

# LE PAROLE DELLA FISICA

## Linguaggio Tradizionale e Proposte Innovative

Corrado Agnes  
Scuola di Dottorato del Politecnico di Torino  
Corso di Didattica della Fisica 01MORKG

### Riassunto

La tesi principale di questo articolo è che l'insegnamento della fisica non ha speranze senza un linguaggio di base veramente condiviso con gli studenti, e questo può essere solo il linguaggio comune. L'analisi del linguaggio delle lezioni prosegue con alcuni esempi di termini problematici dell'insegnamento tradizionale ed alcune delle proposte del Corso di Fisica di Karlsruhe<sup>1</sup>, nel seguito KPK [Herrmann 2006], sia per quanto riguarda la didattica scolare che per le ricadute nella divulgazione scientifica e l'applicazione al dialogo interdisciplinare.

### Prologo

È tempo che l'insegnamento venga considerato come una specie di fisica applicata, sottoposto quindi ad una logica di tipo economico per le scelte degli argomenti e degli investimenti nelle conoscenze matematiche associate, una valutazione dei costi e dei benefici che a buon diritto possiamo chiamare "ingegnerizzare" l'insegnamento. Pochissimi argomenti hanno diritto per "natura e nascita" di essere inclusi nel curriculum, e infatti per ogni tema di lezione dobbiamo giudicare se non ci sia qualcosa che per lo stesso impegno di tempo di lezione, fornisca un maggior numero di spiegazioni, abbia più applicazioni ai fenomeni del quotidiano. Per esempio invece di trattare il fenomeno della dilatazione termica di solidi e liquidi<sup>2</sup>, dalle ricadute pratiche trascurabili, occuparsi del fenomeno molto significativo e ben noto che in alta montagna fa più freddo che nella bassa valle, spiegazione, per quanto ne so, presente in un solo testo per le secondarie inferiori<sup>3</sup>. Inoltre un atteggiamento più concreto dell'insegnamento verso le applicazioni della fisica potrebbe permettere di raggiungere categorie che, pur usando apparecchiature raffinatissime, ne rimangono sostanzialmente escluse. Dobbiamo renderci conto che la didattica della fisica è una disciplina recente, nella quale l'insegnamento è pensato non per la ricerca, ma per l'utilizzatore finale nella scuola di tutti. È giunto il momento per insegnanti e ricercatori nel campo di prendere il controllo della didattica, e diventare essi stessi il tramite tra la ricerca e l'insegnamento [Agnes 2013].

A causa dei contenuti disciplinari e della struttura delle così dette "scienze dure"<sup>4</sup>, è facile saltare alla conclusione che, siccome il risultato dell'insegnamento deve comunque essere l'acquisizione di un linguaggio formalizzato, non sia molto importante che docente e discente condividano un linguaggio di base, come necessariamente deve invece accadere per l'apprendimento di una lingua straniera. Al contrario, più importanti sono gli aspetti formali maggiore è il ruolo giocato dal linguaggio [Merzyn 1998], come evidenziato dal fatto che le lingue si apprendono, mentre le scienze vanno insegnate. La conseguenza nel caso della fisica è che per un insegnamento efficace le formule devono essere le ultime parole del discorso, mai le prime. Questa convinzione non contraddice la diffusa opinione che la matematica sia il linguaggio della fisica, ma sottolinea che

---

<sup>1</sup>[http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/pub\\_fremdsprachen/italienisch.html](http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/pub_fremdsprachen/italienisch.html) da questo sito è possibile scaricare i testi del KPK e gli articoli della serie Concetti Inadatti per l'Insegnamento della Fisica CIIF e altro materiale.

<sup>2</sup>L'argomento a favore è l'introduzione "operativa" della temperatura con termometri obsoleti e addirittura proibiti per legge.

<sup>3</sup>KPK Volume I, 13 - 4. Invece la dilatazione dei gas è in grado di spiegare molti fenomeni. Vedi la spiegazione fisica come gioco linguistico.

<sup>4</sup>matematica, fisica, chimica e biologia, oppure l'acrostico più popolare oltre atlantico, ma con significato simile, STEM science, technology, engineering and mathematics

senza parole condivise si raggiungono solo gli aspiranti specialisti. Questo circolo “virtuoso” forse per la ricerca, ma certamente “vizioso” per la diffusione della cultura scientifica, è destinato a perpetuarsi a causa della naturale “inerzia didattica” per cui anche gli specialisti insegnano come hanno imparato tutto quello al di fuori della ricerca avanzata. Non solo a questo si riduce ovviamente la tradizione didattica, ma in larga parte non si tratta di qualcosa costruito appositamente per l’insegnamento, ma della somma di tutte queste inerzie, che pertanto rendono veramente difficile un vero cambiamento dell’insegnamento di base.

