

GLI STRUMENTI COMUNICATIVI DELLA FISICA

M. Vicentini

Introduzione

Lo strumento fondamentale di qualsiasi tipo di comunicazione è il linguaggio verbale che può essere usato nelle due forme della comunicazione orale e della comunicazione scritta.

In ambedue le forme vi sono due direzioni d'uso, l'una pertinente a chi emette il messaggio e l'altra pertinente a chi lo riceve.

Così nella comunicazione orale abbiamo le direzioni del parlare e dell'ascoltare e nella comunicazione scritta quelle dello scrivere e del leggere.

E' banale affermare che in ambedue le forme e in ambedue le direzioni un elemento essenziale affinché possa avvenire la comunicazione è costituito dalla condivisione del linguaggio.

Sorge quindi la domanda, nel trattare di comunicazione scientifica, di quale sia il linguaggio della scienza negli elementi fondamentali per l'avvio di un processo comunicativo.

Nella scienza (e nella fisica in particolare) si usano, come nel linguaggio comune, frasi composte da parole ma si usano anche frasi in cui le parole sono accompagnate da simboli, formule e grafici ovvero dagli strumenti matematici che fanno parte integrante del linguaggio scientifico.

Inoltre, in un testo scientifico è necessario, per descrivere gli esperimenti, introdurre rappresentazioni schematiche di apparati sperimentali mentre può risultare utile, per esemplificare la logica delle argomentazioni e/o delle procedure presentare diagrammi di flusso, schemi a blocchi e mappe concettuali.

La conoscenza di tutti gli strumenti linguistici della scienza è necessaria allo scrittore di testi scientifici per una presentazione degli argomenti adeguata al livello (o ai vari livelli) dei possibili lettori.

Tale conoscenza è anche necessaria ai lettori per poter seguire la logica interna al discorso stesso acquisendo così la base della comprensione.

Vi proponiamo quindi alcune riflessioni su tali strumenti.

1) Le parole e i loro significati

La comunicazione fra persone di culture diverse, ciascuna caratterizzata da un proprio linguaggio, necessita di un vocabolario per la traduzione dei significati delle parole.

Pensando alla conoscenza scientifica come una cultura specifica che vive nell'ambito della cultura generale di ogni popolo, è importante notare che la lingua d'uso della conoscenza scientifica condivide con i vari livelli di conoscenza comune del popolo stesso le parole, la grammatica e la sintassi.

Le parole, tuttavia, acquistano significato in relazione al contesto ed è quindi importante sottolineare alcune caratteristiche di contesto della conoscenza scientifica.

In primo luogo, mentre nella conoscenza comune la negoziazione della validità degli schemi interpretativi della realtà avviene per lo più implicitamente, nella comunità scientifica la regola del gioco prescrive l'esplicitazione degli schemi la cui validità deve essere provata attraverso critiche e verifiche incrociate.

In secondo luogo, almeno per le scienze sperimentali, le esperienze sul mondo naturale vengono nello stesso tempo allargate e selezionate attraverso gli esperimenti di laboratorio (allargate in quanto in laboratorio si possono produrre fenomeni non osservabili nella situazione dell'ambiente naturale, selezionate in quanto in laboratorio si producono esperienze in situazioni particolari di definizione del contesto ambientale).

In terzo luogo ogni comunità scientifica definisce la base di conoscenza necessaria per intraprendere l'attività di ricerca, e qualificante rispetto alla possibilità di intervenire nel dibattito sulla conoscenza medesima.

Tale base di conoscenza è costituita dagli schemi interpretativi costruiti dalla comunità scientifica nel corso della sua storia, validati dalla conferma del loro potere predittivo. Vediamo così che conoscenza scientifica e conoscenza comune sono due diverse "culture" sia per la base di esperienze e di conoscenze sia per le modalità di evoluzione. Entrambe però vengono "comunicate": è lecito supporre una ulteriore differenza riguardante l'uso del linguaggio.

Il linguaggio è fatto di parole. In qualsiasi lingua possiamo distinguere tre tipi fondamentali di parole: le parole che designano oggetti concreti (*cane, pietra, albero, ecc.*), le parole che designano oggetti astratti (*verità, bellezza, bontà, forza, ecc.*), le parole che connettono (*e, quindi, perché, ecc.*; ma anche: *è, hanno, con*; ovvero verbi, avverbi, congiunzioni, preposizioni). Si apprende, crescendo, che le parole che designano oggetti concreti possono essere usate sia per indicare un particolare oggetto presente alla nostra percezione o comunque percepibile in date situazioni spaziali e temporali, ma anche per indicare una classe di oggetti che hanno caratteristiche comuni con alcuni oggetti di cui abbiamo avuto esperienza diretta (il mio cane - il cane, gli alberi del parco - l'albero).

Queste parole, nella negoziazione di significati della comunicazione verbale, presentano un basso margine di ambiguità. Diverso è il caso delle parole che indicano oggetti astratti per le quali l'interazione verbale ammette un largo margine di ambiguità. A volte le stesse parole possono anche essere usate per indicare cose diverse ma in genere parole diverse indicano cose diverse e la competenza linguistica è definita dalla quantità di parole che si sanno usare nei contesti appropriati con le opportune sfumature di significati.

La conoscenza scientifica non può prescindere dall'usare in larga misura lo stesso linguaggio della conoscenza comune. In particolare le parole che designano le connessioni tra concetti mantengono, eventualmente con puntigliosa proprietà di

linguaggio, le caratteristiche del linguaggio comune. Le parole che designano oggetti concreti possono tuttavia acquistare ambiguità rispetto al linguaggio quotidiano in quanto possono essere assunte, per indicare specifici oggetti inventati dalla ricerca scientifica, parole del linguaggio comune con una alterazione di significato (vaso per indicare vene o arterie, in fisica e in inglese *spin*-trottola per indicare il momento magnetico).

D'altra parte le parole che designano oggetti astratti possono perdere la loro comune ambiguità di significato attraverso la loro precisa definizione scientifica (forza, colore, forma). E vi sono anche parole che entrano e si diffondono nel linguaggio comune, acquisendovi la caratteristica ambiguità, pur provenendo dal linguaggio scientifico in cui non erano ambigue (energia, atomo).

