono dei fatti, osserviamo dei fenomeni, facciamo, usando degli opportuni strumenti, delle misure ecc.

La comunità scientifica è composta da:

- a) scienziati sperimentali
- b) scienziati teorici

I primi si occupano delle misure, spesso progettano essi stessi degli apparati sperimentali ecc.

Spesso gli sperimentali hanno, della teoria che devono "verificare", una conoscenza appena decente a differenza dei teorici (i quali, a loro volta, spesso, non sono in grado nemmeno di accendere una lavagna luminosa) i quali propongono dei **modelli di realtà** che servono per "spiegare" i dati sperimentali ma anche, soprattutto, prevedere fatti nuovi. Gli scienziati che siano sia sperimentali che teorici credo che ormai rappresentino un'eccezione.

E' fondamentale rilevare che le teorie appartengono a un mondo ideale mentre i fenomeni esistono nel mondo reale.

Una **teoria**, per essere accettata dalla comunità scientifica, quindi, deve superare una serie di test:

- a) deve "spiegare" i dati sperimentali
- b) deve essere in grado di prevedere fatti nuovi
- c) se vengono proposte più teorie che superano i test a e b viene accettata quella che meglio si adatta al criterio di semplicità

La **teoria** non spiega la realtà (probabilmente inconoscibile) ma è una descrizione più o meno accurata di ciò che succede nel mondo. E', in altri termini, la *mappa* che serve per orientarsi nel *territorio*.

Abbiamo più volte detto che una teoria, per essere accettata, deve superare un rigido controllo sperimentale. Ma **“quando una teoria deve venire controllata sperimentalmente questa operazione coinvolgerà molto di più che non le sole proposizioni che formano la teoria sotto controllo. Bisognerà arricchire la teoria di assunzioni ausiliarie quali, per esempio, le leggi e teorie che governano l'uso degli strumenti che vengono impiegati. Se la previsione che segue da questo labirinto di premesse dovesse rivelarsi falsa, allora tutto ciò che la situazione consente di concludere dal punto di vista logico è che almeno una delle premesse deve essere falsa, ma non di identificare la premessa falsa”* (* Fabio Sebastiani: Metodologia delle scienze sperimentali)

La scienza e la politica

La comunità scientifica interagisce con la comunità sociale e con il potere politico che deve fornire i finanziamenti per le ricerche. Non è, pertanto, affatto automatico che una teoria valida possa essere verificata: è necessario riuscire a convincere i politici dell'opportunità di fornire i finanziamenti e questo è tutt'altro che facile. La ricerca scientifica, con buona pace degli idealisti, è fortemente condizionata dal potere politico. In Italia, ad esempio, gli stanziamenti per la ricerca sono stati sempre esigui

A che serve la scienza?

- a) consente di realizzare oggetti tecnologici?
- b) è in grado di controllare i fenomeni?
- c) è utile all'uomo?

A mio avviso le risposte alle domande a e b sono, senz'altro, affermative.

Per quanto riguarda la domanda c la risposta è complessa e non posso, qui, affrontare il discorso. Pongo una sola ulteriore domanda: sono utili le bombe atomiche?

La mia idea è che la scienza, in realtà, *serve* per appagare la sete di conoscenza degli esseri umani.

Ulteriori considerazioni emerse durante la lezione

In che modo gli scienziati contribuiscono alla diffusione della scienza?

Vengono presentati, nell'attività didattica, gli strumenti usati nella ricerca, gli apparati che vengono usati, gli strumenti conosciuti. Si vuole che gli studenti acquisiscano la capacità di analizzare i dati per poi generalizzare. Negli articoli di ricerca si propone uno schema che è una ricostruzione razionale di ciò che potrebbe essere successo. Nello schema compaiono:

- a) l'apparato finale
- b) l'analisi dei dati

Gli scienziati non dicono nulla sulla scienza

“Conoscenza Comune e Conoscenza Scientifica”

commenti all'articolo di M. Vicentini e M. Mayer

Tutti gli individui hanno delle idee su come funziona il mondo. I bambini compiono, fin dai primi mesi di vita, “esperimenti ” con vari oggetti: li lanciano, “studiano ” come essi rimbalzano quando toccano il suolo ecc. Gli esseri umani costruiscono degli schemi di conoscenza che permette loro di sopravvivere nell'ambiente con il quale interagiscono. Questi schemi possono essere definiti di conoscenza comune, essendo fondati sugli input che provengono dall'ambiente esterno. In tempi successivi i bambini attingono informazioni dagli insegnanti e dalla propria cultura di appartenenza e questi “input sociali ” vanno ad inserirsi nello schema. (non sempre in modo appropriato)

