

La ricerca in didattica della fisica a Pavia: alcuni contributi recenti

Persone:

Anna De Ambrosis

Paolo Mascheretti, professore a contratto

Massimiliano Malgieri, assegnista di ricerca e insegnante di scuola secondaria

Collaborazioni più importanti a livello nazionale:

Università di Trento: Pasquale Onorato, Stefano Oss, Luigi Gratton, Tommaso Rosi

Università di Bologna: Olivia Levrini, Giulia Tasquier

Università di Padova: Ornella Pantano, Sabine Hemmer

La ricerca in physics education: in che cosa consiste?



Tratta di fenomeni e problemi collegati con la specificità del contenuto disciplinare, non riducibili né risolvibili in un quadro generale psicopedagogico.

E' quindi diversa dalla ricerca in pedagogia e psicologia dell'apprendimento.

Ha tra i suoi concetti fondanti quello di ricostruzione didattica: l'insegnamento di una disciplina a livello scolastico o comunque elementare non può essere il calco semplificato della disciplina conosciuta a livello accademico. La ricostruzione didattica deve tener presente non solo la correttezza dei contenuti, ma l'interazione di tali contenuti con le conoscenze preesistenti degli studenti (*teorie ingenuae, teorie-framework, misconcezioni, p-prims...*).

Inoltre, la ricerca in didattica si occupa di individuare quali, tra le possibili strategie di insegnamento, possono favorire l'apprendimento (*approcci inquiry-based, attività di modellizzazione, simulazioni, utilizzo di nuove tecnologie...*)

Analisi concettuale e ricostruzione didattica

*Un approccio « tridimensionale »
per la progettazione di percorsi
d'insegnamento e apprendimento
(TLS).*



Besson U., Borghi L., De Ambrosio A. e Mascheretti P. (2010) A three-dimensional approach and open source structure for the design and experimentation of teaching learning sequences, *International Journal of Science Education* 32, 1289–1313.

Alcune linee di ricerca

Ricerca in didattica della fisica quantistica

1

2

Ricerca sull'innovazione del laboratorio di fisica: i laboratori PLS

Interessi degli studenti di Fisica del primo anno: il progetto HOPE

3

4

Lo smartphone: un potente strumento didattico per l'insegnante

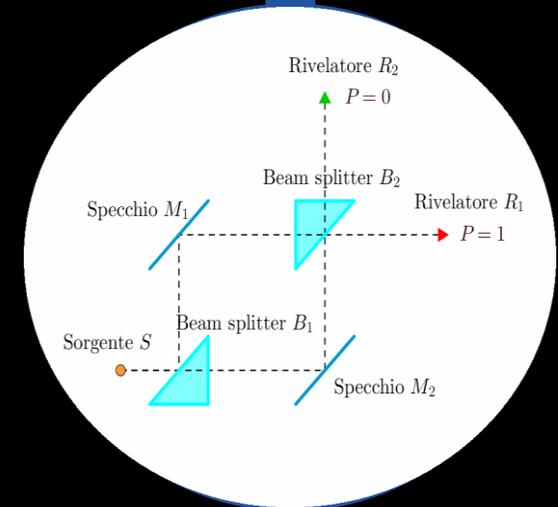
Dadi, monete, carte: modelli giocattolo nella didattica della fisica

5

L'approccio di Feynman nella scuola secondaria

Una ricerca complessa e di lungo periodo, cominciata nel 2013, che ha incluso un lavoro di riflessione teorica sui fondamenti matematici del metodo di Feynman, la progettazione e progressiva revisione di una sequenza di insegnamento-apprendimento, la produzione di materiali didattici, diverse sperimentazioni con insegnanti in formazione e studenti.