### Il Linguaggio Tradizionale della Fisica

Il problema principale del linguaggio in cui viene normalmente insegnata la fisica è di non essere mai stato progettato per lo scopo specifico di insegnare, ma si è formato per sedimentazione naturale dal linguaggio della ricerca, trattenendo residui fossili di teorie superate accanto a neologismi da teorie non ancora preparate in modo adatto alla trasmissione didattica [Herrmann , Job 2007].

### *le parole inadatte*

Esaminiamo alcuni esempi di termini usuali che portano con sé difficoltà didattiche del tutto superflue, cioè o del tutto inesistenti con altre formulazioni, oppure tali da amplificare difficoltà inerenti all’argomento trattato.

**forme di energia** espressione vaga ed imprecisa, figlia di tempi in cui la grandezza energia era ancora poco conosciuta. Ora che sappiamo che l’energia non fluisce mai da sola, ma è sempre accompagnata da un’altra grandezza, non è più semplice nominare quest’altra grandezza? [Falk , Herrmann , Schmid 1989] [CIIF 1 Forme di Energia]. La proposta del KPK è di usare l’espressione **portatore di energia**.

**forza** parola che da una parte è troppo disturbata dai molteplici significati che ha nel linguaggio comune, dall’altra è troppo ristretto l’intorno verbale che le è riservato nella tradizione newtoniana: una forza agisce o viene esercitata, non si danno altre possibili locuzioni. Inoltre anche gli specialisti la usano in modo impreciso come nel caso della “forza elettromotrice”, o in modo generico come nel mantra dei fisici delle particelle “le quattro forze fondamentali della natura”, forse per non di-volgare il termine riservato “interazione”. La proposta del KPK è di chiamarla **corrente di quantità di moto** o **corrente meccanica** , recuperando un patrimonio di analogie con la corrente elettrica, soprattutto per quanto riguarda i processi dissipativi[CIIF 13 Le Leggi di Newton].

**azione a distanza** terminologia resa necessaria dal fatto che non era ancora stato sviluppato il concetto di campo. L’azione a distanza è una idea così sgradevole per la mentalità di un fisico da risultare sgradita ed essere rifiutata per iscritto dal suo inventore<sup>5</sup>[CIIF 12 Azione a Distanza].

**calore** parola troppo importante per limitarne il significato come nella tradizione, in cui indica solo una forma di energia che i corpi NON possono immagazzinare. Formulazione che mette a dura prova il buon senso degli studenti (e degli insegnanti non abituati ad abituarsi). Calore sarebbe una parola perfetta se la si potesse usare al posto di entropia, ma la storia tragicomica [Truesdell 1982] della termodinamica è andata diversamente ed oramai è troppo tardi [Herrmann , Agnes 2013].

---

<sup>5</sup> That Gravity should be innate, inherent and essential to Matter, so that one Body may act upon another at a distance thro' a Vacuum, without the Mediation of any thing else, by and through which their Action and Force may be conveyed from one to another, is to me so great an Absurdity, that I believe no Man who has in philosophical Matters a competent Faculty of thinking can ever fall into it. H.W. Turnbull “The correspondence of Isaac Newton” Newton to Bentley (1692) Cambridge University Press 1961 pages 253-254

**potenza** ancora una parola troppo significativa [CIIF 4 La Potenza], che finisce per essere imprecisa se riferita ad un corpo, per esempio un motore potente, quando invece si riferisce alla superficie attraverso la quale i fili portano l'energia al motore. La proposta del KPK è di chiamarla **corrente di energia**.

**informazione** anche in questo caso la gamma di significati è troppo vasta ed inoltre il collegamento automatico con il valore dell'informazione, distorce profondamente il significato quantitativo: gli aggettivi adatti alla grandezza misurata in bit sono molto (come chiaramente indicato dai prefissi mega, giga, tera ...) e poco (a little bit), non vero o falso, preciso o impreciso. La proposta del KPK è di chiamarla **quantità di dati**, termine che accentua la neutralità della parola e la distinzione tra i dati e la loro interpretazione.

