

Potenza e Limiti dell'Analogia in Fisica delle Particelle

Tommaso Dorigo

INFN – Sezione di Padova

L'analogia

- L'analogia è una figura retorica comunemente usata nel linguaggio scritto e parlato. E' cucita nel tessuto stesso del nostro linguaggio (a volte mescolandosi all'iperbole, o altri meccanismi)
- Spesso non ci rendiamo nemmeno conto di stare ragionando per analogia:
 - “Le vuole bene come a una figlia.”
 - “Mi sento come se mi fosse crollato il mondo addosso.”
- In effetti facciamo quotidianamente uso di analogie nei meccanismi del nostro ragionamento: l'analogia è infatti un **processo cognitivo fra i più potenti**. Attraverso l'analogia estrapoliamo le nostre conoscenze a sistemi più complessi, riducendone la difficoltà.

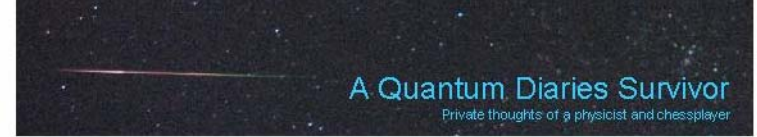
Nelle scienze esatte, tuttavia, abbiamo il problema di non poter deformare a piacimento alcune parti del problema: neglignendo l'aspetto quantitativo delle leggi fisiche o delle equazioni matematiche, perdiamo una parte importante del “potere esplicativo” dell'analogia.

- **Esiste una ricetta, o almeno delle linee guida, per decidere se un'analogia è utile o meno ?**

Cercherò di rispondere a questa domanda per quanto riguarda la divulgazione della fisica delle particelle, campo in cui ho una qualche esperienza accumulata in 8 anni di blogging.

Il Blog e il feedback

- Il terreno ove ho raccolto le mie esperienze sul potere e sui limiti di analogie create per spiegare concetti di fisica delle particelle è il mio blog, A Quantum Diaries Survivor.
- Il blog riceve **oltre un milione di visite all'anno**. Vi pubblico fra i 10 e i 15 articoli al mese per commentare e spiegare risultati di fisica e argomenti correlati. Ciascun articolo riceve in media una dozzina di commenti nei primi giorni di vita
 - I commenti sono lo strumento principe con cui comprendere quanto i testi siano "on target", se i concetti trattati sono alla portata dei lettori, e se rispondano al loro interesse
 - spesso i commentatori lasciano utili informazioni sull'efficacia di una spiegazione
- Ragionando sui metodi più efficaci di spiegare concetti di fisica ostici mi sono trovato a ragionare sulla costruzione dell'analogia. Il blog ne è palestra.
- Esiste **una letteratura molto vasta sull'argomento**, che è chiaramente interdisciplinare. Anche un po' di confusione...



Significance In Presence Of Systematics, And The LHCb Observation Of Bs Decays To Pion Pairs

By Tommaso Dorigo | October 7th 2012 07:38 AM | 2 comments | 970 reads | [Print](#) | [E-mail](#) | [Track Comments](#)

[RSS](#) [Share / Save](#) [f](#) [t](#) [g+](#) [Twitter](#) [+1](#) [Like](#)



In particle physics searches (and elsewhere) the word "**significance**" is associated with the quantitative measure of how discrepant is one observation with a so-called "null hypothesis". That is, one searches for a new effect in some dataset, and defines what one expects to see in the absence of anything discrepant from theoretical predictions: that is the null hypothesis. A new particle in the data will usually manifest itself as an excess of events, and this will cause the data to deviate from expectations.

A significance Z of the observation of more events than predicted can then be computed by evaluating the probability that such a discrepant dataset be observed if the null

A Quantum Diaries Survivor

MORE ARTICLES

- Significance In Presence Of Systematics, And The LHCb Observation Of Bs Decays To Pion Pairs
- The Quote of the Week
- Do you recycle your texts ?