1

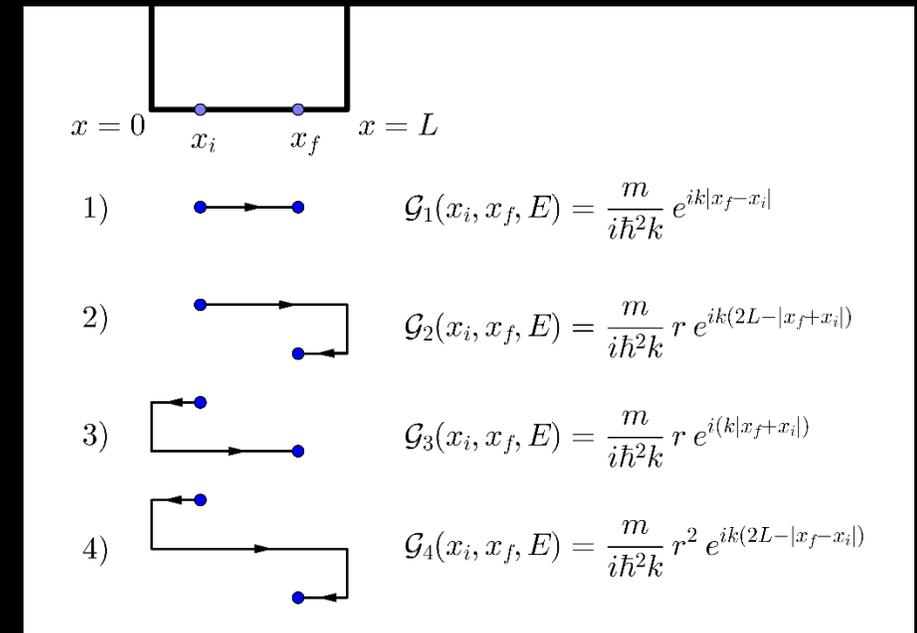


Lavoro preliminare: revisione dei fondamenti teorici

Utilizzando il semplice propagatore indipendente del tempo

$$G(x_i, x_f, E) = \frac{m}{i\hbar^2 k} e^{ik|x_f - x_i|}$$

Che corrisponde alla "freccina che gira" della trasposizione didattica, è possibile ottenere risultati esatti in una dimensione per i potenziali costanti a tratti; e risultati approssimati (a livello dell'approssimazione WKB) per potenziali generici. Rinforzare le basi teoriche del metodo della somma sui cammini indipendente dal tempo ci ha anche permesso di introdurre nella formazione insegnanti nuovi argomenti, come ad esempio l'effetto tunnel da una barriera di potenziale rettangolare.



Malgieri, M., Onorato, P., & De Ambrosis, A. (2016). A sum-over-paths approach to one-dimensional time-independent quantum systems. *American Journal of Physics*, 84(9), 678-689.

Studio dell'efficacia didattica

Mancavano nella letteratura internazionale studi organici sull'efficacia didattica dell'approccio di Feynman; alcune conclusioni qualitative sono state riportate da Jon Ogborn (Ogborn, 2006) nel contesto di una riflessione sui cinque anni di utilizzo dell'approccio nel contesto del corso di fisica per la scuola secondaria (A-level) "Advancing physics AS".

Abbiamo effettuato uno studio dettagliato dei risultati ottenuti in una classe V Liceo, concentrandoci in particolare sui risultati di apprendimento in termini di "integrazione delle conoscenze", ossia della capacità degli studenti, al termine del corso, di connettere tra loro diverse idee per spiegare fenomeni ed esperimenti quantistici anche non precedentemente noti.

Malgieri, M., Onorato, P., & De Ambrosis, A. (2017). Test on the effectiveness of the sum over paths approach in favoring the construction of an integrated knowledge of quantum physics in high school. *Physical Review Physics Education Research*, 113(1), 010101.

