

PROGETTO PLS – UNIVERSITA' DEGLI STUDI MILANO-BICOCCA  
CORSO DI AGGIORNAMENTO IN DIDATTICA DELLE SCIENZE

**ENERGIA E TECNOLOGIE DI PRODUZIONE ENERGETICA: “*ma l’energia si produce?*”**

**ENERGIA – ENERGIE: UN APPROCCIO FENOMENOLOGICO**

**per sviluppare, differenziare, connettere, mettere in forma ...**

**alcune idee-base forti e flessibili**

**Milano, 4-11-11**

**Paolo Guidoni – Dipartimento Di Scienze Fisiche – Università di Napoli Federico II**

**[p.guidoni@na.infn.it](mailto:p.guidoni@na.infn.it)**

*le note [.] a pag 27*

# ***PARTE I***

***SIAMO ALLA FINE DEL CORSO***

## **oggi a scuola “ci sono problemi” ... di ogni tipo ...**

... il “problema di Angelo” ...

(all'università: <ma è dalla scuola elementare che non ho mai capito perché si deve dividere...>)

... il “problema delle proporzioni” ...

(alla fine della secondaria: <A sta a B come C sta a D>, sarà  $A:B = C:D$ , oppure  $A-B = C-D$ ?...)

... il “problema dell'ascensore” ...

(alla SSIS: moto uniforme in su e in giù ... azione-reazione ... dov'è la causalità? ... il controllo?...)

... il “problema dell'energia negativa” ...

(secondaria e università: <non si capisce ... il segno dell'energia ... il segno del trasferimento ...>)

**e poi ...**

... il “problema del laboratorio” ...

(ma sarà vero che <se fanno capiscono> ?)

... il “problema dell'appropriazione stabile” ...

(ma sarà vero che funziona <... come buone impronte su una buona cera ...> ?

***problemi che si stratificano e si aggrovigliano ...***

***finché se ne perde il capo – e la stessa nozione:***

***e chi non li affronta è colluso con chi ha interesse a sfruttarli ...***

***<per favore fai finta che hai capito, così io posso far finta che ho spiegato>***

## **dagli “obiettivi del Corso” (cfr manifesto-bando)**

### *PROPORRE*

*attraverso un corso rivolto nella sua interezza agli Insegnanti di discipline scientifiche  
spunti di riflessione, supporti, indicazioni e strumenti didattici concreti ...*

*attraverso il tema <energia> un percorso innovativo, ... attraverso  
attività laboratoriale e attinenza al quotidiano ...*

### *FAR CAPIRE*

*che le competenze scientifiche e matematiche sono patrimonio indispensabile per ...  
fare delle scelte personali o collettive consapevoli ...  
e che è dovere della scuola fornire le competenze necessarie per farlo ...*

*che l'argomento <energia> è tipicamente interdisciplinare come lo sono  
le scienze moderne*

.....

## ***alla fine del corso***

si pongono problemi di valutazione della sua efficacia, in relazione agli obiettivi proposti, che riguardano direttamente gli Universitari e gli Insegnanti coinvolti

d'altra parte

si possono cogliere attraverso l'osservazione "esterna" (peraltro solo via documenti web) problemi di congruenza fra gli obiettivi iniziali e lo svolgimento concreto

per esempio, dal punto di vista della "mediazione didattica", non appare chiara la concretizzazione di tre parole-chiave:

= quella del <***percorso***> guidato, che è comunque necessario

ad una appropriazione graduale ma sicura dei concetti e delle operatività

= quella della <***interdisciplinarietà***> guidata, che è comunque necessaria

ad una (ri)organizzazione cognitiva coerente al crescere della complessità dei "saperi"

= quella della <***attinenza al quotidiano***> esibita, che è comunque necessaria

a rendere significativi i "saperi" che via via sono acquisiti e riorganizzati

a partire dalle loro radici nelle esperienze-linguaggi-conoscenze-strategie "comuni"

## **chi se ne deve prendere cura?**

### **da un lato, la ricerca**

sui *modi di capire e non capire* (imparare e non imparare) le scienze e la matematica rileva concordemente che <percorso> <interdisciplinarietà> e <quotidianità> sono ingredienti-chiave di ogni “appropriazione di competenza” (1)

### **d'altra parte le prassi consolidate**

*di trasmissione culturale* (dalle lezioni ai testi)

attraverso i due gradienti che esistono fra esperti/<>/insegnanti e insegnanti/<>/alunni quasi sempre trasferiscono al “livello” inferiore la responsabilità cognitiva e culturale della messa in atto degli ingredienti-chiave, mentre non se ne accettano/assumono necessità e vincoli

ormai è pubblicamente assodato che così “non funziona”, che la formazione “scientifica” di base è al disastro - ma anche che (cfr ricerca!)

