

## „PHYSICS IS FUN” – COME SI COSTRUISCE LA FISICA MODERNA OSSERVAZIONI SUI CONTENUTI E METODI DEL MESSAGGIO DIDATTICO

**Grzegorz Karwasz**

*Divisione di Didattica della Fisica, Università di Nicola Copernico, Toruń, Polonia*

### 1. Premessa

- “Come ci si immagina un elettrone?”
- “Come un puntino”.
- “Ed un protone?”
- “Come un puntino.”
- “Ed un quark?”
- “Anch’esso come un puntino.”

Davvero? Non abbiamo nessun’altra immaginazione? Una Terra è un puntino e la Luna un puntino? Non è per caso che abbiamo un po’ ridotto il nostro senso di creatività? Non è che i quark potrebbero avere la loro identità sovrana?

### 2. Motivazione

Un’altra motivazione mi è venuta stando seduto a tavola con esperti di fisica a Bruxelles e votando l’assegnazione di finanziamenti per i progetti europei di ricerca. Ogni talvolta si votava un progetto di ingegneria di materiali alzavano la mano gli esperti di stato solido, quando si votavano i progetti delle particelle elementari – i fisici nucleari. Mi sono accorto che, come nella favola del Imperatore nudo, ognuno è esperto nella sua specializzazione ma si dimostra dilettante nelle materie affini. Risulta chiaro che il sistema d’insegnamento della fisica moderna negli atenei europei come anche la divulgazione di essa fra gli scienziati attivi non funziona correttamente. Da queste riflessioni nacque l’idea di insegnare la fisica non solo agli studenti degli anni superiori (il secondo biennio universitario e master) ma anche ai fisici professionali: ecco l’origine del progetto “Physics is Fun” [1].

Il Progetto che fu finanziato dal VI Programma Quadro nel Panel “Science and Society” – *public understanding of science* coinvolse 4 università fra l’Italia, la Francia e la Polonia e tre case editrici multimediali. L’attività principale del Progetto consisteva in una serie di mostre interattive in ambito internazionali sui problemi di fisica, sia elementari, sia di fisica moderna.

### 3. Le tematiche

Dopo la lettura di vari testi, da un papa che vola in elicottero sopra Vaticano con una palla di antimateria a i buchi neri esistenti all’inizio dell’Universo ma evaporati circa tredici miliardi di anni fa’, si arrivò a sintetizzare che due erano le costatazioni rilevanti da fare – una sulla natura dei contenuti e l’altra sulla scelta di messaggio. La natura di contenuti sembra andare alla deriva verso le cose più strane possibili – universi paralleli, tunnel di spazio-tempo, undici dimensioni di cui sette arrotolate come un tappeto e così via. Dove sta in questa visione il principio fondamentale di tutta la scienza “moderna” cioè la via tracciata da Bacone (non moltiplicare gli esseri oltre il dovuto) e da Galileo (la scienza vuol dire un esperimento, cioè una situazione ripetibile e verificabile). In una delle proposte di ricerca avevo letto “I cractets [uso un termine diverso da quello originale] sono oggetti estremamente utili nella descrizione della fisica dei plasmi, della evoluzione delle stelle di neutroni, della teoria di superconduttori; può darsi che i cractets *esistano anche in natura*” (!) . In un panel dell’UE abbiamo finanziato ben 25 borse europee nella teoria delle stringhe. Gli esperti possono chiedere delle consulenze esterne. Un mio collega, professore di fisica nucleare, chiesto sulla teoria di stringhe, si esprime dicendo: “la teoria di stringhe in 25 anni non ha tirato fuori *un* ragno dal buco”. Così, nel “Physics is Fun” la motivazione per la scelta delle tematiche è stata di scegliere fenomeni meno appariscenti delle particelle elementari e magari un po’ più *utili o pratiche* . Leidemann, premio Nobel, scopritore del neutrino mu, dell’asimmetria di parità-carica ed un paio di altri fenomeni, nel suo libro “Particella di Dio” tutto dedicato ad un lamento sul governo americano che non volle

costruire un mega-acceleratore, la qual cosa impedisce la scoperta del bosone di Higgs dice “- Così no potremmo scoprire la particella di Dio”. Ma, da grande scienziato, alla fine del libro aggiunge onestamente “-Ovviamente, se ne esiste solo una...”. Nel commento di prof. Lev Pitaevski, uno di più grandi teorici viventi la decisione del governo americano fu saggia, perché con i vecchi (cioè della metà di anni novanta) superconduttori il costo sarebbe elevato e la resa bassa. Poi Pitaevski aggiunge anche “Con le tecnologie attuali un acceleratore in grado di verificare la teoria delle stringhe dovrebbe avere il diametro dell’Universo”. E senza aggiungere altre parole si capisce che un desiderio così viola il principio di Bacone, vuol dire *temporaneamente* non appartiene ancora alle Scienze percepita come le *nozioni verificabili, in modo ripetibile*.

