



*SIF, Roma, 22.9.2015*

# Fisica quantistica a scuola tra innovazione curricolare, vincoli scolastici e obiettivi di ricerca: l'esperienza di Bologna

L. Branchetti\*, E. Ercolessi\*\*, P. Fantini\*\*\*, E. Garagnani§, O. Levrini\*\*, G. Lulli§§, V. Monzoni§§§, G. Tasquier\*\*

\* Liceo Scientifico “A. Righi”, Bagno di Romagna, Cesena

\*\*Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA), Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

\*\*\*Liceo Scientifico “A. Einstein”, Rimini

§ Liceo Scientifico “Archimede”, San Giovanni in Persiceto, Bologna

§§ CNR-IMM – Istituto per la Microelettronica e i Microsistemi, Sede di Bologna

§§§ Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara



## LE INDICAZIONI NAZIONALI

### Fisica, ultimo anno (Licei Scientifici)

L'affermarsi del modello del quanto di luce **potrà** essere introdotto attraverso lo studio della **radiazione termica e dell'ipotesi di Planck** (affrontati anche solo in modo qualitativo), e sarà sviluppato da un lato con lo studio **dell'effetto fotoelettrico** e della sua interpretazione da parte di Einstein, e dall'altro lato con la discussione delle teorie e dei risultati sperimentali che evidenziano **la presenza di livelli energetici discreti nell'atomo**. L'evidenza sperimentale della **natura ondulatoria della materia, postulata da De Broglie**, ed il **principio di indeterminazione** **potrebbero** concludere il percorso in modo significativo.

La dimensione sperimentale **potrà** essere ulteriormente approfondita con attività da svolgersi non solo nel laboratorio didattico della scuola, ma anche presso laboratori di Università ed enti di ricerca, aderendo anche a progetti di orientamento.



# Argomenti sul tappeto...

Ricerca sui  
fondamenti, in  
storia e didattica  
della fisica

L'approccio suggerisce un racconto  
pseudo-storico

Crea visioni semplicistiche dell'oggetto  
quantistico (basate su una visione naïve  
del dualismo onda-corpuscolo)

Crea scetticismo negli studenti, un senso  
di *confusione* e la convinzione che  
“*debba arrivare un nuovo Newton a  
sistemare le cose*” (M.)”



# Argomenti sul tappeto...

Ricerca sui  
fondamenti, in  
storia e didattica  
della fisica

Decine e decine di sperimentazioni sono state realizzate in classi V, seguendo una pluralità di approcci diversi (basta vedere le presentazioni di oggi).

I risultati mostrano *che è possibile* – e *fornisce enorme valore culturale* – introdurre la basi della “fisica quantistica come teoria” e costruire i concetti di *stato*, *sovrapposizione*, *ampiezza di probabilità*, *misura* e *indeterminazione*,...



# Argomenti sul tappeto...

Esistono vincoli di sistema che vanno considerati.

Le Indicazioni Ministeriali, riferite al V anno:

- sono la base per l'esame di stato;
- contribuiscono a strutturare la rete di relazioni tra colleghi e tra docenti e studenti (famiglie).

Variazioni rispetto ad esse vanno concordate e negoziate.

Da insegnanti interessati  
alle proposte e/o a un  
ripensamento  
dell'insegnamento della  
fisica moderna



# Il gruppo di lavoro

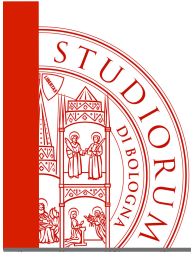
---

Coagulatosi a partire da e attorno alle esperienze PLS per l'insegnamento della fisica quantistica

Formato da:

- 2 insegnanti laureate in fisica
  - 4 insegnanti laureati in matematica
  - 3 ricercatori in didattica della fisica
  - 2 laureandi in fisica
- +
- 2 fisici teorici
  - 1 fisico sperimentale

Incontri abbastanza regolari da ottobre 2014 a luglio 2015



# Obiettivi

---

- Analizzare i vincoli scolastici
- Individuare obiettivi culturali e di ricerca
- Adattare la proposta elaborata a Bologna nel PLS
- Seguire sperimentazioni in classe