**<capire si può>**, **<insegnare si può>**, **<cambiare si può>**

**purché**

si decida di volerlo fare in maniera sistematica e condivisa

***a questo punto ...***

**serve**

una presa d'atto della <realtà effettuale>

una assunzione di responsabilità condivise

un confronto con tutto quello che comunque si sa

una progettazione condivisa per iniziare a cambiare

***con questo intervento***

*si vogliono solo suggerire alcuni esempi*

*di “mosse didattiche” validate dalla ricerca all'interno di percorsi concettuali “lunghi”*

*che permettono di intervenire con efficacia negli “spazi di possibilità”*

*che caratterizzano l'interfaccia fra la “cultura” e il “capire”*

## ***PARTE II***

***ALTERNATIVE ALL'ESISTENTE  
PER COMINCIARE A CAPIRE  
(noi, e i ragazzi)***

## **proviamo ad accennare a un'alternativa possibile – basata sul capire**

### **I) intendiamoci su un'epistemologia minimale**

(Galileo va molto bene come “paradigma”)

< ... io penso piuttosto la natura aver fatto da prima le cose a modo suo, e poi fabbricati i discorsi degli uomini abili a poter capire, però con fatica grande, alcuna parte dei suoi segreti ... > (il risultato è che si costruisce gradualmente risonanza fra cose e discorsi, e quindi...)

< ... il libro della natura, che ci sta aperto davanti, è scritto in una lingua ... e chi non la intende è costretto a vagare in un oscuro laberinto ... > (e però si vede che ...)

< ... natura non opera con molte cose quello che può con poche [2]... e quello che a noi è difficilissimo a intendersi alla natura è agevolissimo a farsi ... >

< ... ma per interposto discorso ... > (cruciale: non <capisco se faccio - se dico, ma se “interpongo”> ...)

### **II) partiamo da esperienze/intuizioni di base – inter/ponendo i discorsi**

(Galileo e la fenomenologia quotidiana vanno ancora bene come “sorgenti di idee”)

Per esempio:

=> equilibri fra forze e trasferimenti di energie sono aspetti, diversi-ma-correlati, non esaustivi, di ogni interazione elementare fra sistemi (“fisici”, per cominciare)

=> è possibile studiare la correlazione in situazioni “semplici” (schematizzate) attraverso la formalizzazione di “principi” e “proprietà” di validità più generale

## **esperienza, esperimento, formalizzazione**

**tanti tipi di elastici ....: come si costruisce la fionda “migliore”?**

(lavoro “aperto” fra ragazzi divertiti e adulti disposti a mettersi in gioco [3])

**<...dieci balestre (dieci molle...) di diversa durezza ...>: Torricelli racconta**

il tentativo (fallito) di Galileo (il “Grande Vecchio”) di formalizzare un’intuizione cruciale che lega aspetti (“differenziali”) di forza e aspetti (“integrali”) di energia:

: un grave cade da una stessa altezza, acquistando “impeto” [4] nella caduta, poi cedendo impeto a diverse balestre (molle) della stessa forma e di diversa durezza, fino ad arrestarsi per un istante nella Elongazione massima di ognuna (EDi)

: lo stesso grave appeso a ogni balestra (molla) produce una Elongazione statica (ESi)

: ma i valori EDi (>ESi) non sono, come “sperato” (!), proporzionali ai valori ESi ...

**come noi ci “raccontiamo” (e “misuriamo”) gli stessi fatti:**

: energia gravitazionale => energia cinetica => energia elastica

$$M g H = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} K (EDi)^2$$

forza gravitazionale <=> forza elastica

$$M g = K (ESi)$$

Con le stesse variabili riferite al sistema-molla (durezza e deformazione) in situazioni diverse, si costruiscono due diverse-e-correlate “variabili fisiche”:

“forza esercitata” e “energia assorbita”

MA

**“a che sistema appartengono” energia gravitazionale e energia cinetica???**

## **come si può cominciare a capire il senso della formalizzazione**

prendiamo in mano tre molle uguali, “scariche” e lunghe  $L^{\circ}$  [5]

### 1) guardiamo i “fatti bruti”:

si collegano le molle “in serie”: per allungarle ciascuna di DL (insieme, di 3 DL) serve

la stessa forza  $F$  (per controllo, un peso) che per allungarne di DL una isolata

si collegano le molle “in parallelo”: per allungarle ciascuna di DL (insieme, di DL) serve

una forza tripla  $3F$  (cfr. un peso) che per allungarne di DL una isolata

in ogni caso, ogni molla è “caricata” di una stessa quantità di “energia” che può essere

“utilizzata” rimuovendo la molla e facendola “scaricare” altrove in modo opportuno