Vediamo così la necessità, nella comunicazione tra conoscenza scientifica e conoscenza comune, della negoziazione dei significati. Va inoltre tenuto presente che anche a livello di linguaggio, oltre che di contenuti, non si ha "una" conoscenza scientifica ma tante conoscenze scientifiche, almeno tante quanti sono i punti di vista disciplinari.

Strumenti utili per una riflessione sui diversi significati delle parole in relazione ai contesti sono le mappe semantiche e le mappe concettuali.

Già lo stesso uso della parola "mappa" (presa dal contesto geografico) indica che si tratta di rappresentazioni grafiche. La mappa semantica raccoglie nelle due dimensioni di un foglio le varie connotazioni di significato di una stessa parola. Un esempio è mostrato in fig.1 per la parola "forma" (parola usata nel linguaggio scientifico biologico).

Nell'area in alto a sinistra della figura la forma è vista come assetto complessivo mentre in alto a destra la forma è vista come insieme di elementi e in basso a sinistra è vista come configurazione alla quale ci si conforma.

La mappa concettuale, a differenza di quella semantica che tende ad esplicitare i vari significati di una stessa parola, vuole invece esplicitare nell'ambito di un particolare contesto, le relazioni tra le parole - concetti - specifici al contesto stesso.

Una mappa concettuale dunque è una rappresentazione grafica delle relazioni fra concetti. Essa può essere costruita avendo presenti un numero limitato di informazioni e regole:

- a) si prendono in considerazione parole "concetto", che designano oggetti concreti o astratti (i nomi), parole "evento", che designano accadimenti (nomi provenienti da verbi) e parole di connessione (verbi, avverbi, congiunzioni, preposizioni);
- b) le parole "concetto" ed "evento" sono rappresentate sul foglio in spazi delimitati da una linea chiusa;
- c) gli spazi che racchiudono le parole "concetto-evento" sono connessi con linee orientate sulle quali sono indicate le parole di connessione;
- d) la struttura della mappa, in particolare nel suo andamento verticale, esprime relazioni gerarchiche tra i concetti (ovvero le parole non devono essere distribuite

a caso sul foglio ma secondo sequenze prima ----> dopo ---->, complesso ----> semplice ---->, generale ----> particolare, ecc.);

- e) lo stesso concetto non dovrebbe comparire più di una volta;
- f) una mappa deve poter essere letta in forma di discorso compiuto da una persona diversa da chi l'ha costruita. Ne deriva la necessità di esplicitare le parole di connessione.

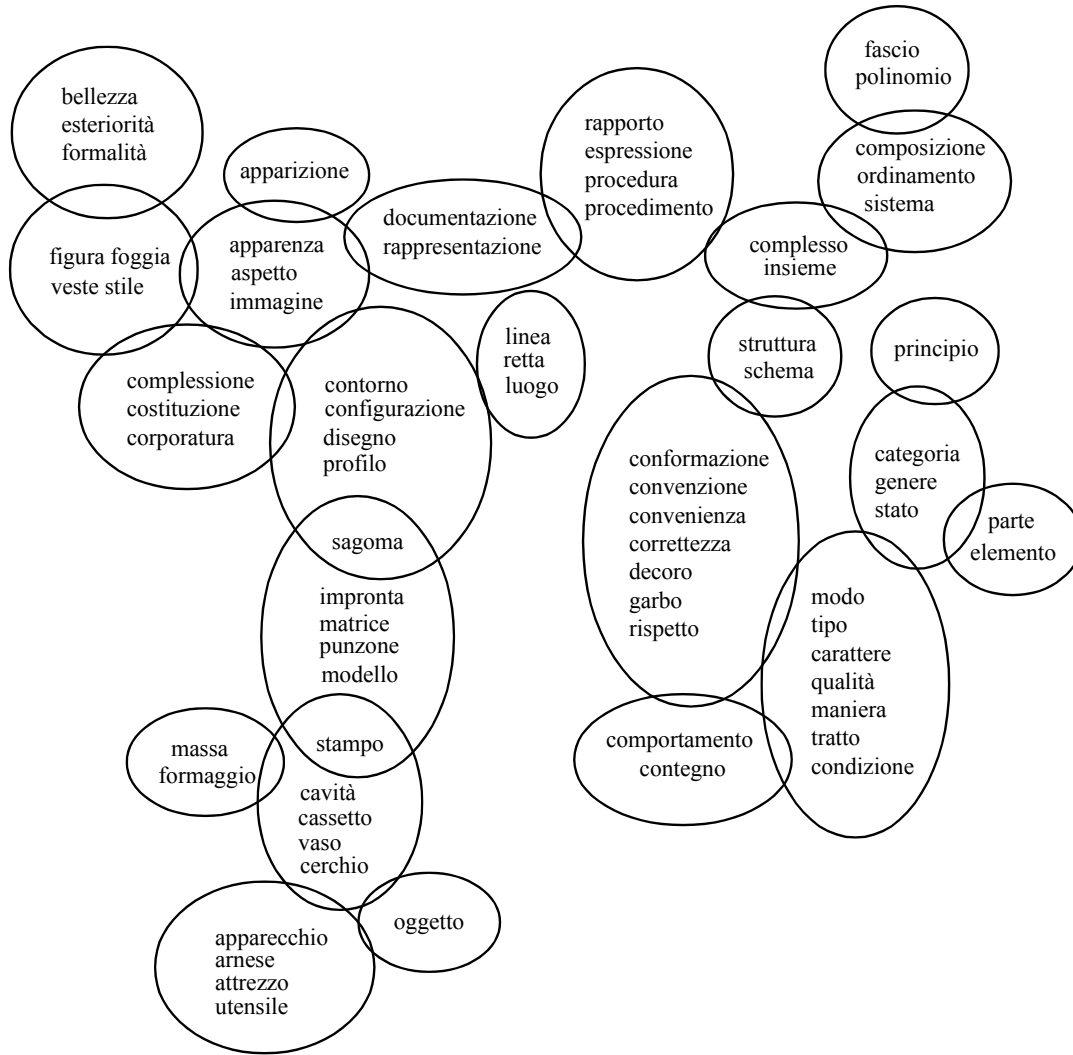


Fig. 1 - Mappa semantica di forma

Un esempio di mappa è mostrato in figura 2. Tale mappa è stata costruita a partire da un brano scritto (vedi appendice).