[All Articles](#)

ABOUT TOMMASO

I am an experimental particle physicist working with the CMS experiment at CERN and the CDF experiment at

HOME

My Content

Title	Post date	Total views▼
OPERA Confirms: Neutrinos Travel Faster Than Light!!	Nov 17 2011 - 8:00pm	139,241
Rumors About A Light Higgs	Jul 8 2010 - 2:59pm	63,179
Did Atlas Just See The Higgs ?	Apr 22 2011 - 5:50am	52,289
Large Extra Dimensions At Reach Next Year!	Jul 11 2009 - 5:43am	46,691
Is That A New Massive Particle ?	Apr 6 2011 -	45,476

L'analogia: vediamo cosa ne pensava...

- A. Einstein: “In the explanation of physics phenomena, everything should be made *as simple as possible, but not simpler than that*”
 - Un pericolo è dunque **l'eccessiva semplificazione**: nel tentativo di rendere familiare ciò che ci è ostico, includiamo nell'analogia troppo poco dettaglio, deteriorando la corrispondenza e impedendo la compressione del sistema complesso
- Old Albert at work:

“You see, wire telegraph is a kind of a very, very long cat. You pull his tail in New York and his head is meowing in Los Angeles. Do you understand this? And radio operates exactly the same way: you send signals here, they receive them there. The only difference is that there is no cat.”

Semplice quanto serve, o troppo semplice ? Questo dipende dalla audience che si ha: per un bambino la spiegazione è perfetta, per un corso di tecnica delle comunicazioni sarebbe imbarazzante.

Due cose importanti

Bisogna avere ben chiare due cose quando si costruisce un'analogia per spiegare un concetto in fisica:

- 1) quali sono le **competenze** dei nostri ascoltatori
- 2) **cosa vogliamo che gli ascoltatori davvero "portino a casa"** dall'analogia che costruiamo.

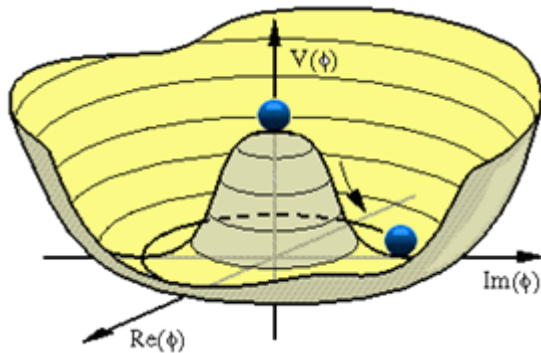
→ E' utile cercare di riconoscere alcuni fattori che permettano di giudicare se un'analogia è appropriata per la nostra audience, se permette di raggiungere lo scopo prefisso, o se è troppo complicata e potenzialmente distrae dall'obiettivo.

Un esempio di analogia ben costruita ma che non "spiega" nulla: la famosa spiegazione della **rottura di simmetria elettrodebole con i commensali alla tavola imbandita**, dovuta a Abdus Salam

La rottura di simmetria elettrodebole

- Immaginiamo di cercare di spiegare come la scelta di uno dei possibili stati di vuoto per un doppietto di campi scalari complessi $\phi = [\phi_1 + i\phi_2, \phi_3 + i\phi_4]$ rompe la simmetria del sistema fisico.

“Siete in molti a una cena e vi sedete intorno a un tavolo rotondo. Notate che il bicchiere del vino è a destra del vostro piatto, ma anche vicino alla sinistra del piatto del commensale seduto alla vostra destra. Non sapete quale prendere. A un certo punto qualcuno prende il bicchiere alla sua destra: ora che la scelta è stata fatta, il sistema non è più degenere, e c'è una sola scelta logica del vostro bicchiere. Similmente, nella Lagrangiana di Higgs c'è una degenerazione –una moltitudine di stati possibili equivalenti– e la scelta di un particolare valore di ϕ determina quale sia la realizzazione fisica del sistema.”