### 2) ragioniamo sui fatti:

oggetto di conoscenza è il sistema nelle sue interazioni “meccaniche”

in relazione alle forze in equilibrio: valgono le regole della “serie” e del “parallelo”

in relazione alle energie trasferite: per l’insieme delle molle  $(3F) \times DL$  equivale a  $F \times (3DL)$ ,

ogni molla “è carica” di una “piccola energia”  $DE$  di misura  $F \times DL$

equilibri fra forze e trasferimenti di energia sono reciprocamente vincolati (il vincolo è realizzato per tutte le interazioni fra sistemi, regolate da “principi” fenomenologici)

## **come si può capire (cont)**

### 3) formalizziamo i fatti

se l'intensità della forza esercitata da una data molla lunga  $L$  è rappresentabile come

$$F = K (L - L^{\circ})$$

su un piano cartesiano  $[F, L]$   $DE(L) = F(L) DL$  corrisponde all'area [base  $DL$ , altezza  $F$ ]:  
allora l'energia "acquisita" in corrispondenza ad  $L$  è data (area del triangolo sotteso) da

$$E = \frac{1}{2} K (L - L^{\circ})^2$$

### 4) traduciamo in "percorso"

procedendo sensatamente e coerentemente dai tre anni in poi

si può arrivare alla fine della scuola "media" ad una gestione, operativa e formalizzata,  
del pensiero-discorso proporzionale e lineare in contesti fisicamente significativi:

contesti che in base alle loro stesse caratteristiche fenomenologiche

"forzano" la risonanza fra aspetti formali e fattuali (fra competenza e comprensione),

quindi la padronanza del formalismo in quanto rappresentazione di invarianze strutturali:

in queste condizioni nel primo biennio della SSS

si può passare ad una progressiva formalizzazione di fenomeni elementari

basata su una strategia di "differenze finite" [6]

**altre cose da capire (se così, in modo “risonante” per gli studenti!)**

**Torricelli** attribuisce a Galileo anche una “ipotesi” sul “moto localmente accelerato” e la formalizza esplicitamente in termini di “indivisibili” (cioè “differenze finite”):

**“come”** per il riempimento di un recipiente di sezione  $S$  sotto un flusso costante  $F$  vale la relazione cinematica  $F Dt = S Dh$ ,  $F = S Dh / Dt$  ( $h$  altezza del livello)

**“così”** per il moto di un corpo di massa  $M$  spinto da una forza costante  $F$  vale la relazione dinamica  $F Dt = M Dv$ ,  $F = M Dv / Dt$  ( $v$  velocità del corpo)

L’analogia “vista” da Torricelli non è “fisica” ma “formale”: in ambedue i casi infatti la formalizzazione corrisponde alla più semplice struttura formale possibile, fra

le quattro grandezze fisiche in gioco, che si accordi con l’analisi qualitativa del fenomeno in termini di linguaggio-conoscenza quotidiana (il <comune di tutti>)

**Per noi.** A tutti gli effetti la “forza d’inerzia” [7] sperimentata in situazione dinamica come  $F'' = - M Dv/Dt$  deve soddisfare il “principio di azione-reazione”  $F' + F'' = 0$ : così il “secondo principio” diventa  $F' - M Dv/Dt = 0$ , da cui in termini di trasferimento di energia  $F' Ds - M Dv Ds/Dt = F' Ds - M v Dv = 0$ ,  $DE' + DE'' = 0$ , da cui (come per la molla nei casi statici) si “vede” che l’energia associata a un movimento è  $E'' = \frac{1}{2} M v^2$  [7].

Entro il biennio di SSS è possibile arrivare a un controllo efficace delle tre forme-base di forza-energia meccanica (gravità, elasticità, movimento)

a livello **sperimentale-fenomenologico**, e di **prima modellizzazione microscopica**

## ***PARTE III***

***A COSA CONDUCE IL “CAPIRE FENOMENOLOGICO”:***

***DAI VINCOLI FISICI E FORMALI  
ALL’OTTIMIZZAZIONE VARIAZIONALE***

## ***le basi del “capire fenomenologico”***

come umani si capisce (si è aiutati a capire) perseguendo uno scopo definito attraverso variazioni strategiche delle relazioni fra gli elementi in gioco nello spazio concreto-e-astratto dei vincoli fattuali e formali:

alla fine, è vero che *<il discorso è l'ombra dell'azione>* [8] (e viceversa!); ma si capisce *<per interposto discorso>* perché *<l'uomo pensa con tutto il suo corpo>* [9]

### **per esempio (1): la “ruota da mulino” (schematizzata)**

*Una cascata d'acqua (flusso  $F$ , dislivello  $H$ ) urta in modo anelastico una ruota a pale (asse orizzontale, raggio  $R$ ) a cui è collegato un “utilizzatore” (macina) che esercita globalmente sull'asse un “momento resistente”  $M$ : in che condizioni (dati  $F$  e  $H$ ) la potenza trasferita  $W_t$  dalla gravità al mulino è massima, in condizioni di regime (rotazione uniforme)? [10]*