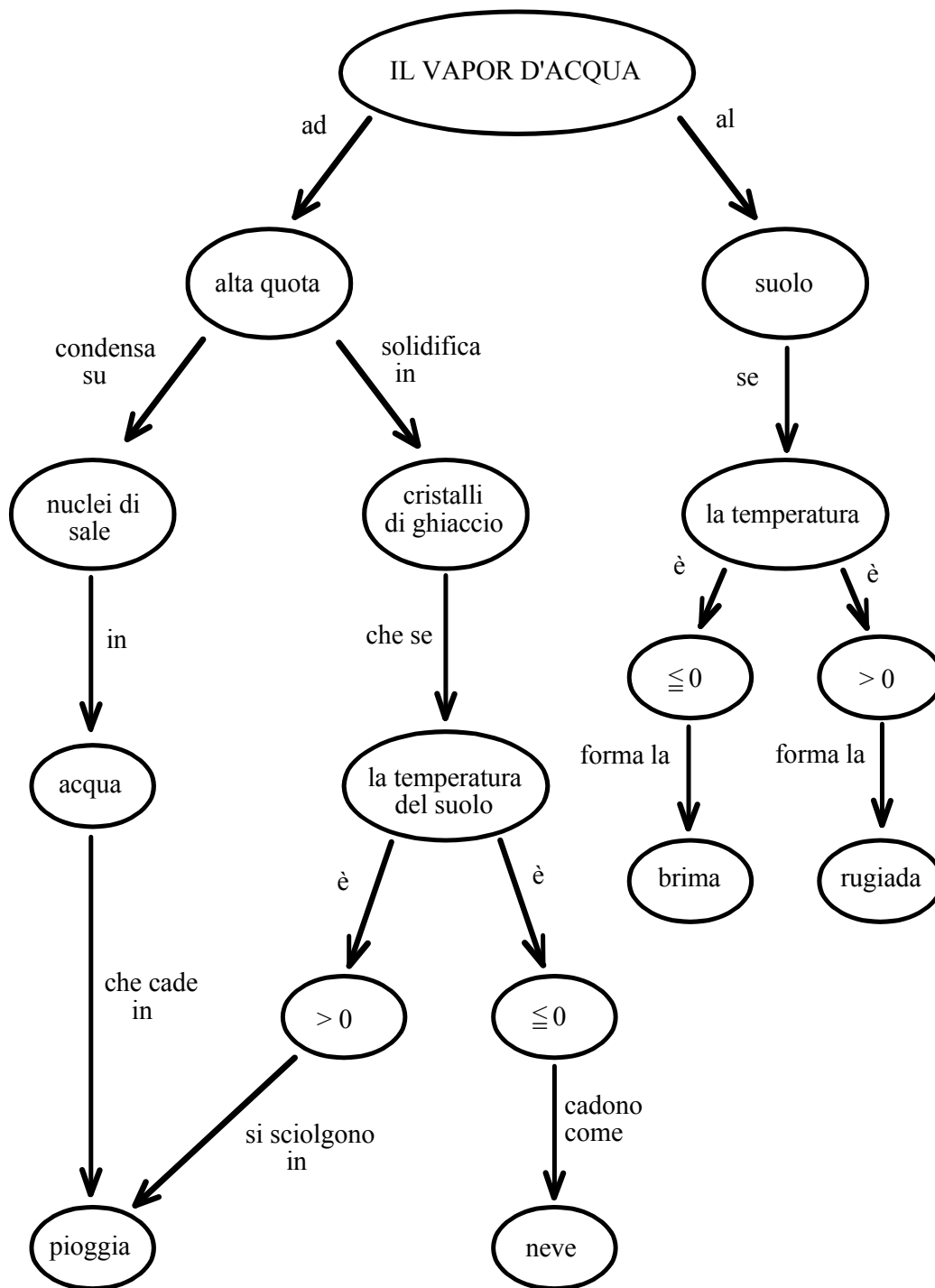


Fig. 2 - Mappa concettuale di un brano di un libro di testo sulle precipitazioni atmosferiche

Nel brano, oltre ai concetti e alle relazioni tra concetti essenziali per sviluppare il discorso sulle precipitazioni atmosferiche (quale vuole essere presentato dall'autore) compaiono concetti e parole legate ad aspetti linguistici, comunicativi, retorici). La mappa elimina questa parte del discorso proponendo in qualche modo

solamente il suo scheletro (le ossa-concetti ma anche le giunzioni-conessioni tra i concetti). E' da notare tuttavia che il lettore-costruttore della mappa, può scegliere diversi livelli di essenzialità del discorso, decidendo di esplicitare o meno concetti utili ma non fondamentali. La mappa di figura 3 è costruita da un diverso lettore e mostra un diverso livello di essenzialità per lo stesso brano.