**entropia** premesso che bisogna tenersi questo termine, è difficile trovare una parola tanto inadatta all'insegnamento della fisica per il suo grande successo al di fuori di quella. Infatti in questo caso il disturbo linguistico è legato all'aura esoterica che l'uso di questo termine in altre discipline riverbera nella fisica. Originale la scusa di un collega per non trattare l'entropia (completamente giustificata dato il rapporto costi benefici del modo tradizionale di insegnarla): la fanno in filosofia!

**numero di ... particelle** il problema è quello di una grandezza fisica adimensionata che viene considerata un puro numero e le conseguenze di questo: prima di tutto **becquerel - hertz** due nomi per l'unità di misura della stessa grandezza fisica, da usare una volta in fisica nucleare e l'altra per i fenomeni periodici. Ma rimane la domanda, come hanno fatto a convincere i chimici ad usarla? Poi la costante di Avogadro, dimensioni fisiche  $\text{mol}^{-1}$ , diventa un numero, e non ditemi che è una pignoleria: provate pensare al significato fisico dell'inverso di questa costante universale [CIIF 50 La Costante di Avogadro]. La proposta del KPK è di usare di più e meglio la grandezza fisica **quantità di sostanza**.

**velocità di reazione** due reattori con due copie identiche della stessa reazione chimica trasformano una quantità di sostanza doppia, mentre due corpi con la stessa velocità sono un corpo doppio con la medesima velocità. Il problema esiste poiché si tratta di una quantità che varia nel tempo, ed anche se non per tutte le correnti è utile la rappresentazione di particelle in movimento [Herrmann 2000], chiamarla corrente di materia è ancora peggio. Quindi poiché i chimici sono d'accordo (complici?), non c'è speranza di cambiare questo termine. Dopo lunga discussione, per la traduzione italiana del KPK si è scelto "tasso di trasformazione", "reaction rate" che è quello più usato in altre lingue.

**velocità di trasmissione di dati** idem come sopra anche se in questo caso il termine **corrente di dati** ha qualche possibilità di diventare la scelta non solo utile ma accettata, almeno nei libri di scuola.

**momento angolare** anche contro il global english nella scienza non si può fare nulla, ma tenersi questo anglismo non solo senza significato ma con omonimi che confondono, è decisamente masochista. Soprattutto al pensiero che dal latino di Newton possiamo creare la fortunata espressione **quantità di moto angolare**, che è quella utilizzata nella traduzione italiana del KPK.

**interazione** concludiamo con il termine riservato dei fisici, vero capolavoro del linguaggio che nasconde! [CIIF 9 Il Linguaggio che Nasconde] Infatti un modo di definire la fisica è attraverso la sua domanda fondamentale che secondo me è la seguente: quali quantità questo sistema fisico cede a o riceve da? Allora quando queste quantità sono note perché non nominarle? Due corpi si scambiano energia e quantità di moto, due corpi interagiscono attraverso un urto elastico.

### **le parole mancanti**

Le ricerche della scienza dell'educazione hanno evidenziato l'esigenza generale di "fisicizzare" l'insegnamento e con il termine "embodiment" hanno raccomandato di sottolineare il rapporto delle quantità con il corpo di chi impara. Dovrebbe essere semplicissimo fisicizzare la fisica, ma provate ad immaginare di dover fare lezione sulla grandezza massa, senza usare il nome della sua unità di misura. Cioè potete usare Joule  $s^2/m^2$ , ma non il termine chilogrammo. Spero di avervi dato l'idea di quanto possa essere difficile fisicizzare la termodinamica usando per la grandezza principale di questa area della fisica l'unità Joule/Kelvin : a proposito avete una idea approssimativa di quanti J/K ci sono nel vostro corpo? Spero di avervi convinto che è un diritto degli insegnanti di dare un nome alle formule, siano queste le espressioni dimensionali delle unità di misura o altre variabili matematiche, come abbiamo visto in precedenza ed è importante farlo<sup>6</sup>.

**unità di potenziale chimico** nome utilizzato nel KPK per esclusivo uso didattico: Gibbs.  
**unità di entropia** nome utilizzato nel KPK per esclusivo uso didattico: Carnot.  
**unità di quantità di moto** nome utilizzato nel KPK per esclusivo uso didattico: Huygens.  
**unità di momento angolare** nome utilizzato nel KPK per esclusivo uso didattico: Euler.