# I vincoli scolastici

---

## DISAGIO DA PARTE DEGLI STUDENTI PRIMA E DURANTE L'ESAME DI STATO

- Rischio di fare agli studenti una richiesta troppo impegnativa in un momento delicato
- Rischio che il lavoro non sia valorizzato dal commissario esterno
- Possibili diffidenze/disagi da parte del collegio docenti e del commissario interno





# Dai vincoli ad “obiettivi strategici”

- Coinvolgere gli studenti in una sfida culturale di alto livello e stabilire con loro un “patto sulle prove di valutazione”;
- Valorizzare la *old quantum physics* (*pars destruens*) senza rinunciare alla *pars construens*, da descrivere, attraverso materiali appositi, al commissario esterno;
- Coinvolgere i docenti di altre discipline e, soprattutto, il commissario interno (di Italiano)



# Obiettivi culturali

---

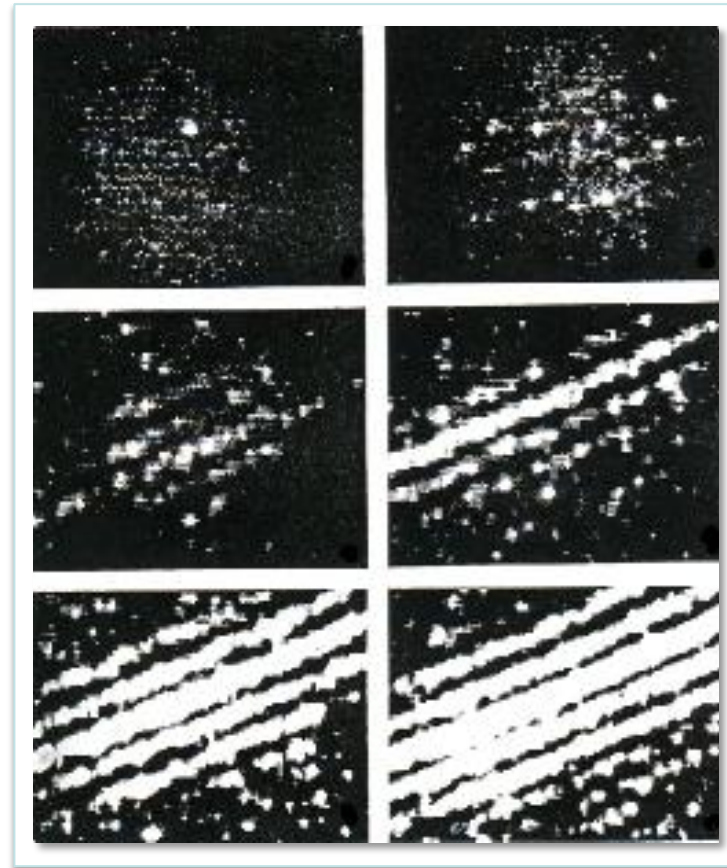
Dal PLS:

- Costruire un percorso multi-dimensionale (dimensione concettuale, sperimentale, formale, epistemologica);
- Valorizzare l'Esperimento più bello come filo conduttore per arrivare al cuore della fisica quantistica (*pars construens*).

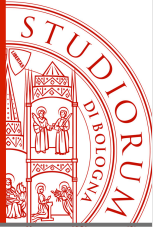
Oltre il PLS:

- Interdisciplinarietà tra matematica e fisica (concetto di probabilità e dibattito continuo/discreto)

## L' esperimento di Merli-Missiroli-Pozzi (1974-76)



P. G. Merli, G. F. Missiroli, G. Pozzi, "On the statistical aspect of electron interference phenomena", *American Journal of Physics*, 44, 3, 306-307 (1976)



# l'esperimento più bello della fisica

<http://l-esperimento-piu-bello-della-fisica.bo.imm.cnr.it/>

BOOKMARK

March 10, 2011



di che si tratta

spiegazione

storia

bellezza

backstage

pensare



Benvenuti nel sito "L'esperimento più bello della fisica".