Così tocchiamo anche il secondo aspetto della moda odierna nella pseudo- divulgazione scientifica: chi spara la più grossa? Non togliendo niente alle recenti opere sembra che si formi un divario tra la cultura letteraria e la scienza. Un abbaglio delle permutazioni di cinque lettere tradisce il mancante calcolo combinatorio nella (passata) scuola superiore. Da una parte “ i letterati” che mostrano i segni di non capire la scienza moderna, dall’altra gli scienziati, sinceramente molto illustri, ed anche pochissimi, che si esprimono in programmi TV della seconda fascia mattutina e rimango fermi sulle posizioni divulgative di anni sessanta. La divulgazione della Scienza Moderna davvero vacilla!

Altro aspetto della stessa storia della fisica nucleare lascia “scheletri negli armadi”, oppure nozioni nascoste sotto il tappeto, come la determinazione delle masse dei quark. Se conosciamo con una discreta precisione quelle dei quark esotici come il “top”, quelle dei due comuni, come “up” e “down” le conosciamo con la barra di errore del  $\pm 50\%$  <sup>1</sup>]. Perché non usare la debolezza come un’arma vincente? “- Guardate, ragazzi, che persino le masse di quark di cui siamo fatti sono sconosciute. Tutto da scoprire aspetta a Voi!”

Così la motivazione per la scelta sia della forma che delle problematiche fu *puntare sul semplice per esplorare lo sconosciuto*.

#### 4. Fisica, ma questa leggera

Nell’immaginario collettivo, ancora di più dei giornalisti e dei divulgatori scientifici che dei comuni lettori, la fisica si riduce ai grandi acceleratori sotto la terra e chilometri di (ultracostosi) tubi di ultra alto vuoto. Con i risultati definibili così:

- la fisica è una materia per gli scelti, quasi extra terrestri, chiusi nelle loro torri di cristallo
- i risultati che portano sono estremamente interessanti, se anche non si capisce a che cosa servano
- le ricerche, sicuramente, richiedono grossi finanziamenti.

Chiaro, che non solo un cittadino comune ma anche un politico, non necessariamente grande esperto di scienza, dubita sull’utilità quotidiana dei finanziamenti richiesti (e necessari). La lettura di un messaggio divulgativo sbagliato torna al mittente...

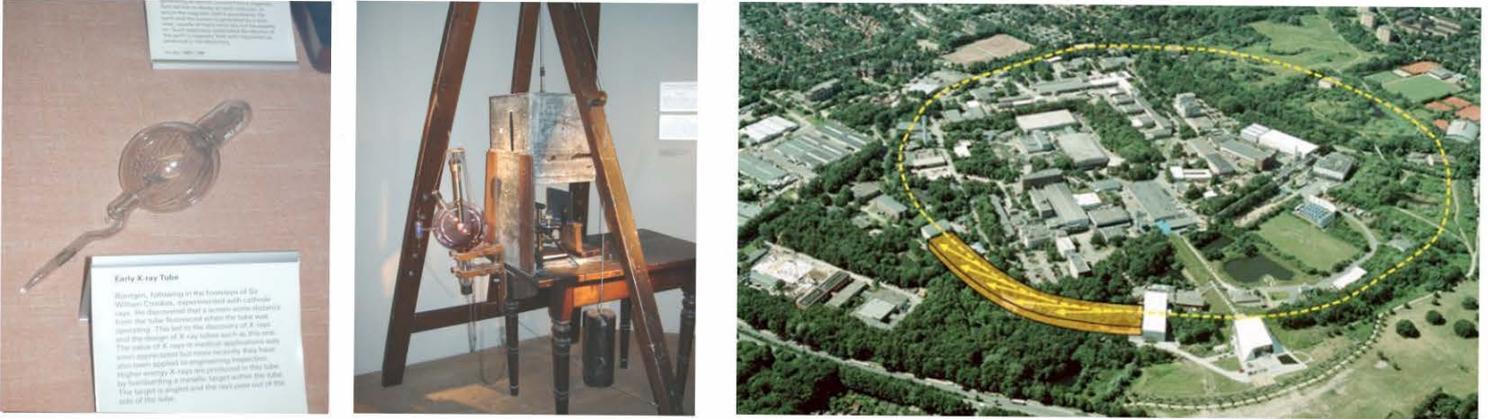
Altri ampi spazi di scienza moderna sono invece, ugualmente, se non più utili e non richiedono finanziamenti così esuberanti. È quella branca che definiamo fisica *leggera* o *soft*. Ad essa appartiene la fisica medica, la fisica chimica, metodi analitici, fisica dei beni culturali, geofisica etc. Chiaro che quell’ultimo “etc.” richiede qualche spiegazione, anzi, sistematizzazione.