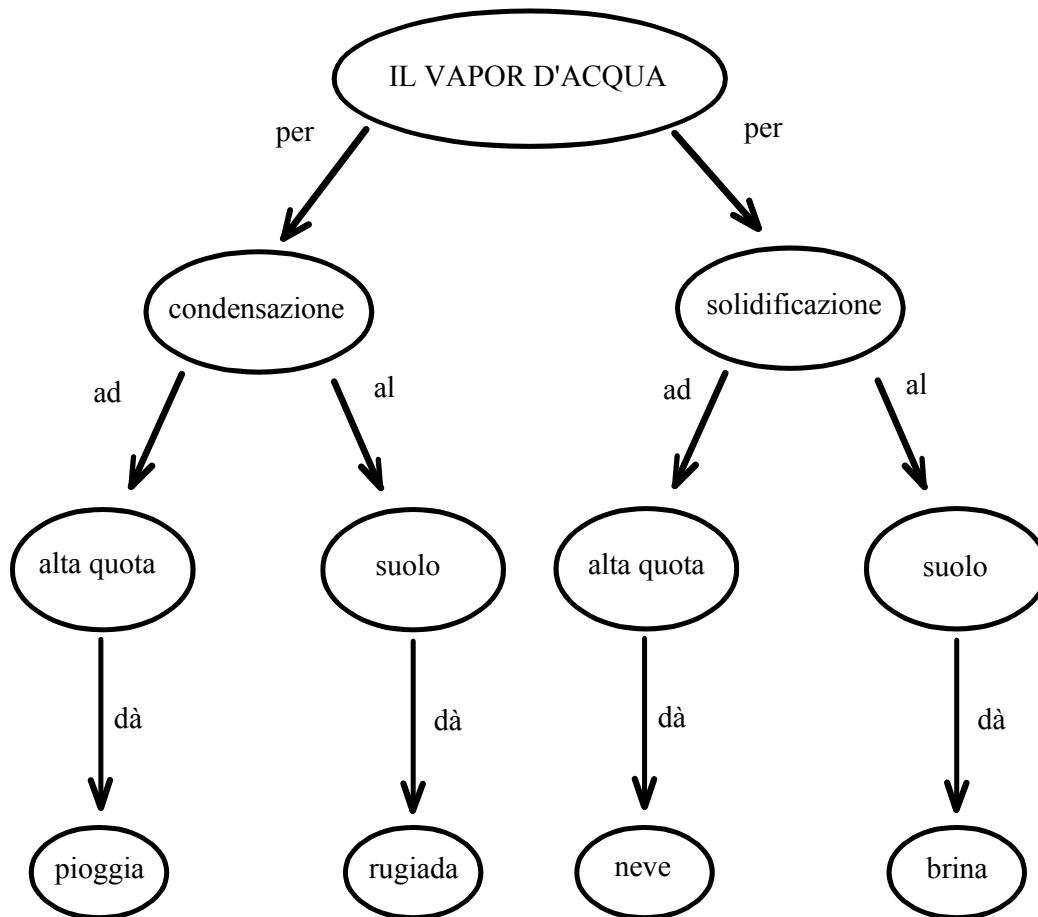


Fig. 3 - Mappa semplificata dello stesso brano

Fermo restando che le potenzialità didattiche della costruzione di mappe concettuali possono essere comprese solo nel porsi ad eseguire l'esercizio di costruzione, può essere utile rilevarne alcuni aspetti ed evidenziarne i limiti.

Una mappa concettuale è ovviamente una rappresentazione schematica di un universo (il "discorso") nella quale vengono esplicitati solo i concetti e le relazioni fra di essi che sono scelti dal costruttore come particolarmente rilevanti.

Quando si fa una mappa di un argomento scientifico le parole-concetto indicate fanno riferimento al loro significato nel contesto scientifico. Gran parte delle parole hanno anche significato in contesti del vivere comune che possono o meno essere in conflitto col significato scientifico.

La mappa (come prodotto finito) trascura queste possibilità che quasi inevitabilmente emergono nel corso della attività di negoziazione che si stabilisce quando la mappa viene costruita da un gruppo di pari.

2) Il linguaggio matematico

La comunicazione di conoscenze in ambito fisico richiede l'uso di proposizioni composte da parole, formule, linee e punti.

Come esistono regole per una corretta composizione delle proposizioni e frasi contenenti parole, così esistono regole per una corretta composizione delle proposizioni composte di formule e di quelle composte di linee e punti, ovvero i grafici. Sia le formule che i grafici sono essenzialmente strumenti di comunicazione scritta. Uno dei motivi dell'abbinamento, nel sistema scolastico superiore, delle cattedre di matematica e di fisica può essere fatto risalire al fatto che le formule e i grafici possono essere visti come elementi del linguaggio matematico applicato alla fisica.

Ciò tuttavia pone problemi in quanto come le parole acquistano significato nelle frasi e le frasi nel contesto del discorso, così le frasi in linguaggio algebrico e grafico acquistano significati parzialmente diversi nei contesti della matematica e della fisica.

Il contesto della matematica è un contesto astratto in cui numeri e formule sono oggetti astratti su cui eseguire giochi logici.

Nel contesto della fisica numeri e formule sono ancora oggetti astratti il cui significato è tuttavia strettamente legato alla loro adeguatezza a rappresentare gli oggetti e i fenomeni concreti che costituiscono il referente empirico della fisica.

Facciamo un esempio:

$$y = k x/z^2 \quad (1)$$

La formula, dal punto di vista matematico esprime una relazione di proporzionalità diretta tra la variabile y e la variabile x e di proporzionalità inversa di y con il quadrato della variabile z . Applicata a un fenomeno fisico la stessa formula può essere usata per indicare come varia, in funzione della distanza z , il campo elettrico y generato dalla carica puntiforme x : il campo elettrico è tanto più grande quanto più grande è la carica generatrice e quanto più ci si trovi vicino ad essa.

Ancora un esempio. L'espressione matematica più generale per una parabola è:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (2)$$

Questa espressione è la più generale in quanto riassume, per particolari valori dei parametri a , b e c , tutti i casi di posizione del vertice e di concavità di parabole con asse di simmetria *verticale*.

L'espressione più generale per una dipendenza di tipo parabolico tra le variabili fisiche y ed x è del tipo:

$$y = ax^2 \quad (3)$$

In questo caso l'espressione è la più generale in senso fisico in quanto pone in evidenza le caratteristiche essenziali della relazione fisica, con una scelta appropriata del sistema di riferimento. Il passare ad una espressione più generale in senso matematico non è altro che cambiare sistema di riferimento.

Un altro esempio della differenza tra matematica e fisica si ha nell'uso del simbolo di uguaglianza. In matematica l'uguaglianza è una relazione che ha le proprietà di riflessività ($a = a$ per tutti i valori di a), simmetria (se $a = b$ allora $b = a$), transitività (se $a = b$ e $b = c$ allora $a = c$).

In fisica il segno di uguaglianza ha significati diversi a seconda del contesto:

- nel contesto di una definizione il segno = indica la corrispondenza tra il simbolo della grandezza che viene definita e i simboli di altre grandezze che si suppongono note. Esempio: $\rho = m/V$ è la definizione di densità;
- nel contesto di una relazione tra grandezze fisiche il segno = indica la corrispondenza tra i valori di tali grandezze. Esempio: $V = Ri$.

Vediamo ora in dettaglio alcuni strumenti grafici che costituiscono parte essenziale di un discorso di fisica elementare.

Premettiamo una riflessione sul confronto fra il linguaggio verbale e il linguaggio grafico.

Il linguaggio verbale si sviluppa in una unica direzione, la dimensione temporale. Le cose si dicono in successione, prima e dopo le une rispetto alle altre (nei testi scritti le parentesi e le note a piè di pagina permettono di tenere discorsi paralleli ma in realtà bisogna in qualche modo sospendere il "prima" in attesa di altri "dopo"). Un foglio di carta permette l'utilizzo delle dimensioni spaziali per presentare più cose insieme. Ovviamente ai fini della comunicazione scientifica sono state stabilite regole per una corretta formulazione dello strumento grafico.