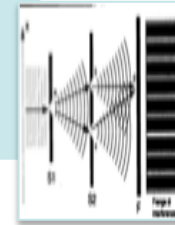
Esso vi guiderà alla scoperta di un esperimento di fisica che, nel 2002 è stato definito il più bello di tutti i tempi da un sondaggio della rivista *Scientific American*. L'esperimento, che ha permesso di osservare il sorprendente della fisica quantistica (l'apparente "doppio" comportamento onda-particella dell'elettrone) venne per molto tempo ritenuto impossibile a farsi a causa di difficoltà tecniche. Nel 1976 un gruppo di ricercatori italiani (Pier Giorgio Merli, Gian Franco Missiroli e Giulio Pozzi) superando

<http://l-esperimento-piu-bello-della-fisica.bo.imm.cnr.it/>

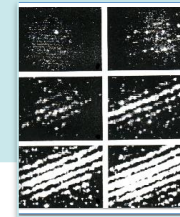
il film

# L'EPB come filo conduttore

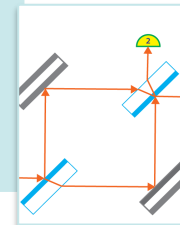
L'esperimento mentale, dal dialogo Bohr-Einstein a Feynman



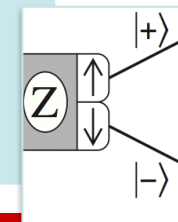
Dall'esperimento mentale alla sua realizzazione: l'esperimento più bello della fisica



L'essenza "genuinamente" quantistica dell'esperimento: *gli esperimenti which way*



La logica quantistica del comportamento degli oggetti: *gli esperimenti di Stern e Gerlach*





# Obiettivi culturali

---

Dal PLS:

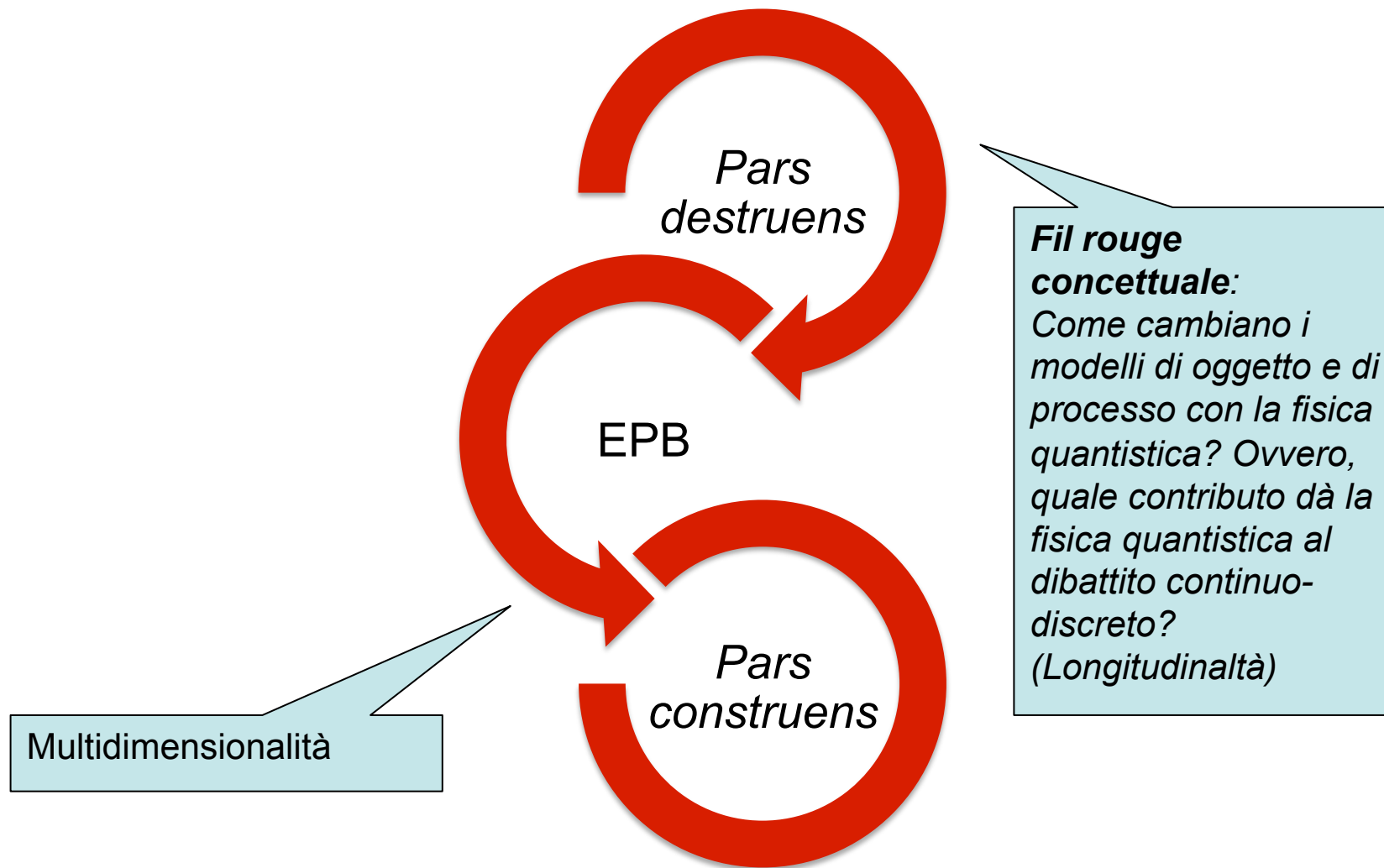
- Costruire un percorso multi-dimensionale (dimensione concettuale, sperimentale, formale, epistemologica);
- Valorizzare l'Esperimento più bello come filo conduttore per arrivare al cuore della fisica quantistica (*pars construens*).