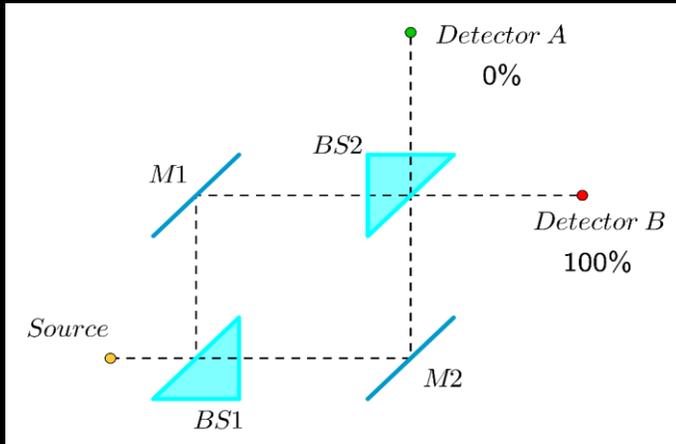
Riferimento teorico: il paradigma KI

Nella didattica delle scienze, metodi di valutazione efficaci incentrati sulla verifica dell'acquisizione di modelli mentali comprensivi e integrati sono stati forniti dalla Knowledge Integration (KI) Theory (Lee et al., 2010; Liu et al., 2011).

Dal punto di vista della KI, l'apprendimento scientifico è tanto più soddisfacente quanto più gli studenti *articolarono e verbalizzarono le loro idee sugli argomenti del curriculum, aggiungono nuove idee normative al loro repertorio, sviluppano criteri scientifici per discernere le idee e per connetterle fra loro, e formano una visione più coerente della scienza come risultato dell'integrazione tra varie idee scientifiche.*

Una segno distintivo della prospettiva KI è **l'enfasi sull'importanza della coerenza interna** nei modelli concettuali degli studenti, e nei collegamenti che esprimono tra le loro idee.

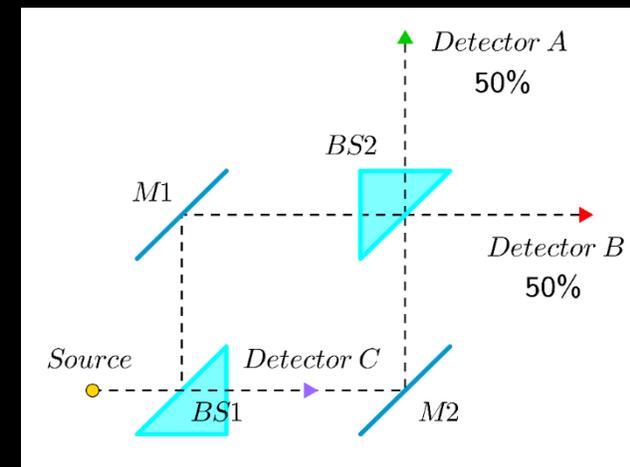
Una delle domande del test finale



L'esperimento Mach-Zehnder ordinario e i suoi risultati (i due bracci hanno uguale lunghezza)

Nelle figure sono mostrati i risultati di due possibili esperimenti con un interferometro Mach-Zehnder. Il primo caso è quello ordinario, e si ha il 100% di probabilità di rivelare il fotone al rivelatore B. Nel secondo caso, con un rivelatore intermedio che segnala il passaggio del fotone (senza distruggerlo, e idealmente senza disturbarlo) si ha il 50% di probabilità di rivelare il fotone a ciascuno dei due rivelatori.

Descrivi e analizza anche formalmente gli esperimenti Mach-Zehnder delle figure. Rispondi inoltre alle seguenti domande: Quali proprietà dell'oggetto quantistico e del processo di misura su di esso sono evidenziate da tali esperimenti? Come convinceresti una persona che non conosce la fisica quantistica che tali aspetti sono sorprendenti ma non incomprensibili?