Possiamo quindi dire che un individuo, attingendo informazioni dal mondo naturale e dalla comunità sociale costruisce schemi di conoscenza ovvero dei modelli di realtà che gli permettono di fare previsioni, di immaginare esperienze diverse e, qualora nuovi input entrino in contrasto con gli schemi questi vengono modificati dall'individuo.

La conoscenza scientifica

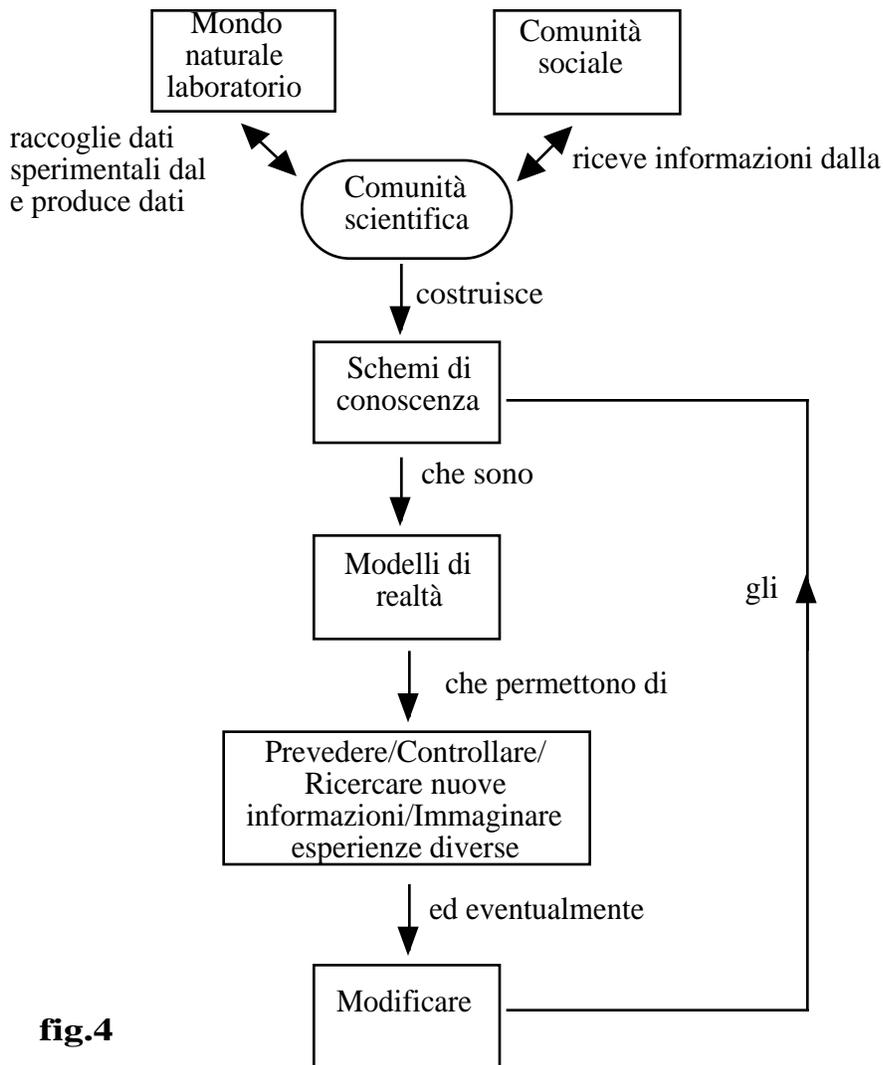


fig.4

In fig.4 vediamo come la comunità scientifica costruisce degli schemi di conoscenza (conoscenza scientifica): la comunità di scienziati, interagendo con il mondo naturale, con il laboratorio (in cui vengono realizzate, sfruttando degli strumenti anche molto sofisticati, delle esperienze scientifiche) e con la comunità sociale costruisce dei modelli di realtà che permettono di “ spiegare ” i dati sperimentali e che, soprattutto, consentono di fare previsioni (che vanno, poi, verificate sperimentalmente) su nuovi fatti. Se uno scienziato (o un gruppo di scienziati) propone un modello quest'ultimo, per essere accettato, viene sottoposto al controllo della comunità. Non sempre un modello valido (si pensi agli ostacoli che hanno impedito, inizialmente, l'accettazione della teoria della relatività ristretta) viene prontamente accettato dagli scienziati: quando ciò che viene proposto sconvolge gli schemi precedenti, collaudati, assimilati, radicati nelle menti dei membri della comunità scientifica, c'è una fortissima resistenza ad accettare il nuovo, come la storia della scienza insegna.

Quest'ultimo aspetto prova che abbandonare uno schema di conoscenza per accettarne un altro è un fatto estremamente traumatico anche per gli scienziati. E' molto importante per un insegnante, anche a livello di scuola secondaria superiore, tenere presente tutto questo quando insegna la fisica. D'altra parte, come può l'insegnante non ricordare quanto sia stato traumatico, anche per lui, abbandonare gli schemi di conoscenza spontanea? Come può non tenere ben chiaro in mente che quelli schemi spontanei tornano a "farsi sentire" ogni volta che egli non riesce a "spiegare" un fenomeno, su cui in precedenza non aveva mai riflettuto, in termini dei modelli scientifici studiati a scuola?

Un altro aspetto su cui un insegnante dovrebbe meditare è il seguente: l'insegnamento della fisica consiste nel fornire *subito* il "prodotto finito" ovvero i modelli di realtà più idonei per descrivere il mondo naturale mentre i tentativi, gli errori degli scienziati, il dibattito interno alla comunità scientifica di fatto vengono esclusi dall'insegnamento. Questo è un grave errore: l'essere umano (ma anche gli animali) impara per tentativi ed errori ed è provato che se un individuo ha la possibilità di "vedere", oltre che il "prodotto finito", anche tutti i tentativi e gli errori compiuti dagli altri, impara più facilmente.