*Ovviamente: per  $M$  nullo (ruota “libera”) o abbastanza grande (ruota bloccata) non c'è trasferimento. “Quindi” [11] ci deve essere una condizione di massimo, definito dai vincoli al variare di  $M$ . Derivando  $W_t = W_t(M)$  [12] (o studiandone il grafico) si scopre-e-verifica facilmente che  $W_t$  è massima quando è uguale alla potenza “dissipata” nell'urto anelastico (nel massimo trasferimento, quindi, si “utilizza” metà del flusso di energia legato alla caduta d'acqua) [13]*

## **le basi del “capire fenomenologico” (cont 1)**

### **per esempio (2): il circuito “pila-lampadina” (schematizzato)**

*Una pila (tensione  $V$ , resistenza interna  $r$ ) alimenta una lampadina (o un'altra “utenza”) definita da una resistenza  $R$ : in che condizioni la potenza  $W_t$  trasferita dalla pila alla lampadina è massima, in condizioni di regime (corrente costante)?*

*Ovviamente: per  $R$  nulla (corto circuito) o infinita (circuito aperto, corrente bloccata) non c'è trasferimento. “Quindi” ci deve essere una condizione di massimo, definito dai vincoli al variare di  $R$ . Derivando  $W_t = W_t(R/r)$  (o studiando il grafico) si scopre/verifica facilmente che  $W_t$  è massima se  $R=r$ , cioè se  $W_t$  è uguale alla potenza “dissipata” all'interno della pila (nel massimo, quindi, si “utilizza” metà del flusso di energia) [14]*

### **per esempio (3): la “catena di trasmissione”**

*Osserviamo una bicicletta: la catena, sistema-intermedio fra sistema-motore e sistema-mobile, è meccanicamente “tesa” nel tratto fra i pedali e la ruota, e “lasca” nel tratto di “ritorno”. Questa semplice osservazione a) conferma il fatto che un trasferimento di energia fra sistemi meccanici è vincolato alle loro interazioni di forza; b) si presta a costruire e studiare semplici apparati sperimentali in cui una singola “cinghia” elastica (abbastanza “morbida”) che trasferisce energia da un “motore” a più “utenze”, mostra (e permette di misurare) attraverso la sua deformazione tensioni diverse nei diversi tratti, in corrispondenza al variare delle potenze trasferite [15].*

## ***le basi del “capire fenomenologico” (cont 2)***

**interazioni fra sistemi e corrispondenti relazioni fra variabili formalizzate**

sono cruciali per capire - con esempi, e in linea di principio -  
i modi “fisici” e le modulazioni “formali” in cui avvengono i trasferimenti di energia  
a livello fenomenologico:

uno schema qualitativo in termini soltanto di sistemi “trasportatori”, “trasformatori” e  
“utilizzatori” di energia (cfr Karlsruhe – Regis), pure utile, è insufficiente a dar conto  
del fatto cruciale che trasferimenti e trasformazioni di energia sono sempre vincolati  
(regolati) da altre interazioni correlate; e perciò, se isolato,  
è potenzialmente distorto a livello di comprensione di base  
(senza un “groviglio” di vincoli sulle sue stesse “variabili”, tutta l’energia dell’universo  
“fluirebbe” in un attimo!)

**d’altra parte**

la ***flessibilità concettuale*** necessaria a trattare in modo “integrato”  
dal punto di vista dei trasferimenti energetici

**sistemi-oggetto** (elasticità, ...), **sistemi-campo** (gravità, elettromagnetismo, ...),  
**sistemi-movimento e sistemi “termodinamici”** (in quanto internamente complessi)  
**deve-può** essere costruita lungo un ***percorso coerente*** di diversi anni

# ***PARTE IV***

***CAPIRE PER MODELLI***

***(capire per “come se...”):***

***FRA ANALOGIA E FORMALIZZAZIONE***

## *capire per modelli*

### **(I) intendiamoci su un'epistemologia minimale**

Andrea (IV el., parlando di forze e energie):

*<adoperiamo le cose che non si vedono per spiegare le cose che si vedono>*

un compagno di Andrea (riferendosi a situazioni di soluzione nel liquido):

*<ma adoperiamo anche le cose che si vedono per spiegare quelle che non si vedono>*

c'è un necessario loop di coerenza

fra la prima modellizzazione microscopica in termini di particelle

meccanicamente interagenti e vincolate (cfr. forze e energie potenziali e cinetiche)

per cui si assumono “leggi” macroscopicamente verificate,

e la validazione macroscopica di “leggi” direttamente inferite a livello di modellizzazione