Una delle critiche più ragionevoli mosse al KPK è proprio quella di mettere in difficoltà gli studenti quando incontrano i metodi tradizionali di insegnare la fisica, proprio per le nuove parole introdotte. Ma molte delle formulazioni tradizionali usano un linguaggio rituale che nasconde le difficoltà, ed in questo caso il timore è giustificato, perché insegnare senza difficoltà e resistenze ciò che la meglio umanità ha impiegato centinaia d'anni per fare proprie, non è più di una mano di vernice lavabile. Al contrario superare difficoltà e resistenze significa fare proprie le idee e le relazioni, che ovviamente sono indipendenti dalla traduzione in parole. Come siamo in grado, dopo uno studio come si deve, di padroneggiare il significato di termini che addirittura non sono traducibili in un'altra lingua.

Un Linguaggio quasi Naturale per la Fisica.

Il Corso di Fisica di Karlsruhe è di poco posteriore alla nascita della didattica della fisica e alle scoperte che negli anni 60 hanno rivoluzionato il campo dell'educazione, e che solo ora riconosciamo come profondamente collegate: la psicologia cognitiva di Bruner e la teoria dell'evoluzione della scienza di Kuhn. Confrontando l'approccio del KPK con quello dei precursori del Physical Science Study Committee (PSSC) è interessante notare come entrambi rappresentino l'esigenza di separazione della didattica dalla ricerca, ma mentre quella del PSSC raccomanda una didattica della fisica vicina alla ricerca, i ricercatori di Karlsruhe privilegiano la vicinanza dell'insegnamento ai problemi della vita quotidiana. Anche la scelta degli strumenti usati conferma questa distanza: il KPK da una parte recupera ciò che di didatticamente utile fosse presente nei paradigmi superati, dall'altra cerca di rimuovere con strumenti moderni vecchie difficoltà di insegnamento. Un nucleo tradizionale che con il paradigma dell'acqua va dai fisici antichi fino alla termodinamica di Gibbs, ed un nucleo innovativo basato essenzialmente sul linguaggio: sia parole nuove che nuovi significati per parole antiche.

Cominciamo con l'idea, che alcune grandezze fisiche debbano essere considerate più importanti per la comprensione della disciplina, lasciatemele per ora chiamare grandezze fisiche primarie. Come alcune parole sono più pregnanti e significative di altre cosicché possano descrivere molte differenti situazioni, le grandezze fisiche primarie condensano in una parola secoli di osservazioni scientifiche

---

<sup>6</sup> non dimentichiamo che l'atto della creazione nella Genesi è espresso proprio con il termine "dare il nome".

e di pensieri sulla loro metrizzazione quantitativa. Come le parole del dizionario filosofico, esse non sono facili, ma, una volta imparate, aprono nuovi orizzonti di pensiero.

### ***le quantità***

le grandezze fisiche primarie sono l'energia e le sue "variabili coniugate" della termodinamica classica, quelle estensive, che in passato si chiamavano variabili di scambio. Esse hanno in comune una idea importante da recuperare, che è quella di essere rappresentate in modo significativo come una specie di "roba" o "sostanza", e che ragionevolmente si condensa nel termine "quantità",<sup>7</sup> quando pensiamo ad una "quantità di ..." che può essere trasferita da un sistema fisico ad un altro.

### ***le correnti - i bilanci***

le grandezze fisiche primarie sono quindi al centro di una metafora del trasporto che costituisce la struttura della fisica secondo il KPK. Ed il fatto di possedere una corrente che fluisce dentro o fuori del volume è una caratteristica essenziale.

### ***le intensità - i potenziali***

Ad ogni grandezza primaria è collegata, sempre riferita all'energia, una grandezza intensiva, quelle che in passato venivano chiamate variabili di contatto, e che per le loro proprietà ragionevolmente vengono chiamate intensità'. A ciascuna grandezza primaria del tipo "quantità di ..." corrisponde una "intensità di ..." che misura quanto la quantità sia carica di energia. Esse sono il livello o potenziale gravitazionale, la temperatura, la velocità, la pressione, il potenziale elettrico, il potenziale chimico, etc. La proprietà di essere intensive significa che quando mettiamo insieme due sistemi fisici con lo stesso valore di intensità', questa rimane invariata. Esse si riferiscono ad un punto e quindi per regioni estese dovremo parlare di valori medi.

### ***le spinte***

Inoltre queste intensità' non sono additive, anzi potremmo dire che sono sottrattive, nel senso che la differenza di intensità' si può immaginare come una spinta per la corrente della quantità'. La loro dipendenza dal tempo ha la caratteristica di un tasso di variazione e non quella di una corrente. Esse sono semplici da misurare perché indicano con precisione il confine del sistema fisico con l'esterno, aprono e chiudono le porte per gli scambi delle quantità' e fissano gli stati di equilibrio.