Ho **sempre trovato inutile questa analogia**. Abbiamo speso qualche minuto a creare negli ascoltatori l'immagine della tavola e li abbiamo immedesimati nel campo di Higgs. Ma cosa portiamo davvero a casa? Abbiamo forse spiegato **come** avviene questa scelta, o **cosa** succede ai gradi di libertà che vengono trasferiti dal campo di Higgs alla massa dei bosoni vettori? No, abbiamo spiegato solo cos'è la rimozione di

Il valore di una analogia

- Nella letteratura specifica il valore di una analogia è identificato con il suo **potere predittivo delle caratteristiche incognite della sorgente**. Si possono identificare delle proprietà della similarità fra sorgente e target che sono legate alla forza dell'analogia che si può trarre fra essi:
 - **la rilevanza** delle somiglianze alla caratteristica o funzione oggetto dell'inferenza logica
 - il loro **numero e la loro varietà**
- Tuttavia, nel caso di applicazioni didattiche, vi sono altre unità di misura.
 - quanto più **familiare** è agli ascoltatori il target della sorgente / quanto breve è la descrizione necessaria del target, e quanto è nota la **parte del target oggetto dell'inferenza**
 - **quanto** effettivamente **coincide**, in target e sorgente, la **fenomenologia** della parte oggetto dell'inferenza. La somiglianza potrebbe essere solo accidentale, o lessicale. Nell'esempio della rottura di simmetria, la degenerazione rimossa dalla scelta del bicchiere o dal valore di ϕ non possiede caratteristiche in grado di estendere la deduzione. Dove sono i bosoni di Goldstone ? Non certo nel bicchiere di vino.

Invece nell'analogia di Einstein telegrafo/gatto, oltre al potere predittivo (i segnali si possono propagare in un filo come in un gatto) la forza sta sia nella familiarità del target, quanto nella predicibilità della risposta del gatto (miagolio) alla sollecitazione (tirare la coda). Inoltre **la fenomenologia è coincidente** (ed è qui la parte sorprendente): si tratta sempre di segnali elettrici propagati in un "filo" !

Problemi tipici



1. L'analogia deve avere come obiettivo di **estendere la nostra comprensione della "sorgente" attraverso lo studio di un "target"** familiare. A volte però le caratteristiche già note di sorgente e target sono molto simili, mentre quelle che vogliamo spiegare non sono per nulla simili o mal si prestano a una deduzione. Manca un vero e proprio **potere deduttivo**.
2. Quanto **familiare** è agli ascoltatori il target (l'oggetto discusso nella analogia) ?
 - Se per discutere un sistema fisico complesso se ne chiama in ballo un altro, magari più semplice ma anch'esso non noto agli ascoltatori, l'analogia non è utile
3. E' facile concentrarsi sulle caratteristiche oggetto dell'inferenza, o il target scelto è complicato o presenta caratteristiche che **distraggono** l'ascoltatore ? L'analogia è **economica**?
 - A volte per spiegare un concetto difficile ci imbarchiamo in una analogia troppo complicata. Questo ha effetti negativi perché **richiediamo troppa immaginazione agli ascoltatori**, cui diventa difficile mettere a fuoco le caratteristiche che ci interessano del target scelto.
4. Un pericolo è anche quello di **portare troppo avanti** una buona analogia. Distrae dallo scopo, e rischia di mancare l'obiettivo che ci eravamo posti.

Inoltre...

1. Esistono controindicazioni ? R. Dawkins nel suo libro “The God Delusion” parla di un “ultimate burqa” che ci ha permesso per secoli di vedere solo una piccola parte del mondo attraverso una fessura; la scienza ha gradualmente aperto questa fessura; speriamo essa possa un giorno liberarci dal burqa. L’analogia può essere buona, ma può anche risultare **offensiva** per un musulmano.
Un altro esempio: “**Imagine that this room is your vagina**”. La persona che riporta questa frase spiega “**Could you come up with an analogy that doesn’t have us standing in my vagina ? It caught me so off guard that I couldn’t remember which wall was was my cervix.**”
2. L’analogia può essere **imperfetta**: una differenza importante fra sorgente e target può rendere inefficaci le conclusioni che se ne derivano.
3. Attenzione anche a non scegliere analogie troppo semplificate! Gli ascoltatori potrebbero sentirsi offesi o perdere interesse se si cerca una spiegazione di **livello troppo basso**. La troppa semplificazione inoltre, come Einstein spiega, impedisce di imparare qualcosa da una analogia.
4. Infine, esistono le **false analogie** (J.S.Mill): la proprietà oggetto dell’inferenza o deduzione è parte di ciò che distingue sorgente e target dell’analogia. Argomento affascinante ma troppo esteso per oggi.