2.1) Grafici cartesiani

Vengono utilizzati per:

- comunicare e rappresentare dati sperimentali;
- esplicitare andamenti fenomenologici;
- rappresentare relazioni formali.

Le regole che permettono di costruire grafici si possono così riassumere. Sugli assi ortogonali del grafico cartesiano matematico devono essere indicate le variabili fisiche intorno alle quali si svolge il discorso. Il grafico deve essere accompagnato da una didascalia esplicativa. Nella figura 4 sono mostrati due esempi di rappresentazione di dati sperimentali: nel primo esempio, l'andamento del calore specifico dell'acqua in funzione della temperatura, sono evidenziati i valori numerici

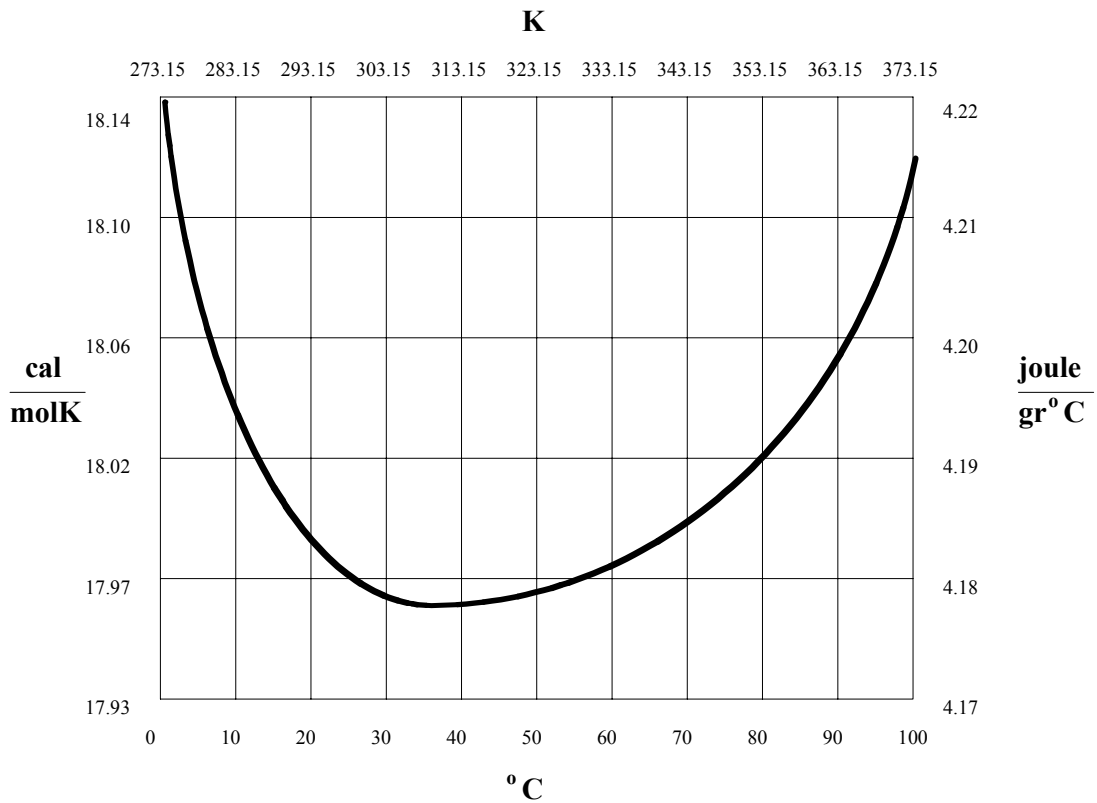


Fig. 4.1 - Il calore specifico dell'acqua in funzione della temperatura

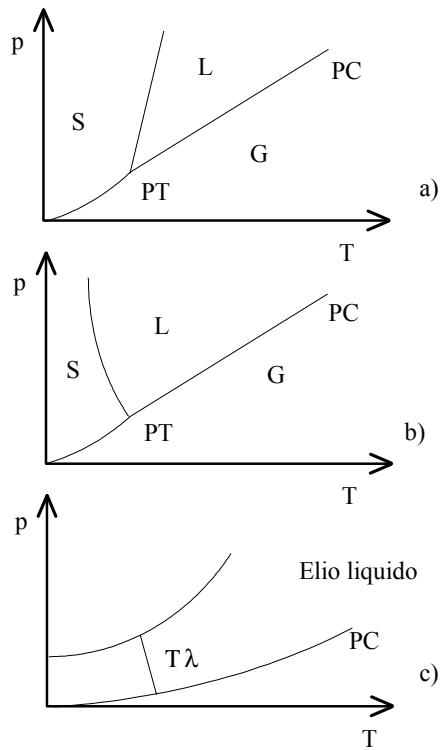


Fig. 4.2 - I tre tipi dei diagrammi di fase pT per le sostanze pure

ricavati sperimentalmente; nel secondo esempio, il diagramma pressione-temperatura per i vari tipi di sostanze pure, si mostrano gli andamenti qualitativi delle curve di coesistenza fra le fasi solida-liquida-gassosa. Questo grafico non è che la proiezione della rappresentazione tridimensionale (vedi fig.5) del comportamento delle sostanze al variare di pressione, volume e temperatura.