Oltre il PLS:

- Interdisciplinarietà tra matematica e fisica (concetto di probabilità e dibattito continuo/discreto)



# Risultato (parziale) della progettazione





# Obiettivi di ricerca

---

- Creare un ambiente di apprendimento per l'“*appropriazione*” (Levrini, Fantini, Pecori, Tasquier, Levin, 2014), ovvero un ambiente disegnato su tre principi-base: *multi-dimensionalità*, *longitudinalità* e *multi-prospettiva*;
- Costruire strumenti per confrontare le sperimentazioni realizzate dal gruppo di Bologna con la sperimentazione realizzata contemporaneamente a Pavia (Malgieri, Onorato, De Ambrosis)



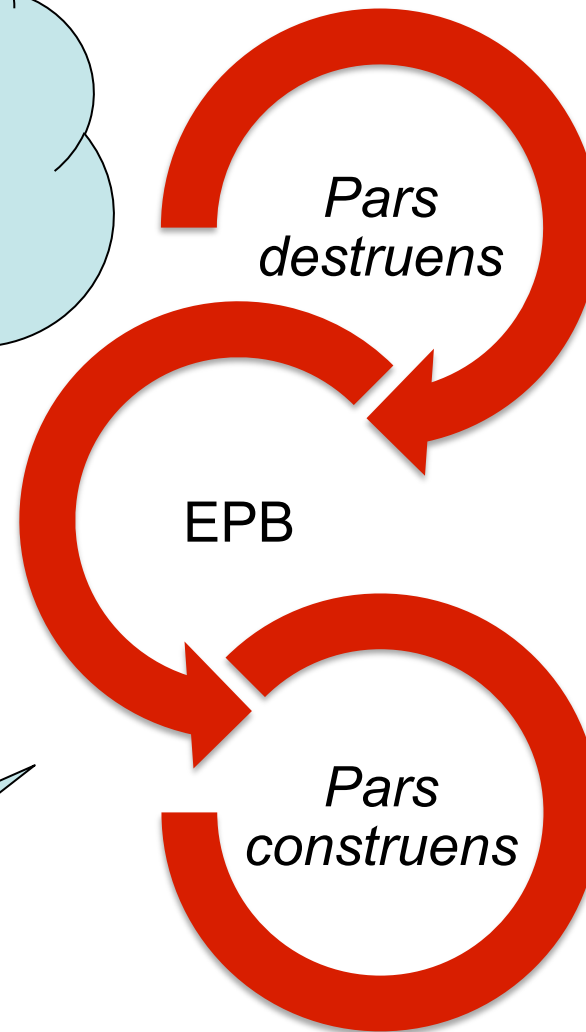


# Risultato della progettazione

## **Metariflessione:**

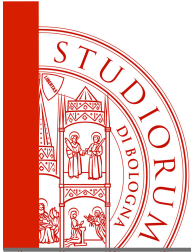
*Quanto è intuibile la fisica quantistica e l'immagine della realtà che essa restituisce? Quali vie e strumenti per la comprensione, l'immaginazione e l'intuibilità ci sono in fisica? (Multi-prospettiva)*