Due metodi di indagine a confronto

Il **metodo galileano** consiste nello "*scartare tutto ciò che si considera accessorio e contingente per poter generalizzare e quantificare*"

Nell'insegnamento non ci si sofferma quasi mai sul fatto che l'*accessorio* è definito dal contesto nel senso che se vogliamo studiare la caduta di un grave (certo non un foglio di carta!) possiamo trascurare, almeno in prima approssimazione, la resistenza dell'aria. E' altresì evidente che se invece si vuole studiare il moto di un paracadutista, la presenza dell'aria risulta **determinante** per spiegare il moto di regime a velocità costante.

Il **metodo indiziaro** è usato nella storia, nella psicanalisi, nella giurisprudenza: i dettagli, i piccoli indizi, le tracce assumono un'importanza fondamentale per capire, per ricostruire, per spiegare i fatti.

E' evidente che, in questo caso, ogni situazione è a sé stante, non ripetibile, non generalizzabile.

Nella ricerca scientifica si applicano entrambi i metodi: quello indiziaro coinvolge la prima fase della ricerca per stabilire cosa può essere, **in quel particolare contesto**, considerato accessorio; quello galileano coinvolge la fase successiva in cui si tenta di **generalizzare e quantificare**.

Il processo di costruzione della conoscenza comune, non essendoci la necessità, l'utilità di generalizzare e quantificare, segue le regole indiziarie: ciò che serve è prevedere e controllare eventi particolari.

Gli schemi di conoscenza comune "in azione"

In relazione al **movimento** il senso comune sembra operare delle distinzioni ad esempio tra *moto violento* (moto relativo al lancio di un corpo verso l'alto) e *moto naturale* (caduta dei corpi verso il basso) che vengono spiegati in maniera diversa: il primo invocando la forza di gravità mentre il secondo viene spiegato ipotizzando l'esistenza di una *forza di spinta* che risulta essere uguale e contraria a quella di gravità nel punto più alto della traiettoria del corpo lanciato verticalmente verso l'alto.

Un altro aspetto interessante è il seguente: per il senso comune, se un oggetto viene lasciato cadere da un uomo in corsa, nel momento del distacco dell'oggetto dall'uomo, l'oggetto si muove lungo la verticale come se fosse stato lanciato cadere da un uomo fermo.