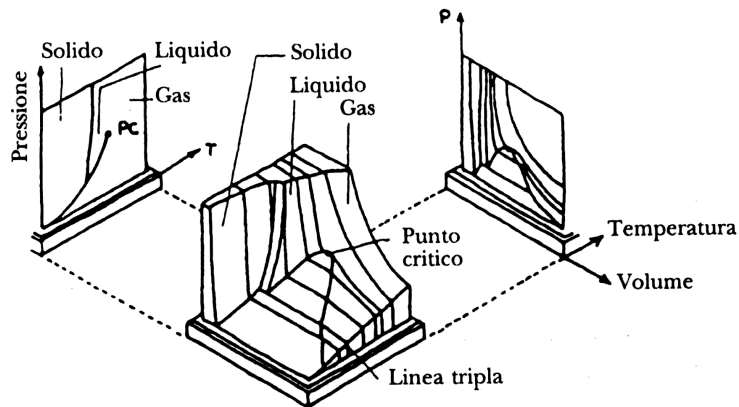
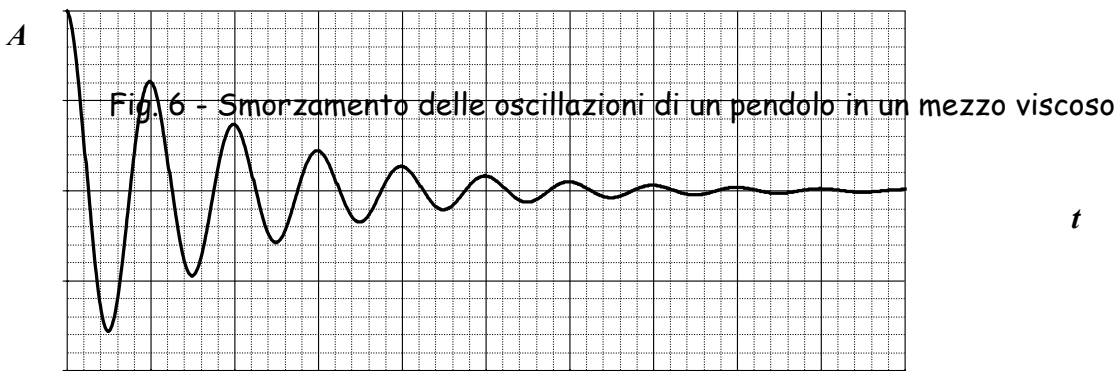


Fig. 5 - Il diagramma pVT tipico e le proiezioni sui piani PV e PT

Questi tipi di grafici, in cui si evidenzia più l'aspetto della relazione funzionale tra le grandezze che non i valori sperimentali, sono molto simili alle rappresentazioni di andamenti fenomenologici che possono tuttavia prescindere dalla effettiva realizzazione della misura.

Un esempio di questo tipo è mostrato in figura 6 per lo smorzamento delle oscillazioni di un pendolo in un mezzo viscoso quale può essere previsto dalla semplice osservazione visiva del fenomeno.

In figura 7 sono mostrati alcuni grafici spazio/tempo per un oggetto solido in movimento.



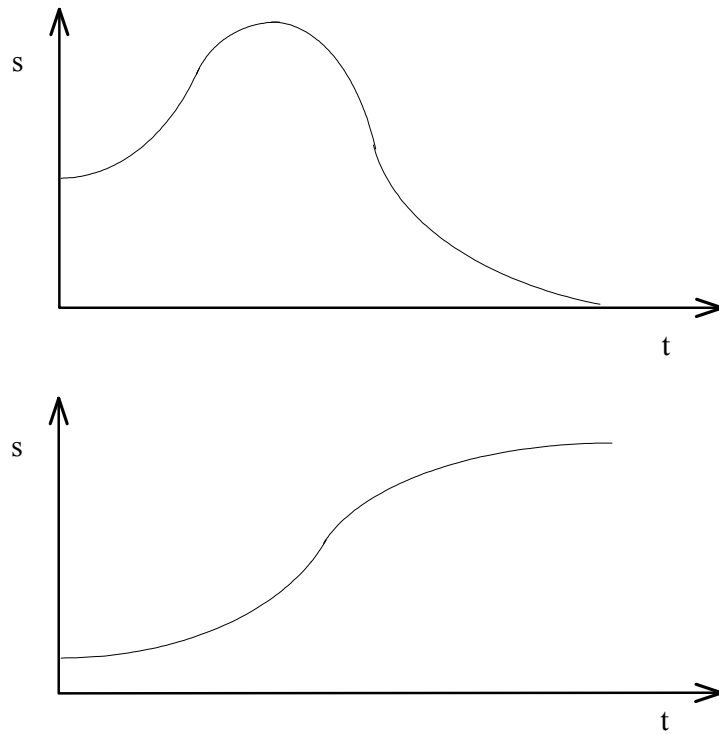


Fig. 7 - Grafici spazio/tempo che descrivono il movimento di un oggetto solido

La figura 8 rappresenta invece una relazione formale tra due grandezze di tipo esponenziale. Questo grafico ci permette di focalizzare l'attenzione su una regola del gioco sperimentale nella interpretazione dei dati legate alla ricerca di un opportuno cambiamento di variabili in modo da ottenere una rappresentazione "lineare" dei dati.

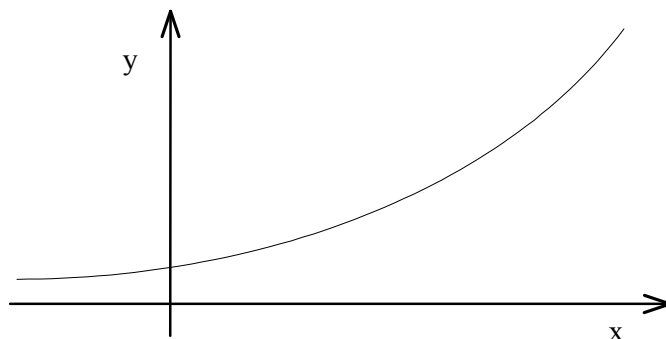


Fig. 8 - Il grafico della funzione $y = Ae^{\alpha x}$

E' ovvio infatti che mentre è difficile stabilire visivamente quanto i punti di figura 9 si discostino da un andamento esponenziale è più facile stabilire quanto i punti di figura 10 si discostino da un andamento lineare.

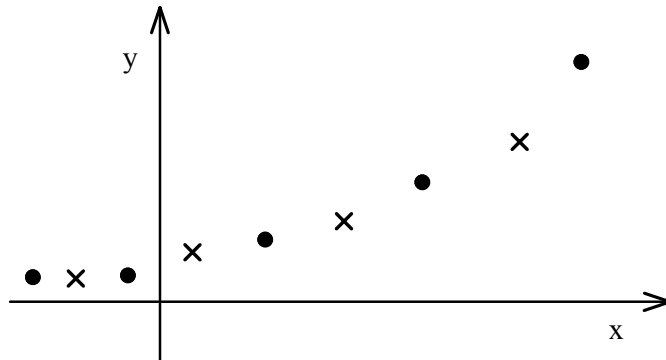


Fig. 9 - Questi dati sperimentali seguono una legge esponenziale?