Multidimensionalità



## **Fil rouge concettuale:**

*Come cambiano i modelli di oggetto e di processo con la fisica quantistica? Ovvero, quale contributo dà la fisica quantistica al dibattito continuo-discreto? (Longitudinalità)*



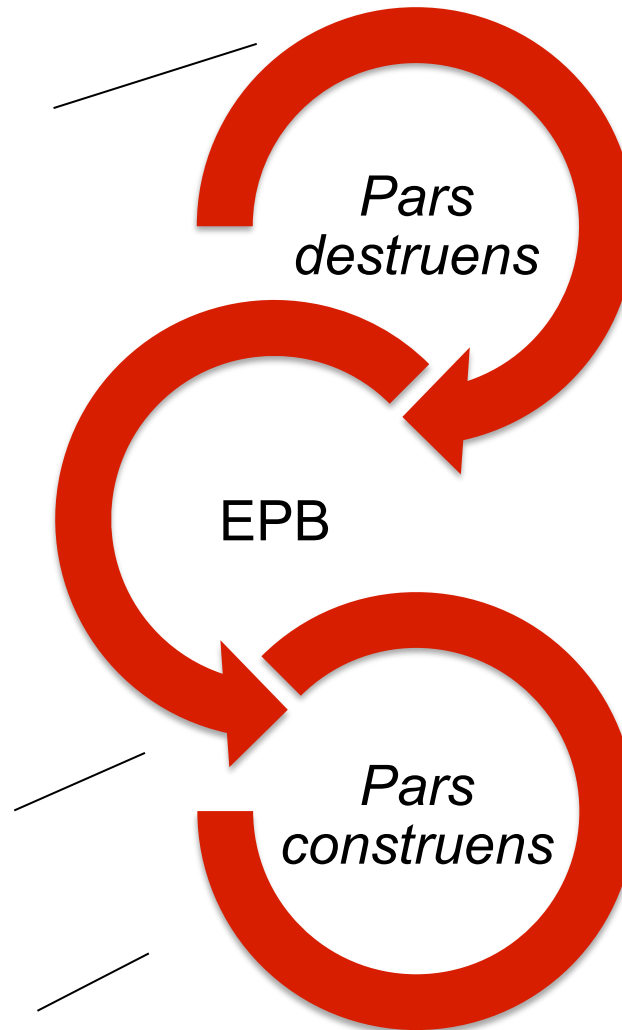
## “Prove” (e strumenti di raccolta dati)

Analisi di brani (questionario) su

- Continuo e discreto in fisica classica;
- Strumenti e vie per l'immaginazione e l'intuibilità in fisica. Discussione in classe

Tema (Tipologia B), "Fisica quantistica e rappresentazione della realtà: possibili strade per l'immaginazione e l'intuibilità" concordato coi docenti di Italiano

Interviste individuali



Compito scritto con esercizi standard e saggio breve stile "terza prova" sul contributo della old quantum physics al dibattito "continuo-discreto"

Interrogazioni e riflessioni finali scritte su indeterminazione, sovrapposizione, ampiezza di probabilità.



# Risultati (MOLTO preliminari)\*

---

- Grande senso di agio da parte di tutte le persone coinvolte (inclusi studenti e commissari)
- Aspetti da migliorare (tempistica)
- Interessanti forme di coinvolgimento osservate ma da studiare

*\* L'analisi dati inizierà ad ottobre*



# Conclusioni

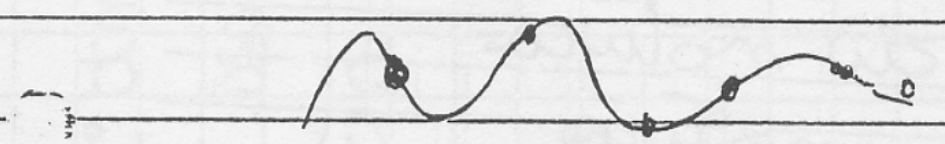
---

- Adattare una proposta alla realtà di classe non significa semplificarla, ma costruire una struttura via via più complessa;
- Più complessa non significa più complicata ma sufficientemente ricca da accogliere e soddisfare una pluralità di esigenze;
- Trovare spazi per il pensiero, per costruirlo e farlo circolare è sempre di grande soddisfazione.