#### 5. La traccia

Con “etc.” diventa necessaria qualche scelta della traccia per i percorso attraverso la fisica moderna. Ovviamente, si potrebbe dividere la fisica in settori: atomica, molecolare, nucleare, delle particelle elementari, geofisica, astrofisica, fisica dello stato solido arrivando di nuovo a un “etc”. Un’altra traccia potrebbe essere lo sviluppo storico: “100 anni dalla scoperta dell’elettrone” [3], “100 anni dalla scoperta di raggi X” [4] che però non esplora tutta la ricchezza della fisica moderna. Comunque, la traccia storica rimane interessante, e la utilizzeremo in combinazione con altre. Utilizzeremo, in par-

<sup>(1)</sup> Essattamente, i limiti recentemente stabiliti per le masse di quark *up* e *down* sono seguenti:  $1/2(m_u+m_d)=4.2 \text{ MeV}/c^2$ ;  $1.5 < m_u < 5 \text{ MeV}/c^2$ ;  $5 < m_d < 9 \text{ MeV}/c^2$  [2].

icolare, il contesto storico delle prime scoperte (con le apparecchiature) che hanno aperto un settore di ricerca, come gli strumenti originali con cui Thompson scoprì l'elettrone o i primi apparati di raggi X [5]. I primi apparati sono come una parentesi che si apre. La parentesi che si chiude corrisponde alle nuovissime applicazioni del settore, come i moderni fasci di luce di sincrotrone, vedasi fig. 1. Un'altra traccia storica e' formata, per esempio, dalla storia di premi Nobel [6].

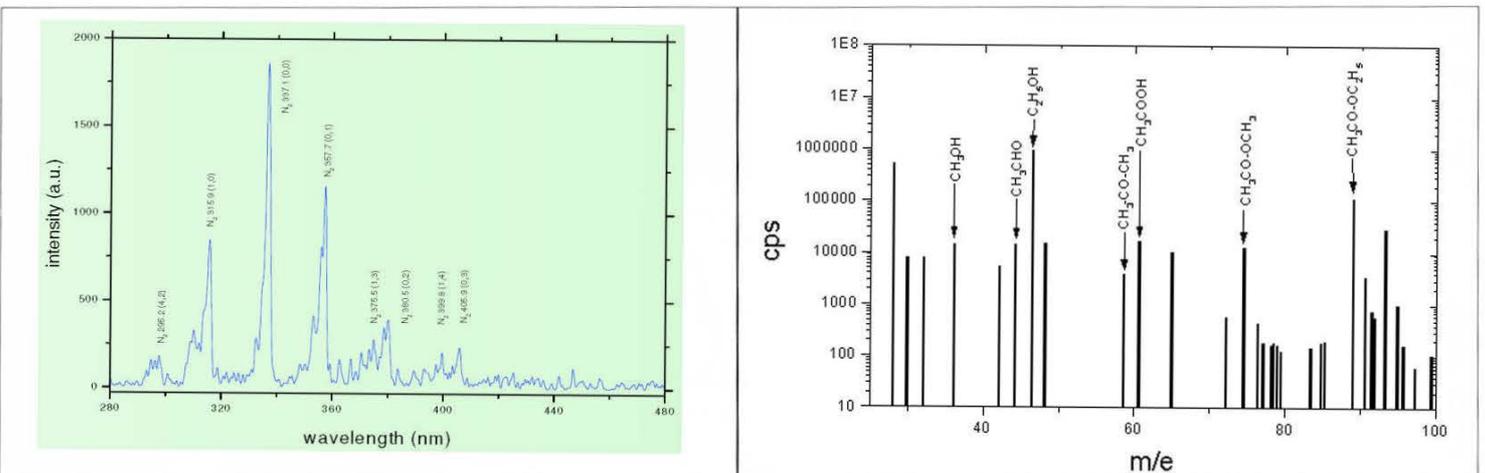


**Fig. 1** - Un possibile percorso metodologico “Sulla strada di Fisica Moderna” consiste nella storia di apparati sperimentali, come in questo caso i tubi per raggi X e moderni fasci di luce di sincrotrone [5].