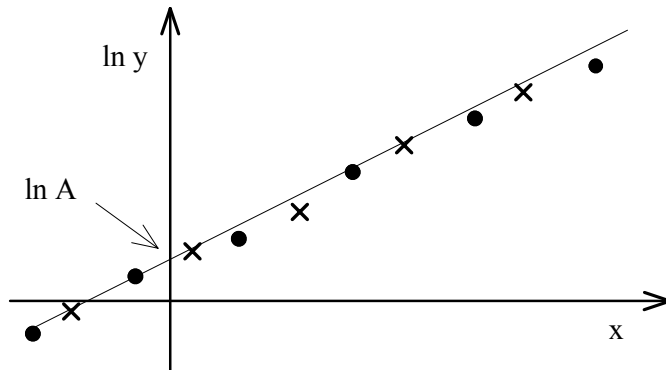


Fig. 10 Linearizzazione della funzione esponenziale

Di fatto i punti di figura 10 sono ottenuti dai punti di figura 9 attraverso l'operazione logaritmo. Infatti l'andamento esponenziale

$$Y = A e^{ax} \quad (4)$$

può essere espresso dalla legge lineare

$$\ln y = \ln A + ax \quad (5)$$

3) Altri strumenti grafici

3.1) Come abbiamo detto nella introduzione la comunicazione delle tecniche sperimentali richiede la rappresentazione grafica di apparati sperimentali.

Un esempio di tale rappresentazione è mostrato in figura 11 per un apparato di raffreddamento mediante la demagnetizzazione adiabatica.

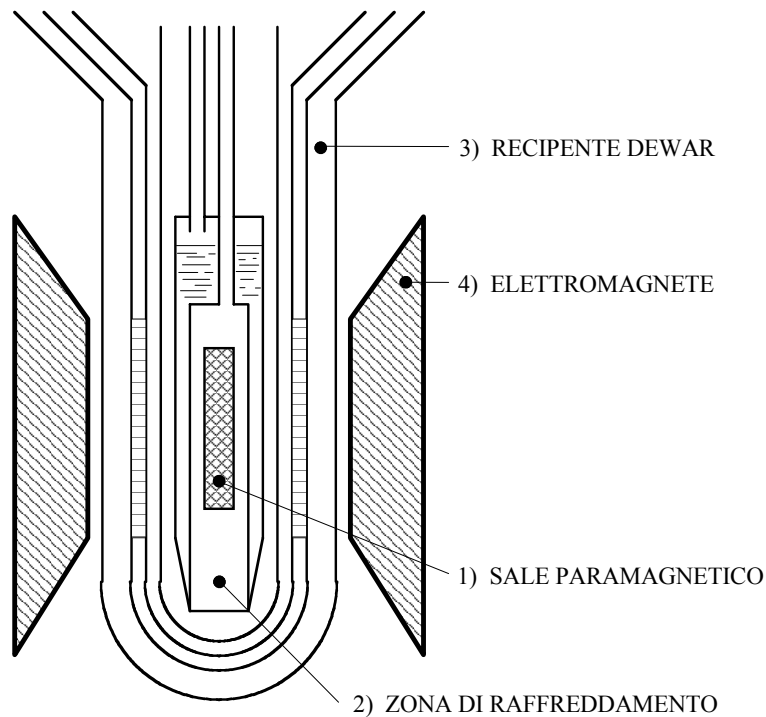


Fig. 11

Essa mostra i componenti essenziali dell'apparato che non possono essere mostrati attraverso fotografie. E' ovvio che la comprensione del funzionamento di tale apparato richiede la conoscenza del contesto in cui si situa l'esperimento. L'analisi dell'apparato può essere utile per avvalorare la validità dei risultati scientifici ottenuti tramite esso. Negli articoli scientifici che presentano risultati sperimentali con apparati innovativi un paragrafo specifico viene usualmente dedicato alla illustrazione attraverso schemi dell'apparato sperimentale e degli strumenti di misura.

3.2) Diagrammi a blocchi

Per esplicitare la logica delle procedure scientifiche può essere utile l'uso di diagrammi a blocchi. Un esempio è mostrato in fig.12 per illustrare il rapporto teoria/esperimento dalle osservazioni iniziali alla verifica sperimentale di una legge matematica.