Grazie per l'attenzione

La luce non può essere in base a quanto  
 ho affermato è una <sup>insieme di</sup> ~~particelle~~ corpuscoli in  
 grado di oscillare (è uno di quei casi  
 e l'insieme di "quanti"  
 descritti da Einstein).





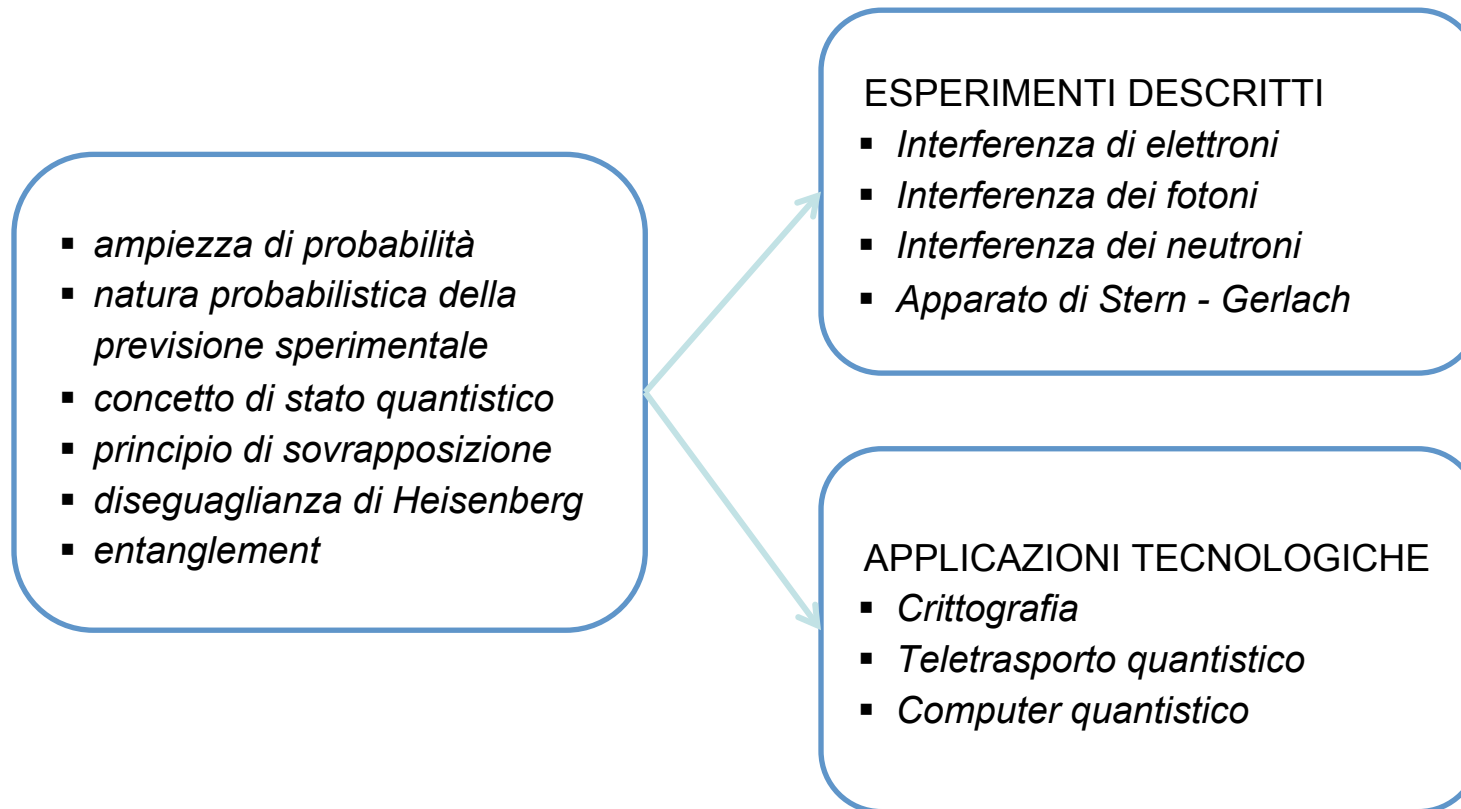
Da F. Tarozzi\*, 2005

*“[...] era tutto così chiaro fino a prima che ora sono confuso... ma è possibile che cambino le leggi solo perché faccio un cambio la scala? Forse si deve aspettare che arrivi un altro Newton che faccia rientrare tutto in un'unica legge, come per la gravità” (M.)*

*“Secondo me qui bisogna che gli scienziati si diano una mossa, perché non hanno ancora scoperto tutto. Per ora hanno creato solo una grande confusione, manca qualcosa, questa è l'unica spiegazione, che ancora dobbiamo scoprire per riuscire a spiegare quello che succede” (T.)*

\*Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna (Relatore O. Levrini - Co-relatori: N. Grimellini Tomasini, P. Fantini, ottobre 2005).