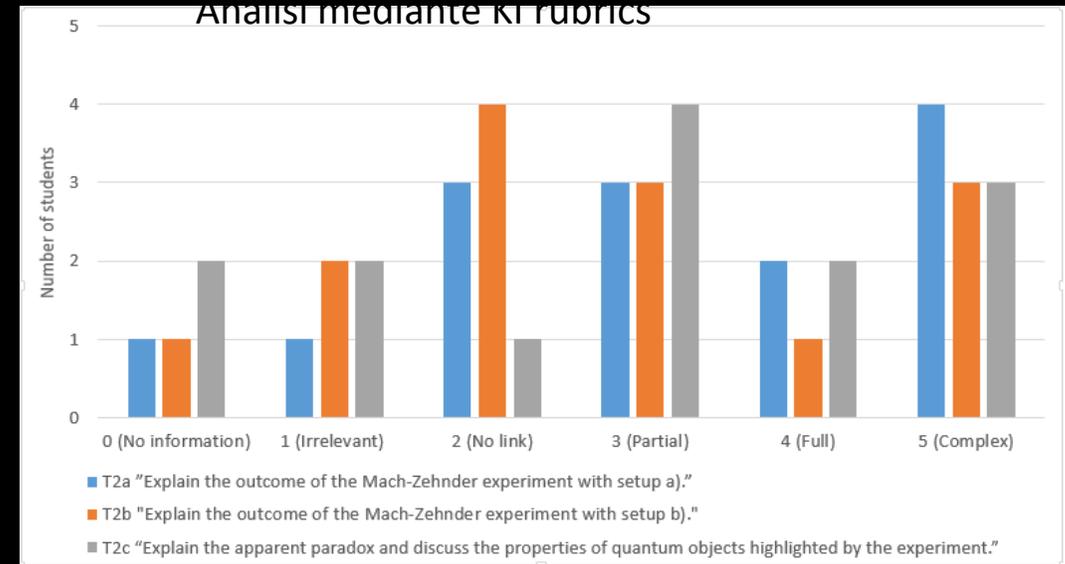


Risultato dell'esperimento Mach-Zehnder con un rivelatore intermedio C (non distruttivo)

Alcuni risultati

Model	Frequency (n=14)
Quantum model (quantum object follows all possible paths, probability computed using quantum rule)	7
Vague duality (e.g. only phenomenologically describes the experiment and provides a statement of duality)	3
Classical corpuscle, deterministic	1
Hybrid model (interprets paths as possible trajectories, the photon only follows one path although it is impossible to determine which one)	1
Incoherent / impossible to determine	1
No answer	1

Il 50% degli studenti utilizza un modello quantistico



Più del 50% degli studenti effettua collegamenti almeno parzialmente corretti tra le idee. 5-6 studenti su 14 producono un'argomentazione che connette in modo scientificamente valido almeno due idee ("full" o "complex" link).

Discussione

L'approccio di Feynman **può contribuire a superare alcune delle difficoltà** che sorgono nell'insegnamento della fisica quantistica a livello di scuola superiore. In particolare, l'approccio offer un modello funzionale naturale del dualismo onda-particella che aiuta gli studenti a costruire **modelli mentali più coerenti e integrati**. L'idea della legge per il calcolo delle probabilità di eventi che possono avvenire attraverso diversi "canali" alternativi come elemento centrale di differenza tra la fisica classica e quantistica sembra avere un grande potenziale educativo.

L'utilizzo coerente del modello di "oggetto quantistico" nell'ambito dell'approccio di Feynman permette di **evitare le incoerenze**, evidenziate da altri autori, **tra i modelli mentali degli studenti riguardo l'elettrone e il fotone**.

Alcuni casi di particolare successo dimostrano che **l'approccio di Feynman può portare, anche al livello di scuola superiore, ad esempi di vero e proprio "cambiamento concettuale"** verso concezioni, atteggiamenti epistemologici e modelli genuinamente quantistici.

I laboratori PLS

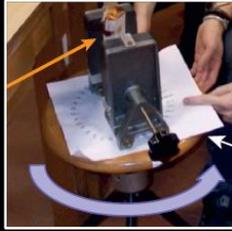
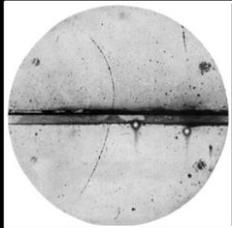
Il gruppo di Pavia è coinvolto dal 2005 nel progetto PLS - Piano Lauree Scientifiche. Un obiettivo centrale del progetto è quello di stimolare gli studenti della scuola secondaria a proseguire i loro studi iscrivendosi a corsi dilaurea dell'area scientifica anche attraverso attività di tipo laboratoriale svolte in università.