**6. Spettroscopia, cioè la scienza degli spiriti**

Tornando alla definizione della fisica “leggera” ci si accorge che un denominatore comune dei metodi ottici, di spettroscopia di massa, della diffrazione di raggi X o di elettroni rimane la parola “spettro”. Maggior parte delle parole scientifiche deriva dal greco; inutile però cercare la parola “spettro” nel dizionario del greco – non esiste. Cognata solo da Cicerone, significa *immagine, visione, simulacro* [7]. Fu ripresa da Newton nel 1672 nella sua lettera su luce e colori: “Comparing the length of this coloured Spectrum with its breadth...” [8].

Esplorando significato *etimologico* di Cicerone possiamo costruire la definizione di “spettro” che non e' oggetto stesso su cui viene fatta la misura ma la sua *rappresentazione* o meglio la *proiezione* delle sue proprietà ottenuta con un determinato apparato sperimentale. (Rimaniamo comunque diametralmente opposti alle proiezioni di Platone; per un fisico sperimentale l'oggetto è reale, se anche conoscibile solo attraverso le Democritiane *emanazioni*, come per esempio lo spettro di emissione od assorbimento dell'atomo di idrogeno [6]).



**Fig. 2** - Due esempio di *spettri*: spettro ottico nel visibile dell'emissione elettromagnetica delle molecole di azoto in una scarica a bassa pressione [cortesia Eryk Rajch, PAP Slupsk]; spettro di massa del “profumo” delle fragole ottenuto con il metodo di ionizzazione via cedimento del protone (Proton transfer mass spectroscopy) [cortesia prof. David Bassi, Università di Trento]. Lo spettro porta l'informazione sull'oggetto esaminato se anche apparentemente simili spettri usano totalmente diverse metodologie. [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/ghost5.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/ghost5.ppt).

Dopo l'analisi etimologica e esempi di spettri moderni facciamo “il giro di boa” e ritorniamo “sull'umano”. “-Ad occhio nudo, senza lo spettrometro o addirittura senza il prisma di Newton è possibile fare la spettroscopia?” “Certo! Basta guardare i colori del cielo al tramonto. La stessa atmosfera [attraverso lo scattering di Rayleigh] funge da spettrometro”.



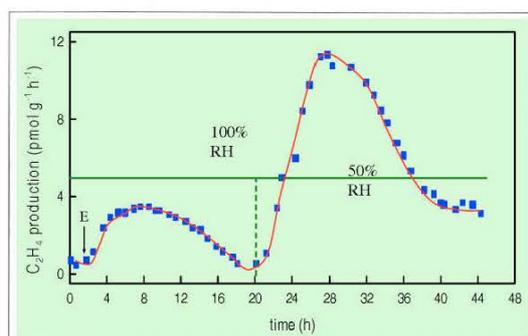
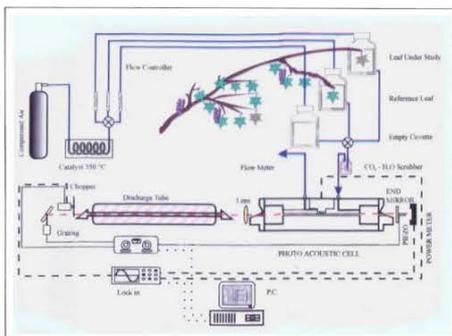
**Fig. 3** - Tre tramonti a Saõ Paolo, secondo Carmen Busco: spettroscopia “intrinseca” – attraverso il fenomeno di diffusione (scattering) di luce in atmosfera. Si notino vari colori del cielo e delle nuvole, diversi, ma sempre complementari a vicenda. [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/ita-ghost6.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/ita-ghost6.ppt)

La definizione della spettroscopia ci permette di esplorare diversi settori della fisica “soft”:

- spettroscopie ottiche (“*See, to believe*”)
- spettroscopie di massa, in particolare tecniche molto sensibili di trasferimento di protone con applicazioni in campo agroalimentare e di controllo ambientale “*Salad dressing*”
- spettroscopia fotoacustica “*How are you, Miss Orchidea?*” [9]

A margine di questi ultimi esempi si possono fare tre osservazioni metodologiche. La prima, nell'insegnamento in generale utilizziamo non solo la sfera della percezione cosciente ma anche la sfera emotiva – sorpresa, sorriso, a volte di terrore. Così, i percorsi didattici utilizzano queste emozioni per mantenere alta l'attenzione dello studente. Seconda osservazione, costruendo un percorso interlocutorio ci si basa sulle nozioni quotidiane, apparentemente così banali che non si pensa neanche al loro significato. “*Salad dressing*” e' uno di migliori esempi. Alla domanda (esclusivamente alle ragazze, per mantenere la parità) “-Come si condisce l'insalata?” otteniamo in giro di poche frasi ed indipendentemente dalla cucina nazionale una scelta variabile: olio, maionese, salse unte. In altre parole: sempre grassi. Un ricetta sorprendente ed apparentemente inspiegabile senza gli spettri di complesse (ed amare) molecole organiche che si formano quando il foglio di insalata viene spezzato.

Terzo aspetto: già parzialmente toccato la multiculturalità. Vuol dire, ricordarsi che il messaggio deve essere percepito in modo gradevole dai diversi lettori/ studenti. Non solo quelli con gli interessi nelle scienze esatte e in tecnologia ma anche da quelli con spiccati gusti artistici, letterari, storici. Così la storia di un'orchidea viene “corredata” con una galleria di foto di fiori, e sarebbe meglio, con dei veri vasi fiorenti.



**Fig. 3** - Spettroscopia fotoacustica: il principio di funzionamento [cortesia dott. A. Boschetti, Trento], l'intensità di emissione di etilene durante l'impollinazione di orchidee, foto di orchidee per alleggerire il messaggio troppo scientifico [giardini botanici di Berlino, foto M. Karwasz].

## 7. Entrare nella psiche degli scienziati

Un errore grosso di utilizzo della scienza come modelli comportamentali consiste nella glorificazione, anzi mitologizzazione dello scienziato. “-Guardate! Questo è un busto in bronzo del premio Nobel. Guardate, e non toccate!” E i premio Nobel non furono mai ragazzi normali? Anzi. La mitologizzazione va anche nelle direzione opposta. “-Vero che persino Einstein aveva problemi con la matematica, così non fu ammesso all’università? Ed i suoi tutti scritti furono fatti dalla prima moglie, a cui in compensa diede il suo premio Nobel.”

In risposta utilizziamo la traccia “umana” della scienza in diversi percorsi tematici. Tutta la storia delle scoperte di Einstein è intitolata “Un matrimonio felice”. Basandosi, ovviamente, su dettagliate bibliografie ma eseguendo una forte semplificazione, necessaria per essere più concisi nel trasferimento del messaggio al lettore. Un lettore incuriosito di tale semplificazione con una discreta probabilità tornerà alla discussione da solo, utilizzano la bibliografia disponibile.

Nel caso di Einstein, per spiegare l’esplosione della sua creatività in un anno, apparentemente, miracoloso, 1905, torniamo alla sua tormentata giovinezza: trasferimenti da uno stato ad altro (Ulm, Monaco, Pavia, Svizzera), la figura del suo padre proprietario (fallimentare) di una fabbrichetta di attrezzature elettriche, la ragazza profuga slava, la nascita della figlia prima del matrimonio etc. L’anno mirabile scoppiò quando finalmente il giovane Einstein poté avere una famiglia ed una paga. Così non fu Albert, ma Mileva la chiave del miracolo.

Il caso di Marie Curie, da ammirare non sono i suoi due premi Nobel ma il coraggio con cui partì dalla Polonia per raggiungere la sorella sposata in Francia, la determinazione con cui in una baracca di legno per tutto un inverno separava goccia per goccia 15 quintali di “detriti” radioattivi (minerali di uranio), l’amore con cui fece crescere le figlie dopo la morte del marito. E per sottolineare l’*applicabilità* di questo modello culturale ad ogni età e nazione i poster sono stati intitolati “Una dottoranda laboriosa”.