### ***i portatori dell'energia - il bilancio dell'energia***

A livello di principianti l'energia viene introdotta con la domanda: che cosa hanno in comune acqua calda, acqua sotto pressione, acqua in movimento, elettricità, pane, etc ... ragionevolmente chiamati "portatori di energia". A livello più avanzato si dimostra che la classe di equivalenza delle quantità' permette una definizione soddisfacente di energia. [Agnes 2012]. La relazione tra quantità', intensità' ed energia è il bilancio, la conservazione dell'energia nella forma fondamentale di Gibbs, che è limitante chiamare "primo principio della termodinamica" poiché vale per sistemi meccanici, termici, elettromagnetici, idraulici, chimici, etc.

### ***le parole adatte ma non***

utilizzate al meglio delle loro potenzialità' esplicative. In realtà si tratta di parole non capite fino in fondo, di pezzi della teoria fisica lasciati nell'ombra. Come il fatto che i termini *capacità'*

---

<sup>7</sup> Che le grandezze fisiche primarie non abbiano niente a che vedere con le grandezze fondamentali dei metrologi spero fosse ovvio, ma non posso tacere la difficoltà di non avere in italiano il termine "mengenartig" fondamentale per il linguaggio del KPK e semplicemente intraducibile. Forse l'osservazione che il volume non è "mengenartig", perché senza corrente, può chiarire la scelta di usare "quantità di ...".

*resistenza induttanza* non sono propri dell'elettricità ma anche dell'idraulica, della meccanica, del calore ...

### **quantità di moto**

va da sé che in assenza del modello di sostanza, anche la parola definita da Newton venga usata solamente per indicare una formula  $p=mv$ ; danneggiandola anche come formula, cioè nascondendo il fatto che, letta come  $m=p/v$ , acquista il significato pregnante di capacità del corpo di contenere la quantità di moto.

### **quantità di sostanza**

pensate ad inventare una grandezza che risolva il seguente problema: quando posso dire che due quantità di due sostanze diverse sono uguali? ed alla bellezza della soluzione trovata dai chimici con la invenzione di una unità di misura adatta! Lasciatemela banalizzare con la storiella seguente. Ci sono tre scienziati, un M(atematico) un F(isico) ed un C(himico) e due provette, una con 26 grammi di ferro, l'altra con 16 grammi di zolfo.

E una domanda: c'è più ferro o più zolfo? E tre risposte.

M: c'è più zolfo, si vede ad occhio che il volume occupato è maggiore.

F: c'è più ferro, non c'è neppure bisogno della bilancia per confrontare le masse.

C: vediamo ... mescoliamo, scaldiamo e dopo la reazione non ci sono residui né di zolfo né di ferro. Ma allora le due quantità erano uguali, cioè equivalenti in relazione alla reazione chimica  $Fe + S = FeS$ . Cioè dell'una e dell'altra sostanza ci sono un numero di parti che dopo essersi associate a formare il nuovo composto non lasciano residui. Incredibilmente i chimici considerano la mole alla stregua di una unità locale ed invece di usare la grandezza fisica  $n$ , si adeguano all'abitudine dei fisici di contare le particelle con  $N$ . A proposito di particelle, quale nome daresti ad una costante universale con le dimensioni fisiche della quantità di sostanza? Per la precisione  $1,6610^{-24}$  mol.

### **conservazione**

parola sottoutilizzata quando la usiamo semplicemente per dire costante, mentre indica il caso più semplice e importante dei **bilanci** a cui obbediscono tutte le grandezze tipo quantità. Grandezza conservata non vuol dire costante, vuol dire che non può essere creata e non può essere distrutta. L'energia, la quantità di moto, la quantità di moto angolare, la carica elettrica contenute nei corpi cambiano solo per addizione/sottrazione, quando da dentro ne esce o da fuori ne arriva. Il numero di studenti presenti in classe non sempre è costante, se per esempio due arrivano in ritardo o uno va al bagno, ma anche in questi casi rimane sempre CONSERVATO!