# Concetti cruciali\*



\*Testi di riferimento: McIntyre, Manogue, Tate (2010), *Paradigms in Physics: Quantum Mechanics*, Oregon State University; Ghirardi (1997), *I fondamenti concettuali e le implicazioni epistemologiche della meccanica quantistica*, in Boniolo (a cura di), *Filosofia della fisica*, Bruno Mondadori





# QUESTIONARIO - I parte

## (continuo/discreto)

Nei brani che seguono sono riportate riflessioni di fisici o storici della fisica su alcuni presupposti legati alla modellizzazione della fisica classica. In particolare si **discutono le ipotesi di continuità e discontinuità su cui si basano i modelli classici di 'oggetto' e di 'processo'**. Leggi attentamente i brani, sottolineando: a) Parole o frasi non chiare b) Esempi paradigmatici che chiariscano cosa s'intende per modello discreto/continuo di oggetto e modello discreto/continuo di processo.

1. **C. Tarsitani** (da "Il dilemma onda-corpuscolo")
2. **E. Schrödinger** (da "L'immagine del mondo", 1931)
3. **A. Einstein** (da "L'evoluzione della fisica", 1938)
4. **C. Tarsitani** (da "Il dilemma onda-corpuscolo")
5. **A. Einstein** (da "L'evoluzione della fisica", 1938)

### DOMANDE

- Completa la tabella indicando, per ogni modello di oggetto e per ogni tipo di processo (es. etere, atomo, campo elettromagnetico, luce, propagazione, processo di misura, processi d'urto) quali qualità/proprietà lo definiscono come continuo e/o come discreto.
- Facendo una sintesi di quanto emerso dalla tabella, cosa si può intendere per continuità/discontinuità riferita a un oggetto fisico? E riferita a un processo?
- Anche estrapolando dai brani, quale immagine del mondo e della materia è attribuita a Newton? Che differenza c'è con la cosiddetta "concezione elettromagnetica della materia"?
- Vedi dei collegamenti tra le idee di continuo e discreto discusse in questi brani in riferimento alla fisica e le idee di continuo e discreto usate in matematica? Motiva la risposta.



# QUESTIONARIO - II parte

## (intuibilità in fisica)

Nei brani che seguono sono riportate riflessioni di fisici sulle caratteristiche fondamentali della conoscenza fisica e del suo processo di costruzione. Leggi attentamente i brani, sottolineando:

Parole o frasi non chiare

Parole chiave o frasi che chiariscano il punto di vista dell'autore.

1. **Heinrich Hertz:** (da "I principi della meccanica presentati in una nuova forma", 1899)
2. **J. C. Maxwell** da "Sulle linee di forza di Faraday", 1861
3. **J. Von Neumann**, da "Il metodo nelle scienze fisiche", 1961

**PARTE A** (brano per brano): Quali parole chiave o frasi caratterizzano il punto di vista dell'autore?  
Motiva la tua scelta

### **PARTE B:**

Come avrai notato nella lettura dei brani, gli autori pongono l'accento sul diverso ruolo che **immagini**, **analogie fisiche** e **modelli matematici** svolgono nella costruzione della fisica. Quali ruoli sono evidenziati nei brani?

Facendo riferimento a quanto hai già studiato in fisica, puoi riportare esempi specifici che illustrino il significato e altri possibili ruoli che questi strumenti di pensiero possono svolgere?

Pensando al tuo percorso personale di studio della fisica, quale di questi strumenti (immagini, analogie fisiche e modelli matematici) ha svolto un ruolo particolare per la tua comprensione del mondo fisico?