Alcuni esempi dal blog

- Nella seconda parte di questa presentazione discuterò alcuni esempi di analogie utilizzate nei miei articoli per spiegare concetti di fisica, identificando quando possibile elementi di forza e di debolezza secondo la grossolana categorizzazione delle slides precedenti.
 - Perché l'interazione debole è debole ?
 - **Cos'è il problema della naturalezza ?**
 - Perché i quarks non possono esistere liberi ?
- Dato il carattere generalista di questo incontro, mi scuso in anticipo con chi non è familiare con i concetti oggetto di questi esempi...

L'interazione debole e il profumo di cioccolata



La grande massa dei bosoni W e Z è la ragione della debolezza delle interazioni deboli: la loro massa impedisce loro di mediare interazioni di lungo raggio, ed è un parametro che determina l'intensità dell'interazione.

“Per comprendere come un mediatore massivo può essere meno efficace, ed agire più debolmente di uno senza massa, confrontate una tazza di cioccolata calda con una tavoletta di cioccolata: il vapore caldo disperde intorno alla tazza molte piccolissime particelle leggere, che si possono facilmente annusare a distanza. Invece la tavoletta può solo rilasciare poche piccole scaglette di cioccolata solida se vi andate molto vicino e inalate con forza. Le scaglette sono più massicce e meno abbondanti dei corpuscoli che evaporano dalla tazza, e sono pertanto incapaci di trasportare lontano l'interazione di cioccolata; inoltre, anche a piccola distanza l'odore di cioccolata che si può sentire dalla tavoletta è meno intenso, per via della minor quantità di scaglie rilasciate quando annusate.”

Prima di discutere pregi e difetti di questa analogia, vediamo come l'ho “portata avanti” nel blog, cercando di spremene il massimo significato possibile.

“Il comportamento dell’odore di cioccolato dalla tazza e dalla tavoletta può essere assimilato al comportamento delle interazioni elettromagnetiche e deboli a bassa energia: le prime appariranno molto più intense.

Ora però si immagini di costruire uno “sniffer” computerizzato che analizzi l’odore di corpi solidi e liquidi allo stesso modo: la sostanza oggetto del test viene vaporizzata e le linee di assorbimento del vapore vengono studiate. Lo sniffer troverà che la cioccolata calda e la tavoletta hanno la stessa intensità di profumo. Allo stesso modo, interazioni elettromagnetiche e deboli diventano egualmente forti ad alta energia, una volta che la massa di particelle di cioccolata o scagliette –ovvero fotoni e bosoni W e Z –diventa irrilevante.”

- Nonostante il “bonus esplicativo” della seconda parte di questa analogia, che introducendo un nuovo elemento (lo sniffer) cerca di spiegare l’unificazione elettrodebole, probabilmente sarebbe stato meglio fermarsi alla prima parte: ci siamo innamorati troppo dell’analogia e l’abbiamo usata per spiegare di più di quanto ci eravamo originariamente proposti.
- L’analogia è stata anche criticata per la **manca di spiegazione del range finito dell’interazione forte** (che è mediata da gluoni, che hanno massa nulla). Questa però non è una critica valida, per lo stesso motivo citato sopra: una buona analogia non deve per forza spiegare più di quanto sia previsto.

The chocolate interaction: Valutazione

Accettato che la seconda parte dell'analogia è "troppo spinta" e forse utile solo in un ambito diverso da quello didattico del blog (tratta concetti che non volevo discutere, quali l'unificazione ad alta energia delle interazioni elettrodeboli) concentriamoci sulla prima parte.