### **carica magnetica - quantità di magnetismo**

Le grandezze fisiche sono libere creazioni dello spirito umano, variabili matematiche introdotte perché servono, e questa serve da quando *Maxwell* l'ha inventata ed è passato dal chiamarla "strength of a pole" a "quantity of magnetism", avendone ben identificata la natura di quantità [Herrmann, Agnes 2013]. Tutte le ricerche sull'apprendimento del magnetismo concordano nella grande differenza con l'elettricismo nelle prestazioni degli studenti. Uso questo termine antico per sottolineare la simmetria ed individuare la causa del differente livello di apprendimento proprio nella perdita di questa simmetria. La carica elettrica era uno strumento utile anche quando non era ancora stata isolata sperimentalmente: provate ad insegnare anche senza la carica elettrica ed in poco tempo l'elettromagnetismo regredirà a livello della termodinamica! Il fatto che l'altro ieri<sup>8</sup> sia stato trovato o meno sperimentalmente il monopolo magnetico è irrilevante per l'uso della variabile matematica "carica magnetica"! Chissà che effetto ha fatto la notizia dell'esperimento agli Imperiti

---

<sup>8</sup><http://www.nature.com/nature/journal/v505/n7485/full/nature12954.html>

della Società Tedesca di Fisica, che considerano un errore l'uso di questa grandezza, anche se peraltro negli elenchi troviamo l'unità di misura di flusso magnetico, addirittura quantizzata!

### Modelli e Modo di Pensare Scientifico

Abbiamo ricordato *Bruner* tra padri fondatori della scienza dell'educazione contemporanea, ed è interessante che recenti contributi alla psicologia cognitiva provengano da un'area culturale che si è formata sulla didattica della fisica secondo il KPK. Questo approccio [Fuchs 2011] si configura come una nuova "Gestalt", una "Forma Mentis" caratteristica del modo di pensare "scientifico" degli umani. Essa si struttura attraverso i concetti generici di "quantità", "intensità" e "potenza", considerando quest'ultimo come un termine del linguaggio comune appena tornato in libertà. Come abbiamo visto queste parole sono in grado di immettere nel linguaggio scientifico tutta la ricchezza del linguaggio comune da cui provengono. Inoltre queste parole sono quelle adatte a descrivere "a parole" il calcolo differenziale, identificando gli integrali con le "le quantità" e le derivate con le "le correnti", e quindi queste sono proprio le parole che potevano far conoscere il lavoro di Gibbs anche al di fuori della cerchia degli specialisti, forse evitando appunto che l'insegnamento della termodinamica diventasse così inefficiente.

La capacità di questo linguaggio di immettere nella didattica sia l'essenziale del formalismo matematico che i risultati della psicologia cognitiva a cui accennavamo, è dovuto all'uso di quello che si può ben chiamare "modello di sostanza", e che possiamo riassumere nel modo seguente: ogni processo fisico viene ricondotto a trasferimenti di quantità effettuati da correnti, spinte da differenze di intensità. La caratteristica più vistosa del KPK, un utilizzo generalizzato delle analogie, consegue teoricamente da questo modello e quindi precede la similitudine tra i sistemi fisici. Questo è molto importante per controbattere i realisti: l'analogia tra elettricità e acqua o aria non è tra le cose ma nel modello. Naturalmente si tratta del modello utilizzato dalla fisica del continuo in modo naturale, cioè senza riconoscerlo espressamente come tale e senza dargli un nome. Esattamente come il tradizionale "modello di particella" non viene riconosciuto come tale, ma scambiato come elemento della realtà, creando gravi confusioni, non solo negli studenti [Herrmann, Agnes 2013].

Il più importante studio di valutazione del KPK [Starauschek 2001] considera provato un fatto molto importante dal punto di vista del linguaggio: gli studenti leggono il libro di fisica! ed in modo uguale se sono maschi o femmine! I risultati in termini di apprendimento sono diversi a seconda degli argomenti, primo di tutti la termodinamica, ma in generale le prestazioni degli studenti KPK non sono essenzialmente diverse dagli studenti tradizionali. Questo forse perché la complessità del processo di educazione è tale che un cambiamento di struttura non è sufficiente: sarebbe troppo comodo se la metafora del trasporto funzionasse anche per il trasferimento di conoscenze fisiche come oggetti in una scatola direttamente nella testa degli studenti!

### La Spiegazione Fisica come Gioco Linguistico

Un'altra conclusione della valutazione molto interessante, è quella che considera il linguaggio del KPK un "gioco linguistico" riuscito, nel senso di *Wittgenstein*. Proviamo dunque ad esprimere la spiegazione dell'esempio riportato nel prologo parafrasando il celebre dialogo tra costruttore e assistente, concepito come un linguaggio primitivo completo<sup>9</sup>:

"The language is meant to serve for communication between a builder A and an assistant B. A is building with building-stones: there are blocks, pillars, slabs and beams<sup>10</sup>. B has to pass the stones, in the order in which A needs them. For this purpose they use a language consisting of the words "block", "pillar", "slab", "beam". A calls them out; — B brings the stone which he has learnt to bring at such-and-such a call. Conceive this as a complete primitive language."