(in questo senso è importante la termodinamica “elementare” dei gas ... ma così si postula invarianza di scala delle regole di interazione!);

mentre lo stesso “vocabolario” usato nei contesti variati di “struttura della materia”

rimanda a un “immaginario” radicato nell'analogia meccanica:

*<ma cosa sono i legami, le barriere, i livelli, i passaggi, le “buche”, ...?>*

*<ma che relazione fra “caricare e scaricare” di energia una “pila”, o una “fotosintesi”?>*

***senza “metaconoscenza”, <imparare che ...> è (quasi) inutile!***

## ***e se la modellizzazione diventa “complicata” o “difficile” ? ...***

### **II) intendiamoci su alcuni schemi comprensibili, “prototipi” di un metodo**

Una “metafora meccanica” di quello che può (non può) succedere nell’interazione fra due o più “particelle” può essere gradualmente costruita e raffinata, anche attraverso “formalizzazioni qualitative” (p.es.grafiche), in termini di forze/energie reciprocamente attrattive/repulsive: sovrapposte fra loro, e alle forze/energie cinetiche presenti e attive in situazioni di particelle sia “libere” che “legate” [16].

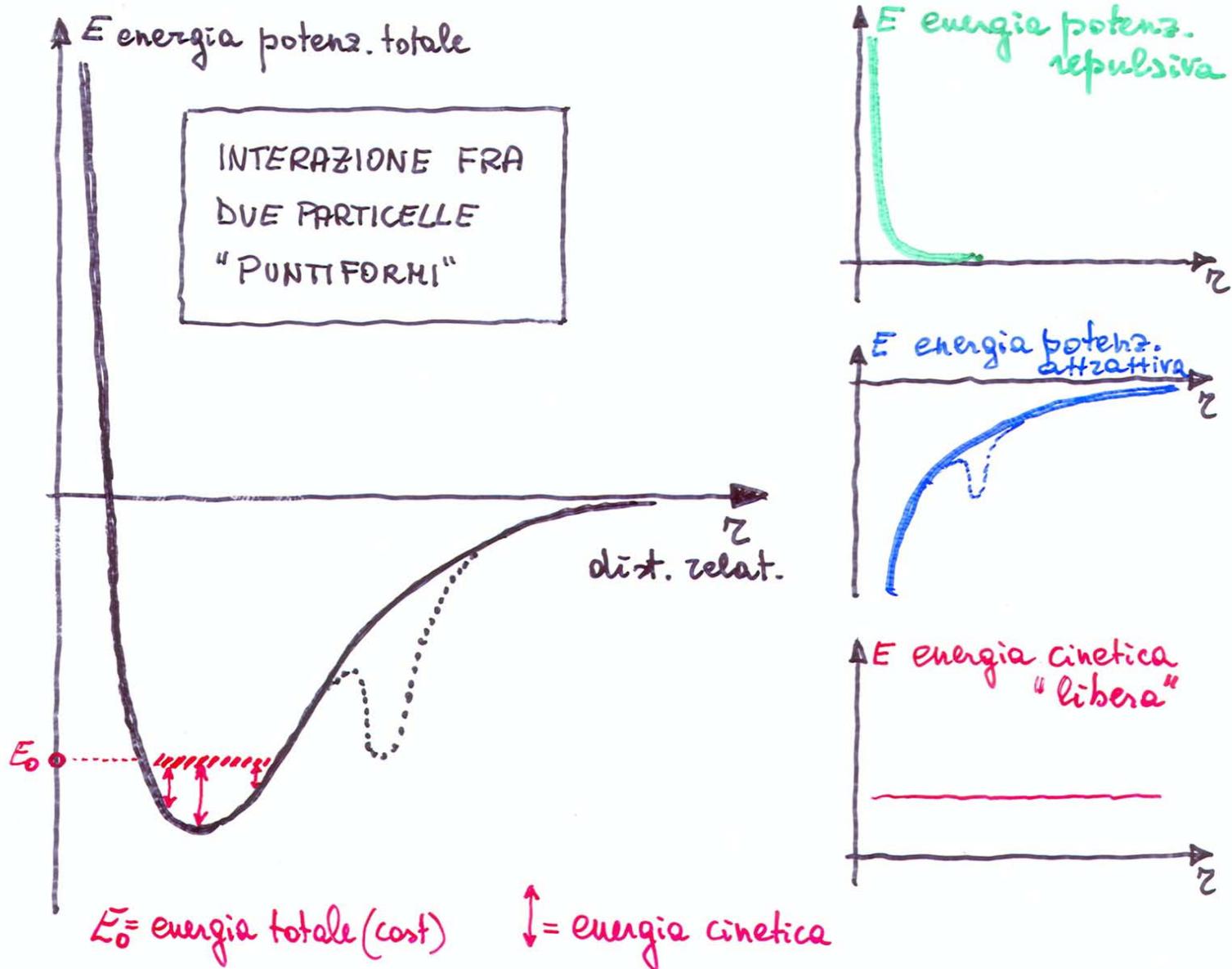
Dopotutto, infatti, quello che può succedere in “buche” di potenziale semplici o strutturate in “livelli”, singole o molteplici o “collettive” ..., con i correlati “effetti” attivi nell’assorbimento o nel rilascio di energia da parte del “sistema” (parziale o globale),