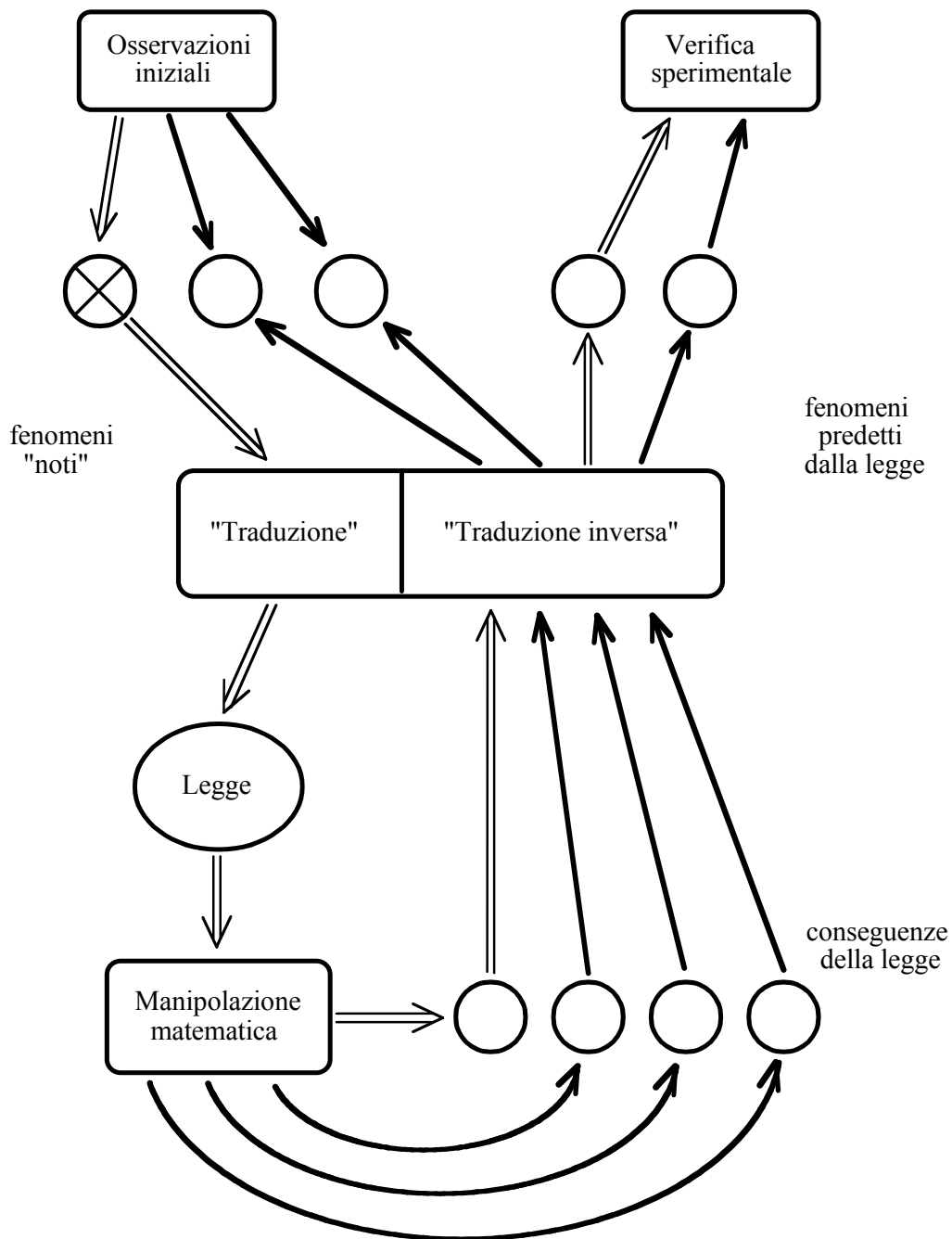


Fig. 12 - Diagramma a blocchi che illustra in un ciclo il passaggio dalle osservazioni sperimentali alla formulazione di una legge, ai suoi sviluppi matematici con le relative conseguenze e previsioni di fenomeni da verificare sperimentalmente per definire la validità della legge stessa (da De Heer 1986).

Schemi di questo tipo possono essere particolarmente utili come supporto visivo ad una comunicazione orale nel focalizzare alcuni aspetti del discorso che può articolarsi intorno allo schema stesso.

APPENDICE

Le precipitazioni atmosferiche

Il processo di formazione delle varie precipitazioni atmosferiche è molto complicato e ancora oggi non del tutto noto. Un tempo si pensava che le gocce di pioggia non fossero che grosse goccioline di nube; ma è stato mostrato che la sola condensazione non può dare luogo a pioggia, tranne nel caso in cui siano presenti nuclei giganti di sale marino (del diametro compreso tra 1 e 10 micron): in questo caso, però, la quantità di pioggia è molto piccola. Sembra, invece, che, se una zona di una nube è a bassa temperatura, si formino in essa cristallini di ghiaccio che, cadendo, urtano altri cristallini, che aderiscono ad essi, e goccioline, che solidificano. Quando, d'inverno, la temperatura a terra è sotto zero, questo agglomerato di cristallini di ghiaccio giunge al suolo sotto forma di neve, quando, invece, la temperatura a terra è maggiore di zero, la neve fonde e si ha la pioggia. In altri casi sarebbero grosse gocce che si ingrandirebbero cadendo, fino a formare gocce di pioggia di circa 1 millimetro di diametro.

Spesso, nelle notti serene d'inverno, la superficie del suolo si raffredda intensamente per irraggiamento. Il vapor d'acqua dell'atmosfera si condensa allora sul suolo sotto forma di goccioline che costituiscono la rugiada; ad essa contribuisce però notevolmente anche l'acqua che, per capillarità, sale dal terreno e, in alcuni casi, quella essudata dalle stesse piante. Se la temperatura del suolo è inferiore a 0°C, si ha invece la brina; per il fenomeno opposto alla sublimazione, il vapor d'acqua dell'aria passa direttamente dallo stato di vapore allo stato solido.

Quando il vapore di acqua dell'atmosfera si condensa, libera il suo calore di condensazione.

E' stato calcolato che in un temporale che abbia circa 5 Km di diametro, l'acqua, condensata sotto forma di cristalli di ghiaccio e di goccioline, può raggiungere il mezzo milione di tonnellate; in questa condensazione sono state liberate $3 \cdot 10^{14}$ calorie, pari a una energia di 100 milioni di kilowattora. Proprio il calore latente liberato nella condensazione del vapor acqueo dell'atmosfera costituisce la principale fonte di energia per la produzione degli uragani e dei cicloni.

Il vapor d'acqua, dunque, determina le mutevoli condizioni dell'umidità atmosferica. In un ciclo perenne, esso evapora dall'acqua, si eleva, si diffonde, si condensa, cade al suolo, fluisce al mare per poi evaporare di nuovo (da E. Amaldi e G. Amaldi, Fisica per i licei, Bologna, Zanichelli, 1984).

PROPOSTE DI ATTIVITA'

Attività 1 - Rappresentazione grafica di andamenti fenomenologici

Dare una rappresentazione grafica delle variazioni di temperatura in uno scaldabagno la cui acqua, normalmente termostata a 60°C, venga usata alle 8 di mattina per lavare i piatti, alle 9 per la doccia del capofamiglia e alle 10 per il bagno del pupo.

Attività 2 - Lettura di grafici

Descrivere i movimenti eseguiti dagli oggetti i cui grafici spazio/tempo sono mostrati in figura 7.

Attività 3 - Costruzione di diagrammi di flusso

Costruire i diagrammi di flusso:

- del denaro da un conto corrente bancario
- del funzionamento di una automobile

Attività 4 - Costruzione di mappe semantiche

Costruire la mappa semantica della parola "teoria" raccogliendone i possibili usi e significati da alcuni vocabolari della lingua italiana. Idem per le parole "forze", "energia", "calore".....

Attività 5 - Costruzione di mappe concettuali

Scegliere un brano da un capitolo di un libro e costruirne la mappa concettuale.

Attività 6 - Costruzione di mappe concettuali

Costruire la mappa concettuale di un argomento di vostra conoscenza.

Attività 7 - Interpretazione di formule

Leggere la formula seguente:

$$R = \frac{2V_0^2 \sin \vartheta \cos \vartheta}{g}$$

La formula si riferisce al moto di un proiettile ed esprime la dipendenza della distanza orizzontale R percorsa dal proiettile lanciato con velocità V_0 in direzione con angolo ϑ con l'orizzontale. Definire lo schema fisico in cui la formula si applica, le approssimazioni sottintese.

Attività 8

Costruire lo schema di:

- una macchina fotografica
- un orologio
-