**Fig. 4** - La faccia umana della ricerca: tra diverse foto di Albert Einstein abbiamo scelto quella del suo matrimonio (1903), momento cruciale per il prossimo “annus mirabilis”. Per Marie Curie abbiamo scelto il periodo più triste per lei: morto il marito, da donna deve affrontare la sfida della cattedra alla Sorbona, da straniera - l’ostilità di ambienti ultracattolici francesi, da mamma - il difficile connubio tra il lavoro ed impegni familiari. Sia la figlia maggiore - Irene, sia la minore - Eva, presero il premio Nobel (per la fisica, e per la pace).

## 8. Completare il quadro

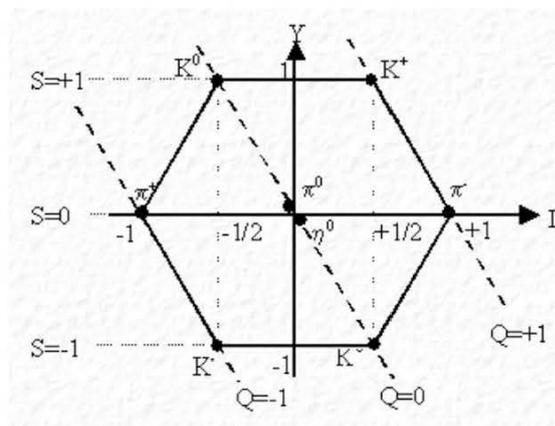
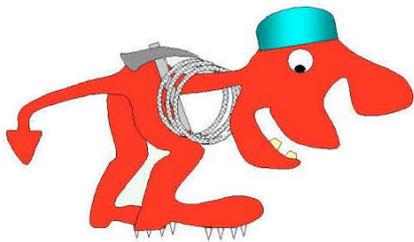
Con la metodologia descritta sopra: semplificazioni, interpretazioni personali, uso frequente di esempi quotidiani, appellarsi alle emozioni del lettore si rischierebbe di trasmettere un messaggio banale. “Gli scienziati sono comuni mortali, che ogni tanto, chi sa perché, scoprono qualcosa”. La nozione

completa deve dire cosa scoprono, perché e in che modo. Torniamo all'esempio delle particelle elementari. Il primo poster della serie introduce scherzosamente il concetto di quark, che non sono gli oggetti puntiformi, ma potrebbero avere la loro fisionomia. Che sia un cagnetto od un cigno non importa. [Casualmente, uno degli scienziati insigniti con premio Nobel per i quark si chiama Wilczek, che in polacco vuol dire "Lupetto"; ma il premio fu assegnato a Wilczek qualche anno dopo i nostri disegni]. Il messaggio scientifico nei disegni dei cagnolini sta nelle loro dimensioni, che scalano come la massa dei quark (con una piccola variazione, che per motivi di spazio scalano non come la terza ma come la quarta potenza della dimensione lineare), nel loro colore, nel loro segno elettrico (indicato dalla direzione della coda).

La seconda nozione importante da dare è quali combinazioni di quark "funzionano" in natura: il matrimonio quark-antiquark che forma un *mesone* ed una triade, di diverse combinazioni – due *up* ed un *down* che danno un protone o viceversa, che danno il neutrone. Praticamente, questo rimane tutto il messaggio da memorizzare. Il resto delle informazioni importanti la danno i dettagli dei poster: un diverso spin di quark all'interno di barione produce una massa diversa, sia mesoni sia barioni possiedono la struttura energetica interna, un po' come gli atomi, i loro tempi di vita variano etc. Tutto viene dato nelle tabelle distribuite tra i sei poster della serie "particelle elementari".

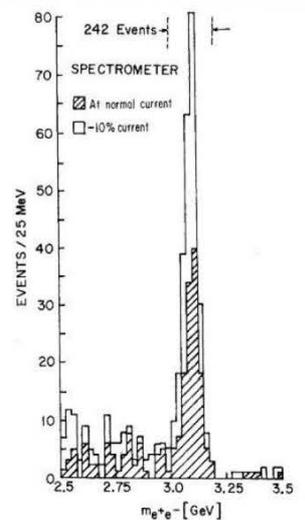
Ancora una volta con lo scopo di fissare le nozioni i poster "collaterali" raccontano:

- una probabile etimologia della parola *quark* con il verso della poesia di J. Joyce
- la traccia deduttiva che aveva portato Gell Man e Newman alla ipotesi di quark (ottetti, decupletti)
- fotocopie di articoli in cui furono pubblicate evidenze di quark
- esempio particolare della scoperta di primo mesone con il quark *charm* e tutta la serie di articoli che la seguì (abbiamo sfogliato una annata intera di Phys. Rev. Lett.).