è disponibile a un primo stadio di comprensione ipotetica, “strutturabile” attraverso i movimenti di “punti materiali” su profili di percorso in campo gravitazionale (cfr figura) – MA:

- sono essenziali anche “modelli manipolabili variazionalmente” ...
- le cose si complicano per dare conto delle interazioni esterne “irreversibili” ... [17]

In questo modo diventa possibile un primo livello di **raccordo fra fenomenologie** apparentemente anche distanti fra loro: dal “funzionamento energetico” dei fenomeni di soluzione a quello delle reazioni chimiche elementari, da quello di una pila a quello di una resistenza ... o di una induzione elettromagnetica

figura



## ***gli ingredienti concettuali “microscopici”***

energie di movimento (di quasi-campo) “essenzialmente” positive  
energie di campo-legame “essenzialmente” negative o positive  
energie di repulsione (di quasi-campo) “essenzialmente” positive

sovrapposizione variegata di forze e energie interne, fino a definire “grovigli” che hanno le origini e forme più diverse:

da qui le cruciali dinamiche di correlazione interna, che si esplicitano (“emergono”) in **trasduzioni** di “segnali” (piccole deviazioni statiche dall’equilibrio interno e esterno)  
**trasferimenti o trasformazioni** di “energie” (grandi deviazioni stazionarie dagli equilibri)  
**cambiamenti strutturali** correlati a trasduzioni, trasferimenti, trasformazioni  
**vincoli termodinamici** di reversibilità/irreversibilità  
..... **etc**.....

“**equilibri termici**” fra (e all’interno di) sistemi, che attraverso le energie cinetiche coinvolgono (fino a un certo limite ...) particelle sia libere che variamente legate, contribuendo alle diverse dinamiche di trasformazione

(il “calore” non è solo <energia dissipata>, ma interviene in modo cruciale a far “funzionare” il mondo !)

..... **etc** .....

... fino a un “punto di rottura”?

### III) intendiamoci sui limiti della “modellizzazione fenomenologica”

Dovrebbe far parte di una “*cultura-di-base superiore*” la consapevolezza che le strutture di leggi fenomenologiche inducibili a livello macroscopico in ogni settore scientifico

NON sono sufficienti/adatte ad una modellizzazione microscopica “soddisfacente” (cioè in grado di interpretare coerentemente la complessità dell’osservabile):  
il loop non funziona: non c’è mai invarianza di scala

La possibilità di introdurre al termine della “scuola per tutti” (ultimo anno di SSS) alcune nozioni-base di meccanica quantistica (e relativistica) per aprire “finestre” cruciali nell’interpretazione del mondo e dei modi in cui si vive giornalmente è oggi argomento di ricerca in tutti i Paesi culturalmente vitali  
- anche in Italia, malgrado tutto!

(e se l’efficienza della fotosintesi dipendesse dall’“entanglement” quantistico?...)

Comunque questa possibilità presuppone che la scuola sappia sostenere/indirizzare uno sviluppo progressivo e coerente di competenze: sviluppo che di fatto appare largamente accessibile agli studenti ma ben lontano dalle effettive disponibilità (politiche, accademiche e docenti) ad innescarlo, e a dotarlo dei necessari supporti.  
(Impegno necessario e risultati attesi sono - al solito - strettamente correlati)

# ***PARTE IV***

***IN CONCLUSIONE***

***(?)***

## **energia e energie**

C'è un bombardamento quotidiano di “notizie sull'energia”:

energie “diverse” per scopi/usi diversi

“termica” – da carbone, petrolio, gas, ...; “elettrica” (o elettromagnetica) ...; “solare” – da assorbimento, fotovoltaica, termodinamica ...; “nucleare” ...; “elettrochimica” ...; da “sintesi catalitica” ...; “biologica” – essenziale a ogni forma di vita, da fotosintesi, naturale o artificiale, da biomasse, da batteri modificati, ...; “eolica” o “ondosa” ...; “idroelettrica” ...; “geotermica” ...; ... ma anche energia “vitale” o “di carattere” (!!)

oppure

energia in diverse “forme”, “convertibili” in maniera vincolata e limitata?