Per quanto riguarda la **luce** si rileva che per la maggior parte degli studenti, il fatto di vedere la luce **non** implica necessariamente che la radiazione luminosa stessa debba raggiungere gli occhi anche se gli alunni conoscono bene (sapendole anche applicare) le leggi dell'ottica geometrica.

Significativo è anche il caso dei **circuiti elettrici**: le analogie con i circuiti idraulici, spesso insegnate a scuola, possono disorientare perché inducono ad un'analisi di tipo sequenziale.

L'atomo che hanno in testa gli studenti, infine, è un oggetto molto piccolo che **conserva le proprietà macroscopiche** del corpo a cui appartiene. Questa idea, bisogna ammetterlo, era anche la mia, almeno fino al 3° anno dell'università. In effetti l'insegnamento nelle secondarie (e anche nell'università) è carente per molti versi.

Didattica della fisica
Mod.A
Lezione n° 5

In questa lezione viene proposta l'esperienza seguente:

- due bacinelle piene d'acqua sono in equilibrio in assenza del "pesetto" P (figura 3)
- si immerge un "pesetto" nelle condizioni descritte dalla figura3: esso è in equilibrio in una certa posizione che può essere variata agendo opportunamente sull'apparato S.
- si osserva che il "pesetto" determina uno squilibrio tra le bacinelle A e B: la bacinella A si abbassa.

Si immergono, uno alla volta, due oggetti fatti di materiale diverso e si osserva che a **parità di volume immerso** la quantità di acqua da aggiungere nella bacinella B per riportare il sistema in equilibrio è sempre la stessa. L'esperienza suggerisce, quindi, che *la spinta aggiuntiva verso il basso*, osservata sulla bacinella A, non dipende dalla *natura* del corpo immerso né dal suo *peso* ma solo dal volume di acqua spostata dal "pesetto" P.

A questo punto potremmo spiegare l'esperienza senza invocare il terzo principio della dinamica: il sistema è equivalente a quello che si ottiene considerando il sistema costituito dalle bacinelle A e B *senza l'apparato S* con una quantità di acqua aggiuntiva, di volume uguale a quello della parte immersa del "pesetto" P, nella bacinella A.



fig.3



Nelle scuole secondarie questa esperienza è particolarmente interessante perché permette di vedere come si applica il metodo scientifico:

- Prima fase consistente ***nell'osservare*** un fenomeno: la vaschetta A si abbassa
- Seconda fase consistente nel variare qualche parametro (forma, peso e natura delle masse appese) per vedere se e come questi parametri influenzano l'equilibrio
- Terza fase consistente nel ***formulare un'ipotesi***: la spinta aggiuntiva dipende solo dal volume di acqua spostata (quindi il sistema è equivalente a....)

Quarta fase consistente nel ***verificare*** l'ipotesi: si ***misura*** la quantità di acqua da aggiungere in B per portare il sistema in equilibrio e si controlla se il suo volume coincide (entro gli errori di misura) con quello della parte immersa del corpo (basta vedere quanta acqua fuoriesce da *una sola* vaschetta completamente piena di liquido dentro cui è immerso il "pesetto" P e confrontare questo volume con quello dell'acqua aggiunta in B) L'importanza, dal punto di vista didattico, di esperienze di questo tipo consiste nel fatto che, in questi casi, non sono necessari calcoli complicati o avere conoscenze pregresse nel campo della fisica per spiegare i fenomeni osservati. Si insegna, però, ad applicare il metodo scientifico, a vedere come si giunge a formulare

un'ipotesi e come questa debba essere verificata sperimentalmente. Si insegna, insomma, a ragionare in termini scientifici.

Didattica della fisica

Mod.A

Lezione n° 6

Nell'insegnamento della fisica occorre partire da ciò che gli studenti sanno. Dobbiamo, quindi porci il problema: ***cosa sanno gli studenti?*** Abbiamo visto qualcosa su come operano gli schemi di conoscenza spontanea e, le considerazioni che abbiamo fatto in quella sede vanno tenute presenti nell'insegnamento. E' fondamentale partire dalla fenomenologia del quotidiano. Le teorie ingenue sono altamente funzionanti nel quotidiano.

Cosa non sanno gli studenti?