**Fig. 5** - Completare il quadro del messaggio sulla Scienza Moderna: della rappresentazione scherzosa di quark, alle indicazioni che hanno portato all'ipotesi sulla loro esistenza, ed all'esempio della scoperta storica (mesone  $J/\Psi$ )

[J.J. Aubert et al. Phys. Rev. Lett. 33, 1404–1406 (1974)]



**FIG. 2.** Mass spectrum showing the existence of  $J$ . Results from two spectrometer settings are plotted showing that the peak is independent of spectrometer currents. The run at reduced current was taken two months later than the normal run.

## 9. Il hook (gancetto) e il fissatore

Parecchi centri di divulgazione scientifica soffrono del peccato di superbia: “-Adesso fermati e leggi, che ti devo insegnare” In un museo con centinaia di oggetti l'attenzione del visitatore si esaurisce con poche scritte. Questo rende difficile un tentativo di comprimere un intero discorso sul fenomeno fisico, con il suo principio, inizio storico ed applicazioni in un unico poster 70x100 cm. Per rimediare, la costruzione dei poster in “Physics is Fun” segue, possibilmente, un unico schema. Prima, ottenere l'attenzione del lettore, anche con un titolo “accattivante”. Nella nostra cultura il testo viene letto da sinistra a destra – così l'informazione con cui vogliamo attirare l'attenzione poniamo in piccolo riquadro nell'angolo sinistro alto. “Come trovare un quark?” – dice il titolo. Il riquadro risponde, in modo scherzoso: “Bisogna avere un po' di fortuna ed un grande acceleratore che consuma ener-

gia come l'intera città di Udine". Poi, ovviamente, il resto del quadro è un po' più serio, dando delle scoperte le informazioni sia scientifiche, sia tecniche che storiche.

Alla fine Si torna sul tono scherzoso: "E se non credi in altri quark [che e' vero] comprati un dolce al quark a Bolzano". Al doppio anglo-tedesco significato di "quark" si torna subito nel poster successivo. Notiamo solo che "il fissaggio" non deve necessariamente essere solo uno scherzo, una battuta. Potrebbe essere un inizio del discorso successivo, un esempio di applicazione, una curiosità storica. In altre parole di nuovo il ritorno al subconscio del lettore. Il fissatore ha la stessa funzione che la soluzione di tiophene nella fotografia: di assodare l'immagine formatasi nel processo della esposizione alla luce e sviluppata in ferrocianina. Un poster scientifico diventa come una *ouverture* in musica: introduce, sviluppa e conclude un tema.

## 10. Oggetti reali, poster e il web

Il Progetto "Physics is Fun" comprende due filoni – oltre la Fisica Moderna, difficile e poco appariscente per un pubblico il "FiF" contiene anche una buona dose di fisica elementare, anzi, la fisica dei giocattoli, iniziata a Trento dal prof. Vittorio Zanetti. Le mostre dei "giocattoli" o di semplici esperimenti [11] attirano sempre un gran numero di visitatori. In Polonia abbiamo sperimentato le mostre di fisica dei giocattoli dal 1997 con una lunga serie di eventi. Così, al Congresso Nazionale di Fisica a Gdańsk nel 2003 eravamo un po' "saturi" dei soliti giocattoli. La pre-edizione di "FiF" si svolse in parallelo alla "Fisica dei giocattoli" a Danzica durante quel Congresso [12]. Seguendo l'idea di Aristotele, che alla fisica appartengono oggetti che si possano sperimentare con i sensi, anche la Fisica Moderna si poteva sperimentare. A Gdańsk abbiamo mostrato un tubo laser (grande, tutto in vetro soffiato, fatto negli anni 70-ta), un esperimento di Perrin per misurare il diametro di un atomo, un modello di scatola nera di Planck, ma anche i semplici oggetti che mostrano i principi di funzionamento degli strumenti della Fisica Moderna, come gli occhiali da sole con un film antiriflettente (un filtro ottico ad interferenza), e tanti altri. Persino un leptone fu visualizzato (che e' un centesimo di euro in Grecia) [13]. La Fisica Moderna si riesca a toccare con mano!