<sup>9</sup> Wikipedia, keyword "language games", "sprachspiel" [Philosophical Investigations paragraph 2](#)

<sup>10</sup>block, pillar, slab and beam blocco colonna lastra trave

Attraverso il dialogo si deve costruire la spiegazione del perché l'aria in alto è più fredda. Conveniamo che la spiegazione a livello "primitivo completo" cioè elementare, sia la descrizione di cosa fanno, nel senso da dove vengono e dove vanno, le quantità caratteristiche del fenomeno da spiegare. Nel nostro caso l'entropia. Il problema è dunque spiegare perché nell'atmosfera, che è un sistema fisico in equilibrio, la temperatura diminuisce verso l'alto [CIIF 43 La trasmissione del calore attraverso l'atmosfera] [Herrmann 2005]. Il costruttore (insegnante) nomina i "pezzi" (le grandezze fisiche) da utilizzare per costruire la spiegazione, l'assistente (studente) li mette al posto indicato.

- Insegnante ***entropia - differenza di temperatura - conduzione***  
 Studente la regola generale dice che l'entropia va spontaneamente dalla temperatura maggiore a quella minore. come mai questo non accade per l'atmosfera?
- Insegnante ***resistenza***  
 Studente giusto, l'aria è un ottimo isolante come nel caso dei doppi vetri alle finestre, la conduzione è quindi trascurabile. Quale altro processo porta all'equilibrio?
- Insegnante ***rimescolamento*** di tutta l'atmosfera attraverso la ***convezione***, che richiederebbe una sua spiegazione a parte. Ma ora immaginiamo l'atmosfera costituita di pacchetti di aria, come quelli utilizzati negli imballaggi, ciascuno con la stessa quantità di sostanza e isolati gli uni dagli altri. Ed ora immaginiamo una grande macchina che continuamente rimescola tutti questi pacchetti.  
 Studente ma allora anche lo scambio di entropia tra pacchetti per rimescolamento dovrebbe rendere uniforme la temperatura.
- Insegnante bisogna seguire cosa fa l'entropia, è l'***entropia*** che si distribuisce in modo uniforme in tutta l'atmosfera per effetto del rimescolamento, cioè alla fine ogni pacchetto di aria contiene la medesima quantità di entropia. Ora basta usare il fatto che l'***entropia*** è una funzione crescente del ***volume*** e della ***temperatura***  
 Studente giusto! I pacchetti che sono in alto hanno la stessa entropia di quelli in basso, ma siccome il loro volume è più grande la temperatura deve essere più bassa.
- Insegnante bene. Ma perché il volume è più grande in alto che in basso?  
 Studente ***pressione peso***

Anche il livello della spiegazione rimane elementare naturalmente, e il lavoro dell'insegnante deve andare oltre, e compatibilmente con le conoscenze matematiche calcolare e misurare il valore di circa 6,5°C/1000m, ma devo confessare che elementare<sup>11</sup> è un aggettivo che mi sorprende incontrare parlando di spiegazioni di fisica.

### Epilogo

Sembra molto confortante che sia alcuni sviluppi della psicologia cognitiva che alcuni risultati della teoria del linguaggio, convergano ad affermare che con ***quantità intensità e potenza*** si possa costruire un linguaggio elementare completo per spiegare i fenomeni fisici. Sarebbe una rivoluzione, ma mi accontento della convinzione che sia possibile costruire una comprensione sostanziale della fisica attraverso il capire narrativo, senza semplificazioni non necessarie e senza contraffazioni. Ci sono due conseguenze di ciò, appena al di là dei confini della didattica scolare, che mi piace considerare ricadute e prove di essere sulla strada giusta per il rinnovamento della didattica della fisica.