- + **Familiarità** con il target: forte
- + **Rilevanza**: le caratteristiche comuni – emissione di particelle di diversa massa – sono poche ma rilevanti per determinare il comportamento del sistema
- Numero e **varietà**: questo è un punto debole dell'analogia in questione
- La **fenomenologia** (intensità dell'odore/intensità dell'interazione) è un punto debole dell'analogia: è solo apparentemente riconducibile allo stesso comportamento delle caratteristiche oggetto dell'induzione logica. In realtà l'odore si ricava da singole molecole comunque vaporizzate, non da interi corpuscoli.
- + Il **potere deduttivo** è presente: si comprende la differenza di comportamento delle due interazioni
- + **Economicità**: sicuramente il target è economico
- **Imperfezione**: si potrebbe discutere della natura accidentale dell'analogia; i gluoni hanno massa nulla
- + **Semplicità**: per la audience cui è stata proposta, l'analogia era del giusto livello
- + **Falsa analogia**: no

→ Secondo questi criteri, l'analogia in questione è uno **strumento ragionevolmente efficace per spiegare la debolezza delle interazioni deboli**

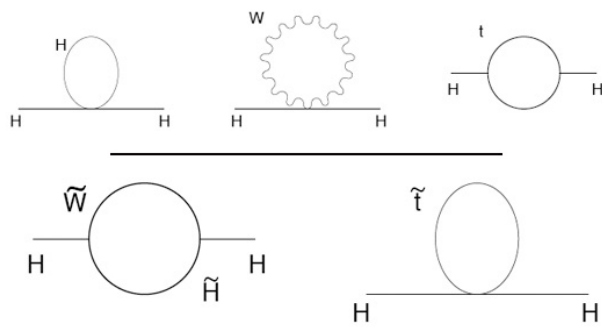
Il problema della naturalezza e i dieci amici di Michelangelo Mangano

- La massa del bosone di Higgs riceve delle correzioni quantistiche dovute a diagrammi a loop. Queste correzioni dipendono da un **parametro di cut-off**, il **massimo valore dell'energia delle particelle che circolano in questi loops**. Se assumiamo che il cut-off sia alla massa di Planck M_{Pl} queste correzioni sono gigantesche; questo ha portato i fisici teorici a ipotizzare che esista **nuova fisica a una scala molto minore di M_{Pl}** , che fornisca un cut-off rendendo meno “cosmica” la coincidenza (la cancellazione mutua di questi numeri enormi). Il problema è stato spiegato da Mangano con una analogia:

“Immaginate di chiedere a dieci amici di fornirvi un numero reale irrazionale compreso fra -1 e +1. Ne fate la somma, e scoprite che il risultato è diverso da zero solo alla trentesima cifra decimale (0.00000 01). Cosa concludete ? Siete disposti a ritenerlo un caso, o la prendete come una evidenza che i vostri amici si siano messi d'accordo ?”

- Se esaminiamo questa analogia, non è chiaro il suo **potere deduttivo**. **Cosa c'è nel target che conosciamo e non conosciamo nella sorgente ?**

La poca probabilità che la somma di grandi numeri dia un numero piccolo non è un concetto che richieda una analogia per essere assorbito. L'ascoltatore è certamente in grado di considerare il gioco dei 10 numeri, ma quel sistema non ha nulla in comune con le correzioni quantistiche alla massa del bosone di Higgs che sia più semplice da comprendere. Inoltre, **prendere un intervallo da -1 a +1 è forse elegante, ma allontana dall'idea della enormità del cut-off M_{Pl}** .