# Esempio di quesito del compito in classe

## Quesito 1 – CORPO NERO

Albireo è un bellissimo sistema a due stelle nella costellazione del Cigno. La prima stella (A) ha una temperatura di superficie  $T_A = 4700$  K; la sua compagna (B) ha una temperatura di superficie  $T_B = 13000$  K. Quando vengono osservate attraverso un telescopio, una stella appare blu e l'altra appare gialla.

Quale delle stelle appare blu? Giustifica la risposta

Calcola il rapporto fra le frequenze di picco della radiazione emessa dalle due stelle.  
(tratto dal testo del Walker)

Collega il fenomeno alle ricerche riguardanti la curva di emissione della radiazione elettromagnetica di corpo nero che portarono Planck, nel 1900, a formulare l'ipotesi del quanto di energia. Descrivi il problema affrontato da Planck e la sua ipotesi finale  
(Parte del tema assegnato all'Esame di stato liceo Scientifico 2004, Progetto Brocca)



## Tipologia B – Redazione di un “saggio breve” o di un “articolo di giornale”

### CONSEGNA

Sviluppa l'argomento scelto o in forma di «saggio breve» o di «articolo di giornale», utilizzando, in tutto o in parte, e nei modi che ritieni opportuni, i documenti e i dati forniti.

Se scegli la forma del «saggio breve» argomenta la tua trattazione, anche con opportuni riferimenti alle tue conoscenze ed esperienze di studio.

Premetti al saggio un titolo coerente e, se vuoi, suddividilo in paragrafi.

Se scegli la forma dell'«articolo di giornale», indica il titolo dell'articolo e il tipo di giornale sul quale pensi che l'articolo debba essere pubblicato.

Per entrambe le forme di scrittura non superare cinque colonne di metà di foglio protocollo.

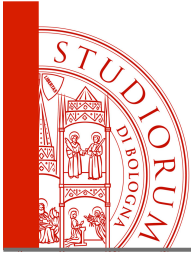
A.S. 2014-2015 ARGOMENTO:

"Fisica quantistica e rappresentazione della realtà: possibili strade per l'immaginazione e l'intuibilità"



## Tipologia B – Redazione di un “saggio breve” o di un “articolo di giornale”

1. *N. Bohr, Discussione con Einstein sui problemi epistemologici della fisica atomica, 1949, in A. Einstein, Autobiografia scientifica, pp. 113- 114*
2. *E. Schrödinger, da “Discussione sulla fisica moderna”, Bollati Boringhieri, 1959*
3. *W. Heisenberg, da “Fisica e Filosofia”, il Saggiatore, 1958*
4. *A. Einstein, da “L'evoluzione della fisica”, Bollati Boringhieri, 1938*
5. *M. Weiss, da “Anschaulichkeit, Abscheulichkeit” (“Visualizzabilità, Scelleratezza”), 1992*
6. *J.M. Lévy-Leblond, da “On the nature of Quantons”, Springer, 2003*
7. *P.A.M. Dirac, da “I Principi della Meccanica Quantistica”, Bollati Boringhieri, 1959*



# Alcuni titoli degli studenti

---

1. Dal dilemma onda-corpuscolo al quantone: discussione sulle concezioni problematiche di meccanica quantistica.
2. Un ornotorinco nella fisica quantistica. (sottotitolo: Necessità di nuovi concetti e di una adeguata e specifica terminologia)
3. I fisici parlano una nuova lingua. (sottotitolo: I fisici del '900 guardano la realtà da altri punti di vista. La fisica classica non è più sufficiente: nasce la fisica quantistica)
4. XIX secolo: una vera sfida all'immaginazione
5. Fisica è immaginazione.
6. Siamo fatti della stessa sostanza dei corpuscoli o delle onde? (sottotitolo: La fisica quantistica rovescia ogni convenzione classica.)



## L'approccio basato sulla *Old Quantum Physics*

- Fa cogliere il senso di sgretolamento di un mondo concettuale (efficace come *pars destruens*)\*.
- Non fornisce gli strumenti culturali per cogliere l'essenza di quanto sta succedendo e, soprattutto, per costruire una nuova logica (inefficace come *pars construens*).

\* Per esempio, Giliberti & Marioni 1997; Mashaldi 1996; Ireson 1999; Seifert & Fischler 1999; Kalkanis, Hadzidaki & Stavrou 2003.