Si va a scuola per imparare/insegnare a condividere

una *cosmologia* (visione del mondo) e un'*antropologia* (visione dell'uomo nel mondo):  
e condividere razionalmente i modi di guardare/vedere tutti i problemi legati all'energia  
(inclusi i modi per disfarsi della “monnezza” prodotta in casa, o in qualunque “centrale”)  
dovrebbe far parte dei “contenuti” di quello che si “insegna”,  
e della loro validazione culturale.

Onestamente, sembra che si sia ancora abbastanza lontani da questo obiettivo:

ma oggi sappiamo che

<**capire si può**>, <**insegnare si può**>, <**cambiare si può**>

## *allora, che fare?*

E' certo che per vivere "civilmente" serve

- una competenza di base su <come funziona tutta la macchina del mondo> (naturale e tecnologico) che ci circonda, quindi
- una competenza di base nel correlare i concetti e i modelli "scientifici-elementari," fra loro e alla "conoscenza comune" di cui comunque si vive, quindi
- una consapevolezza di base che si conosce (inevitabilmente) per "disciplinarietà" ma che conoscenze e operatività sono (inevitabilmente) intrecciate fra loro attraverso "interdisciplinarietà" assortite – sempre (inevitabilmente) "creative"

Nella situazione precaria della scuola di oggi (dall'infanzia all'università) serve allora un lavoro collaborativo sia "top down" che "bottom up" in relazione ai due gradienti della trasmissione culturale (esperti//insegnanti//ragazzi) per individuare/sperimentare un matching efficace e efficiente fra le strutture di base delle diverse discipline: rendendole così adatte a dare supporto alle conoscenze fenomenologiche di base e alle modellizzazioni di base che, intrecciate fra loro, corrispondono alle potenzialità presenti sia nelle discipline scientifiche che nelle "teste" delle persone

## note

- (1) c'è necessità di una discussione larga per precisare <competenza> vs <comprensione> vs <sapere> ... etc
- (2) c'è, fin dall'antichità, una acuta intuizione di funzionamenti naturali basati su principi di massimo-minimo
- (3) <con elastici molto duri si fa molta forza, ma ... con elastici molto morbidi c'è molta "rincorsa", ma...>
- (4) dai commentatori antichi di Aristotele, e attraverso quelli medievali (Buridano ...), arriva a Galileo quella nozione "indifferenziata" di <impeto> (quantità di moto – energia cinetica) che spesso ritroviamo nell'intuizione dei ragazzi
- (5) si indica con  $D$  una variazione "molto piccola ma finita" – come gli <indivisibili> di Torricelli
- (6) per una comprensione raffinata del calcolo differenziale-integrale ci sarà tempo; d'altra parte è anche così, con "regole fenomenologiche" efficienti di calcolo numerico (quelle che mancavano a Torricelli!), che funzionano le fabbriche, si va sulla luna, si simulano/progettano interazioni finalizzate fra enzimi e RNA ...
- (7) la forza, sperimentalmente evidente e misurabile, con cui il sistema "movimento accelerato" <reagisce contro> il "sistema accelerante"
- (7') (rapidamente - ma si tratterebbe di chiarire un modo di vedere la meccanica che anche didatticamente è più efficace/efficiente di quelli "normali"). A uno stato-di-moto (p.es.  $[m,v]$ , per un quasi-punto materiale) sono associate delle "potenzialità di interazione" che vengono definite dal modo in cui lo stato-di-moto stesso è di volta in volta "accoppiato" allo stato di un altro sistema. Così si potranno "conservare meccanicamente" (punto di vista "integrale" sull'interazione) le "grandezze fisiche" quantità di moto, energia cinetica e momento angolare (nient'altro, secondo teoremi generali: ma, secondo i casi, tutte e tre, due o una su tre, nessuna delle tre ... etc). Fermo restando che tutto è "conservato" se si tiene conto anche della struttura interna dei sistemi interagenti. Al tempo stesso rispetto, p.es., allo stato di moto  $[mv]$ , l'interazione è definita istante per istante (punto di vista "differenziale") dal modo in cui il suo "fare-forza"  $[-m Dv/Dt]$  è "equilibrato" dalla globalità dei "fare-forza" del sistema interagente. Etc. La situazione è decisamente complessa da capire, fin dall'inizio e anche – ma non solo – per i ragazzi di oggi: basta ricordarsi che si è discusso per secoli se la causalità fisica sia attribuibile ad  $[m v]$  "oppure" ad  $[m v^2]$  ... Comunque conviene cercare di capirla fin dall'inizio: e sia le idee sperimentali attribuite a Galileo (cfr anche (4)) da Torricelli, che i loro fallimenti per ... "pregiudizi formali", sono ancora oggi significativi per cominciare a capire.
- (8) Democrito
- (9) Marcel Jousse (quindi, sempre, si pensa facendo e si fa pensando – anche senza accorgersene)
- (10) ci sono "giocattoli da spiaggia" di questo tipo; mentre si possono facilmente allestire semplici oggetti-esperimento, variando  $M$  attraverso un peso da sollevare - e spesso gli antichi mulini erano molto ben ottimizzati!