Ovviamente esperimenti completi, come la misura di carica elettrica dell'elettrone, sono ancora più convincenti (e come si vede dalla fig. 6, anche coinvolgenti). Oggi, gli esperimenti di Fisica Moderna possono essere eseguiti anche *on-line* [14] od *off-line* [15].



Fig. 6 - La Fisica Moderna si tocca con la mano: un leptone greco pesa 2.7 g, una misura della carica elettrica dell'elettrone alla SISS di Udine [ringraziamenti Matteo Grott] e la sua versione multimediale off-line [14].

I poster tematici costituiscono la seconda forma, la terza versione, virtuale invece migra su web. Tutte le edizioni delle mostre ed anche i percorsi tematici trovano spazio nell'universo di Internet. I siti sono molteplici, ed anche le versioni linguistiche. In prospettiva, si spera, attraverso una rete di riferimenti internet, di creare per i lettori di Fisica Moderna un sito divertente e scientificamente esauriente.

## Ringraziamenti

Ringrazio la professoressa Marisa Michellini per l'invito alla presente collana e alle possibilità pluriennali di sperimentare le diverse forme di insegnamento della Fisica Moderna nell'ambito internazionale. Ringraziamenti speciali alla professoressa Maria Moser del Liceo Socio-Psicologico di Trento.

## Bibliografie

- [1] On the Track of Modern Physics, Science and Society Project No. 020772 PhysFun, Coordinator G. Karwasz, Pomeranian Academy, Słupsk, 2005, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/).
- [2] Hagiwara K. et al. (2002) *Review of Particle Physics*, Phys. Rev., D 66 (2002) 010001.
- [3] Janine Adler-Parker, Electron Centennial Page, [www.davidparker.com/janine/electron.html](http://www.davidparker.com/janine/electron.html)
- [4] Dalba G., Fornasini P. (1998) *100 anni dalla scoperta di raggi X*, Università di Trento, [http://alpha.science.unitn.it/raggi\\_X](http://alpha.science.unitn.it/raggi_X).
- [5] Karwasz G., *Penetrating radiation*, nel “Sulla strada della Fisica Moderna - a virtual exhibition. I primi apparati di raggi X”, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/rontg.jpg](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/rontg.jpg).
- [6] Pliszka D., *Nobel Prize in Physics*, in “On the Track of Modern Physics”, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/html/nobel.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/nobel.html).
- [7] Karwasz G., *Spettroscopia, o scienza dei fantasmi*, in “On the Track of Modern Physics”, versione italiana Gloria Zen, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/ita-ghost6.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/ita-ghost6.ppt).
- [8] Isaac Newton, *A Letter of Mr. Isaac Newton, Professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his New Theory about Light and Colors*, Philosophical Transactions of the Royal Society, No. 80 (19 Feb. 1671/2), pp. 3075-3087. <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00006>.
- [9] Karwasz G., *Come stai, Signora Orchidea?* in “On the Track of Modern Physics”, versione italiana Gloria Zen, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/ital-orchid5.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/ital-orchid5.ppt)
- [10] Wróblewski T., *Super-multiplets*, in “On the Track of Modern Physics” [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/multip5.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/multip5.ppt).
- [11] *La ricerca sposa la didattica*, XIX Giornate di diffusione della cultura, coordinatrice M. Michellini, Università di Udine, 2009, <http://qui.uniud.it/notizieEventi/young-future-for-you/articolo.2009-03-12.5533231004>.
- [12] Karwasz G., Wróblewski T. (2003) *Sulla strada della Fisica Moderna*, Mostra interattiva, XXXVII Congresso Nazionale della Fisica Polacca, Danzica, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/index-pl.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/index-pl.html).
- [13] Karwasz G., Pliszka D. (2003) *Leptone e protone*, in “Sulla strada della Fisica Moderna”, Mostra interattiva, Danzica, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/lepto1.jpg](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/lepto1.jpg).
- [14] Remotely Controlled Laboratory, H. J. Jodl (coordinator), University Kaiserslautern, <http://rcl.physik.uni-kl.de/>.
- [15] Karwasz G., Michellini M. (2006) *Mostra di Fisica Moderna*, Udine, Aula S. Massimiliano Kolbe 29-31.03, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/conf/UDINE/udine.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/conf/UDINE/udine.html).