- a) non sanno definire cosa è essenziale per la descrizione di un fenomeno e cosa può essere scartato, almeno in prima approssimazione, per studiare un fenomeno altrimenti troppo complesso
- b) non si sono mai posti il problema di quantificare e generalizzare
- c) come si passa dall'osservazione all'ipotesi e alla verifica dell'ipotesi
- d) non sanno costruire apparati necessari per la sperimentazione
- e) non conoscono il significato dei termini scientifici

Nell'insegnamento della fisica, la storia della scienza e degli scienziati non viene insegnata.

Prima di Galileo c'è Aristotele che ha scritto dei libri di fisica e in cui sono proposti dei modelli della realtà che sono molto simili a quelli che hanno in testa gli studenti. Cielo e terra sono due mondi distinti regolati da leggi differenti: nel mondo terrestre gli oggetti si muovono e si fermano; nel mondo celeste i corpi si muovono e continuano a farlo e, inoltre, per molti di essi le orbite sono periodiche. L'importanza di ripercorrere il cammino che ha comportato l'abbandono dello schema aristotelico è fondamentale per la comprensione della meccanica newtoniana: è necessario spiegare agli studenti perché il modello di realtà proposto da Aristotele, o più in generale gli schemi di conoscenza spontanea, sono inadeguati per la descrizione dei fenomeni. E' importante, inoltre, quando si insegna la meccanica insegnare agli studenti che trascuriamo (e perché è lecito farlo) il fatto che gli oggetti muovendosi si riscaldano. La fisica, così come viene proposta nelle secondarie (ma anche nell'università) non è assolutamente soddisfacente perché omette delle considerazioni fondamentali per favorire la comprensione dei concetti scientifici.

Nella didattica della termodinamica non si fa mai riferimento al tempo ma la ragione di ciò non viene mai spiegata.

La termodinamica nella storia

- **prima del 1820:**

Galileo si era occupato di caldo/freddo

gli antichi avevano fatto lo stesso ed era stata formulata anche l'ipotesi atomica (certo non gli atomi così come li intendiamo noi)

- **1820:**

la meccanica newtoniana era già stata formulata

- **1820-1850:**

sono gli anni in cui si sviluppa la termodinamica dei processi

- **1900 circa**

si conosceva sia la meccanica che l'elettromagnetismo di Maxwell

- **1950-1960**

sono gli anni in cui la termodinamica (in realtà si dovrebbe parlare di **termostatica**) macroscopica dell'equilibrio viene riformulata

La termodinamica che si studia nelle secondarie è, di fatto, la termostatica con i suoi **4** principi (principio 0, I,II,III).

Nell'insegnamento della termodinamica, il primo principio viene di fatto applicato ai soli sistemi termodinamici e non si riesce a cogliere la generalità di questo principio. Si parla poco del terzo principio nel senso che esso viene enunciato ma non si approfondiscono le implicazioni teoriche.

Quando si parla di **equazioni di stato** ci si riferisce sempre solo a quella dei gas, a volte solo a quella del gas ideale. In genere non si accennano nemmeno quelle dei liquidi e dei solidi. L'equazione di stato dei materiali elettrici e magnetici non viene mai menzionata. Ad esempio l'equazione di stato di un materiale elettrico è quella che lega il campo elettrico alla polarizzazione e in cui compare la costante dielettrica.

Alcune falsità e

ambiguità terminologiche

- a) il calore è una forma di energia
- b) il calore si trasmette per conduzione, convezione e irraggiamento
- c) calore specifico e calore latente

Un insegnante di fisica dovrebbe riflettere sul fatto che il concetto di calore **non** è un concetto della termostatica. Dovrebbe riflettere sul fatto che “*mentre l'operazione L , [nella 6.1], corrisponde solo a un trasferimento di energia senza variazione di entropia, l'operazione Q , [nella 6.2], corrisponde a un trasferimento di energia e di entropia. Se volessimo continuare ad attribuire un significato scientifico alla parola calore potremmo solo concludere che calore è nello stesso tempo energia e entropia*”.

E' bene notare anche che il **calore radiante** è un trasferimento di energia senza entropia e che il **calore specifico** è, a differenza del calore, una **funzione di stato**. Il concetto di calore, non è un concetto scientifico e, pertanto, non dovrebbe essere usato.

$$6.1 \quad \Delta U = Q - L$$

$$6.2 \quad \Delta S = \frac{Q}{T}$$