## note

- (11) che fra due “zeri” ci “debba” essere un massimo (il minimo è escluso perché l’energia trasferita è positiva) prima che un teorema di analisi è un’intuizione “primitiva”
- (12) (rapidamente). Il primo nodo è capire che la forza sulle pale è (2° principio)  $D(mv)/Dt = F(v^\circ - v^*)$ , con  $v^\circ$  velocità di caduta dell’acqua prima dell’urto e  $v^*$ , velocità dopo l’urto anelastico, uguale alla velocità tangenziale della ruota (ci sono un mucchio di schizzi ... ma si può approssimare così). Il secondo nodo è capire che per velocità angolare  $v^*/R$  costante c’è equilibrio (dinamico) fra il momento “resistente”  $M$  e il momento “sollecitante”  $F(v^\circ - v^*)R$ . Il terzo nodo è capire che la potenza trasferita è  $Wt = Mv^*/R$ . Allora (passaggi algebrici)  $Wt = M/R(v^\circ - M/R)$ , e la condizione  $DWt/DM = 0$  conduce subito a  $M = \frac{1}{2} v^\circ R F$ , quindi a  $Wt = \frac{1}{2} (\frac{1}{2} Fv^\circ{}^2) = \frac{1}{2} W^\circ$  (cioè la metà della “potenza incidente” sulle pale). (Alternativamente, si può graficare il rapporto  $Wt/W^\circ$  in funzione di  $M$ , notando che il vincolo di massimo non dipende dai parametri esterni  $H$  e  $F$ ).
- (13) spesso si obietta che <i moti rotatori sono difficili> e per questo sostanzialmente <non si fanno>: pessima scelta, dato che sono formalmente isomorfi ai moti traslatori, molto più facili da misurare in laboratorio e soprattutto strettamente legati all’utilizzazione di qualunque tipo di “macchina”. C’è il problema dei “momenti d’inerzia”: che si possono determinare con una “bilancia inerziale” analoga a quella per cui, in un moto traslatorio, si ha  $m'a' = -m''a''$  (che poi massa inerziale e gravitazionale siano uguali è un “accidente” di relatività generale); mentre la “complicazione” nel “calcolare” caso per caso specifici momenti d’inerzia è direttamente legata alla tridimensionalità dello spazio.
- (14) ci sono infinite variazioni “semplici” dello schema, a partire da quella con un generatore di corrente, o dai “circuiti equivalenti”; ma non è immediatamente banale misurare – non “calcolare” – le potenze dissipate
- (15) è possibile marcare la cinghia “morbida” a riposo con intervalli equispaziati, e “tarare” un tratto di elastico uguale deformandolo con pesi: in questo modo si misura la tensione (costante) fra un utilizzatore e l’altro; si possono usare gli utilizzatori più diversi (peso da sollevare, macinino da caffè, dinamo a vuoto o su un circuito, pala “a vento” frenante, frullatore di acqua, volano, ...) studiando i diversi trasferimenti di energia così correlati; mentre vale la pena di confrontare questa esperienza con l’uso della parola “tensione” riferita ai diversi tratti di un circuito elettrico.

## note

- (16) comunque a livello di modellizzazione si ripresentano i problemi di Galileo e Torricelli (cfr (4), (7), (7')), etc. Cfr per esempio un ragazzo di 17 anni (inglese...) di fronte alla "spiegazione" di come funziona un gas perfetto: *<ok, tutto chiaro: però quello che proprio non capisco è come mai a partire dalle stesse cose – massa e velocità delle particelle – si possono "fare" due cose così diverse come la temperatura e la pressione>*
- (17) il contributo dell'energia cinetica relativa (temperatura ...), rispetto al minimo dell'energia potenziale relativa, definisce un intervallo di distanze entro cui l'energia totale  $E^\circ$  è costante, e quindi la particella-modello è libera di "oscillare" nella sua "buca". Se la temperatura aumenta l'intervallo si dilata (da ambedue i lati ...) e cresce la distanza media ("dilatazione con la temperatura" ...), magari fino a rendere accessibile anche un eventuale stato di "minimo secondario" (tratteggiato) dell'energia potenziale relativa ... etc. Comunque il nodo "didattico" cruciale è quello di rendere diagrammi qualitativi di questo tipo (di per sé ben comprensibili, una volta chiarita la strategia di modellizzazione adottata) adatti a dare conto anche della possibile irreversibilità di quello che può succedere come conseguenza dell'interazione fra sistemi (a cominciare da un "semplice" cambiamento di temperatura...). Volendo, si può fare – ma è fuori degli obiettivi di questo contesto.