Dieci turni di roulette



Possiamo **migliorare** l'analogia di Mangano costruendo un sistema target che abbia come parametro la dimensione dei dieci numeri: **dalla piccolezza della loro somma possiamo dedurre la dimensione del parametro, e la necessità di un cutoff**. Da questa idea nasce il mio "miglioramento" dell'analogia di Michelangelo:

"Immaginiamo che un amico giochi a una roulette no-limits, e punti delle somme sul rosso, dieci volte. Ogni puntata è determinata in modo assolutamente casuale, ma inferiore a un certo limite massimo **M** da lui deciso in partenza, ovvero:

$$x_i = \text{gRandom} \rightarrow \text{Uniform}(0,1) * M.$$

L'amico dopo dieci puntate si trova con un euro in meno di quanto aveva in partenza. Cosa possiamo dedurre sul massimo che si era imposto ? Possiamo pensare che **M = 1000 miliardi di euro** ? No! **Siamo portati a ritenere che il massimale M fosse di pochi euro!**"

Questa analogia è migliore di quella originale perché **ci permette di capire più velocemente come i fisici teorici deducano che ci deve essere un cut-off**, nuova fisica a una scala di energia non tanto alta. **Il focus dell'analogia è non tanto nel paradosso della cancellazione, che è apparente anche nella sorgente, ma nella inferenza su M.**

10 Rounds of Roulette: Valutazione

Prendiamo in considerazione la mia versione “migliorata” dell’analogia di Mangano, e analizziamola criticamente secondo i parametri discussi in precedenza:

- + **Familiarità:** alla Roulette hanno giocato tutti almeno una volta
- + **Rilevanza:** le caratteristiche oggetto della deduzione (i numeri grandi) sono rilevanti alla inferenza (la loro mutua cancellazione)
- Non si tratta certo di una analogia molto “spinta”: il **numero** di caratteristiche comuni ai due sistemi sorgente e target è molto ridotto.
- + **Fenomenologia** coincidente: la deduzione che M (la scala di nuova fisica, o la massima puntata) non può essere grande verte sulla coincidente base fenomenologica – qui la semplice aritmetica, o se si vuole anche un’inferenza Bayesiana
- + **Potere deduttivo:** certamente presente e forte
- **Economicità:** il chiamare in causa una “roulette no-limits” non è economico, specie se si deve enunciare una ricetta di random betting
- + L’analogia non è troppo spinta, né imperfetta, né offensiva, né troppo semplificata o falsa.

→ Nel complesso si tratta di una ottima analogia, in grado di far capire con immediatezza un concetto piuttosto elusivo, la deduzione che nuova fisica debba essere “dietro l’angolo”. Si può anche notare come **il sistema sorgente sia estremamente complicato da spiegare, mentre il target sia semplice.**