La prima è la possibilità di avere a disposizione un linguaggio adatto per una vera divulgazione scientifica, attività che con poche eccezioni è ridotta allo stato di retorica pubblicitaria priva di

<sup>11</sup> Quanto ha contribuito Sherlock Holmes a quella immagine onnipotente della scienza che oggi, dopo 100 anni di gas velenosi, 70 di bombe nucleari, è non ultima ragione delle nostre difficoltà di insegnanti?



qualsiasi contenuto didascalico. L'altra possibilità offerta da un linguaggio "quasi naturale" è quella di permettere un dialogo con le discipline umanistiche, che voglio portare come esempio e conclusione. Esso si basa sul potere di attrazione delle parole considerate come ponte tra contesti disciplinari diversi, ma anche come fonte di approfondimento per ciascuno dei campi.

Come per esempio nel film di Spielberg su Lincoln, dove una citazione da Euclide a proposito di uguaglianza e identità porta nuovi significati al tema principale del film, ma anche occasione di approfondire il significato di uguale. Che in fisica significa "non distinguibile", mentre in matematica significa identico! Ampliare l'intorno dei significati non genera confusione se poi le necessarie distinzioni consentono di precisare il discorso. Infatti le metafore tratte dalle scienze naturali erano non solo efficaci, ma parte significativa dell'unità del sapere, e sono praticamente scomparse da quando le scienze hanno privilegiato l'aspetto formale matematico, una necessità che ovviamente limita le possibilità di dialogo.

Un esempio concreto a cui faccio volentieri riferimento per illustrare quanto sopra, è il progetto per la Biennale Democrazia di Torino [Agnes, Urbinati 2013]. L'idea alla base del progetto deriva dal significato etimologico di "parabola", cioè di un racconto che diventa metafora d'altro, e viene quindi proiettato in un contesto differente con lo scopo di spiegare ed esemplificare questo altro, ma anche per arricchire e sostenere in ugual modo il discorso di partenza. Utilizzando il modo narrativo di parlare di fisica schematizzato in precedenza, la teoria politica ed i fondamenti elementari della fisica dell'acqua, scoperte forse altrettanto antiche, sono collegate attraverso parole chiave e commentate dal punto di vista umanistico e scientifico. Due prospettive di un'unica cultura, non due culture differenti.

Infatti il modo discorsivo di parlare di fisica contiene l'assunto principale del progetto, che dalle parole nascano associazioni fruttuose per aree che a prima vista possono sembrare distanti; ma se cultura significa qualcosa che attraversa e collega nel profondo campi coltivati per scopi ed in modi diversi, allora c'è speranza che una operazione di questo tipo sia non solo possibile ma utile.

## Bibliografia

- Herrmann F. Il Corso di Fisica di Karlsruhe Traduzione Italiana P. Pianezzi (2006)  
Agnes C. Un ruolo per la Storia nella Didattica della Fisica; Atti Convegno AIF Mondovì (2013)
- Merzyn G. Language in Science Lessons; Physik in der Schule 36, 6 -7- 8 (1998)
- Herrmann F. Job G. Concetti Inadatti per l'Insegnamento della Fisica Traduzione Agnes (2007)  
CIIF 1 Forme di Energia  
CIIF 4 La Potenza  
CIIF 9 Il Linguaggio Preciso degli Specialisti  
CIIF 12 Azione a Distanza  
CIIF 13 Le Leggi di Newton  
CIIF 43 La trasmissione del calore attraverso l'atmosfera  
CIIF 50 La Costante di Avogadro
- Falk G. Herrmann F. Schmid B. Diverse Forme di Energia o Portatori di Energia? La Fisica nella Scuola, Anno XXII n. 4, 1989
- Truesdell C. The Tragicomical History of Thermodynamics, 1822-1854. (1982)
- Herrmann F. Agnes C. Teoria e Realtà; Atti Convegno AIF Mondovì Esempio B (2013)
- Agnes C. Equivalence and Equivocation: Revisiting the Definition of Energy Proceedings World Conference Physics Education Istanbul (2012)
- Herrmann F. La Cosa e la Misura, Traduzione a cura di Michele D'Anna, Liceo Cantonale, Locarno) La Fisica nella Scuola, Anno XLII n. 2, aprile-giugno 2000, p. 80-89

- Starauschek E. Risultati di uno Studio di Valutazione delle Lezioni di Fisica secondo il Corso di Fisica di Karlsruhe Logos Verlag Berlin 2001
- Herrmann F. Equilibria in the Troposphere Physics Teaching and Learning, GIREP Book of Selected Papers, Forum Editrice Universitaria Udinese srl, 2005, pp. 39-48
- Agnes C. , Urbinati N. Eguaglianza e Differenze: Parabole dalla Scienza alla Politica. Biennale Democrazia, Sezione Dialoghi, Torino 2013