QCD, stringhe e molle

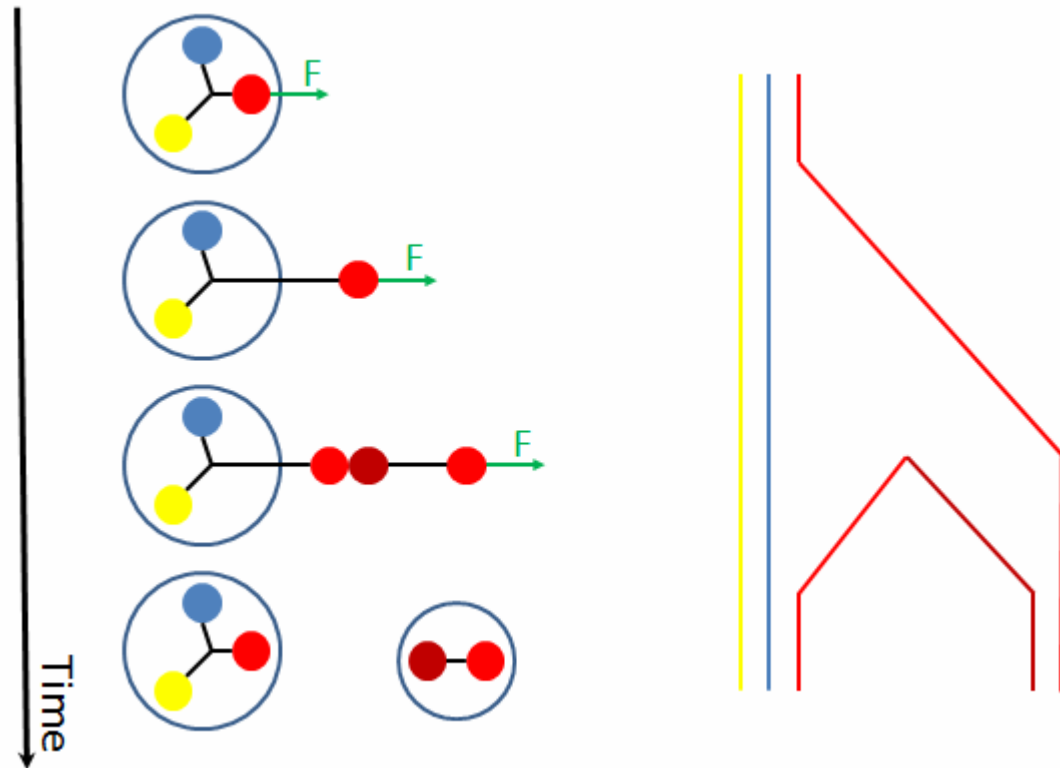
- Spiegare il comportamento di quarks e gluoni nel protone tramite una analogia con l'estensione di una molla è una **tentazione naturale** per un fisico: **il potenziale di interazione di QCD cresce con la distanza inter-quark proprio come l'energia potenziale di una molla.**
- Tuttavia l'analogia è solo parziale. Una molla troppo estesa si deforma, non si rompe; i suoi estremi non sono parte essenziale del sistema. L'ascoltatore può venire confuso se misinterpreta il livello al quale l'analogia funziona.
- La domanda da porsi in questo caso appare la seguente: **cosa vogliamo effettivamente che l'ascoltatore "comprenda" ?**
 - che i quarks sono confinati dentro adroni dalla forza forte, e a cosa ciò è dovuto

Un buon grafico può essere molto più efficace nello spiegare i dettagli del comportamento dei quarks! Vedi slide seguente →

Visualizzazione: l'alternativa principe

Fare ricorso alla **visualizzazione grafica** dei fenomeni fisici è un'alternativa spesso vincente alla semplice descrizione e comparazione analogica – con grafici sufficientemente ben progettati si riesce a mettere a fuoco le caratteristiche oggetto dell'indagine e a spiegare in modo semplice concetti apparentemente ostici, **senza perdere di vista le specificità del sistema fisico in esame.**

Il confinamento dei quarks negli adroni è facile da far capire senza ricorrere a molle che si estendono (che a loro volta sono un sistema fisico ben complicato, e sono una analogia imperfetta della stringa di colore).



Conclusioni

- L'analogia è uno **strumento imprescindibile per spiegare la fisica**, tanto più utile quanto maggiore è la necessità di semplificazione
- Non è però l'unico! Bisogna quindi comprenderne i pro ed i contro.
- Esistono diverse “pitfalls” da evitare nella costruzione di efficaci analogie
- Si possono tracciare delle **linee guida** per costruire analogie in grado di comunicare davvero dei concetti ostici di fisica. In questa presentazione ne ho descritte alcune.
 - Se costruite analogie nella vostra attività didattica, ponetevi il problema e **operate una auto-valutazione** come quella vista: è un esercizio utilissimo! Senza di essa non avrei trovato un miglioramento dell'analogia dei 10 numeri.
- L'esperienza di comunicazione in un blog permette di verificare “sul campo” e con valido feedback il valore di spiegazioni semplificate dei fenomeni fisici.

The ultimate analogy: la fisica come tentativo di comprendere le regole di una partita di scacchi
(R.Feynman)

<http://www.youtube.com/watch?v=yqp3KXDu9q>

E

Abstract

The analogy is a powerful tool to explain even apparently hard physics concepts. By substituting a complex system with one closer to one's experience, we allow the listener to construct a mental image which is the basis of a successful understanding of the properties or behaviour of the system being discussed.

In this presentation the author will discuss his experience with offering successful and unsuccessful analogies for hard-to-grasp particle physics concepts to an audience of laypersons through his personal blog, A Quantum Diaries Survivor (http://www.science20.com/quantum_diaries_survivor).