Materiali nel sito web: www-5.unipv.it/dida-pls

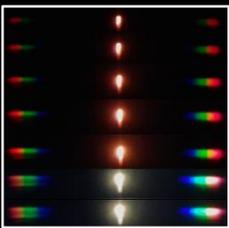


Progettazione di laboratori PLS

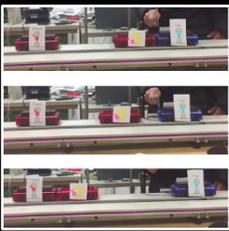
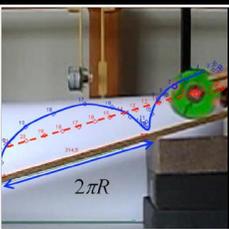
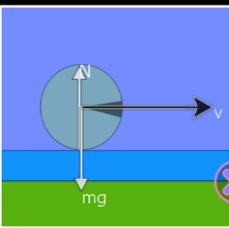
Elettromagnetismo

	Forze magnetiche	
Induzione magnetica		Elettroni & campi magnetici
	Fotografie storiche di camere a nebbia	

Fisica moderna

Costante di Rydberg		Effetto foto-elettrico
	LED e costante di Planck	
Misura dell'efficienza quantistica		Radiazione di corpo nero

Meccanica

	Sensori di moto: urti	
Tracker: rotolamento e attrito		Pendoli storici
	Software di simulazione	

... e molti altri in futuro

Un laboratorio sull'effetto fotoelettrico e i LED

- La comprensione della relazione di Planck-Einstein $E = h\nu$ costituisce un obiettivo importante della didattica della fisica quantistica a livello di scuola secondaria. Tale relazione può essere studiata sperimentalmente con metodi semplici sia dal versante dell'assorbimento di un fotone (effetto fotoelettrico) sia da quello dell'emissione di un fotone (LED).
- Difficoltà individuate da diversi autori: gli studenti confondono intensità e frequenza, non sono in grado di collegare grandezze macroscopiche e microscopiche, ritengono che ad una maggiore energia cinetica degli elettroni emessi nell'effetto fotoelettrico debba corrispondere una maggiore corrente.
- Hanno partecipato nel 2016/17 nove classi, oltre 150 studenti delle province di Pavia, Lodi, Piacenza, Milano.

Malgieri, M., Cattaneo, C. e De Ambrosio A. (under review) Testing and evaluating an experimental sequence on the Planck-Einstein relation $E = h\nu$ for high school students. Submitted to European Journal of Physics

Le tre fasi dell'attività

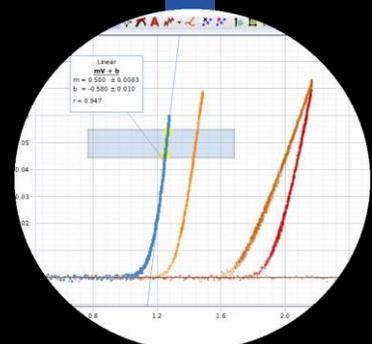
1. Misura della costante di Planck attraverso l'effetto fotoelettrico

Obiettivi: conoscere il modello di Einstein dell'effetto fotoelettrico dal punto di vista sperimentale, comprendere la relazione $E = h\nu$ nel contesto dell'assorbimento di un fotone da parte dell'elettrone (effetto fotoelettrico)



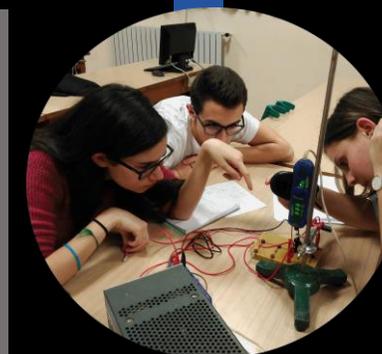
2. Misura della costante di Planck utilizzando LED di diversi colori

Obiettivi: acquisire conoscenze sulla giunzione p-n, comprendere la relazione $E = h\nu$ nel contesto dell'emissione di un fotone in una transizione energetica (energia di bandgap del LED), conoscere la curva tensione-corrente del LED.



3. Studio della caratteristica intensità luminosa-corrente e stima dell'efficienza quantistica esterna dei LED

Obiettivi: collegare grandezze macroscopiche e microscopiche, verificare la proporzionalità tra intensità di corrente e intensità luminosa. Conoscere le proprietà dei LED come dispositivi per l'illuminazione.



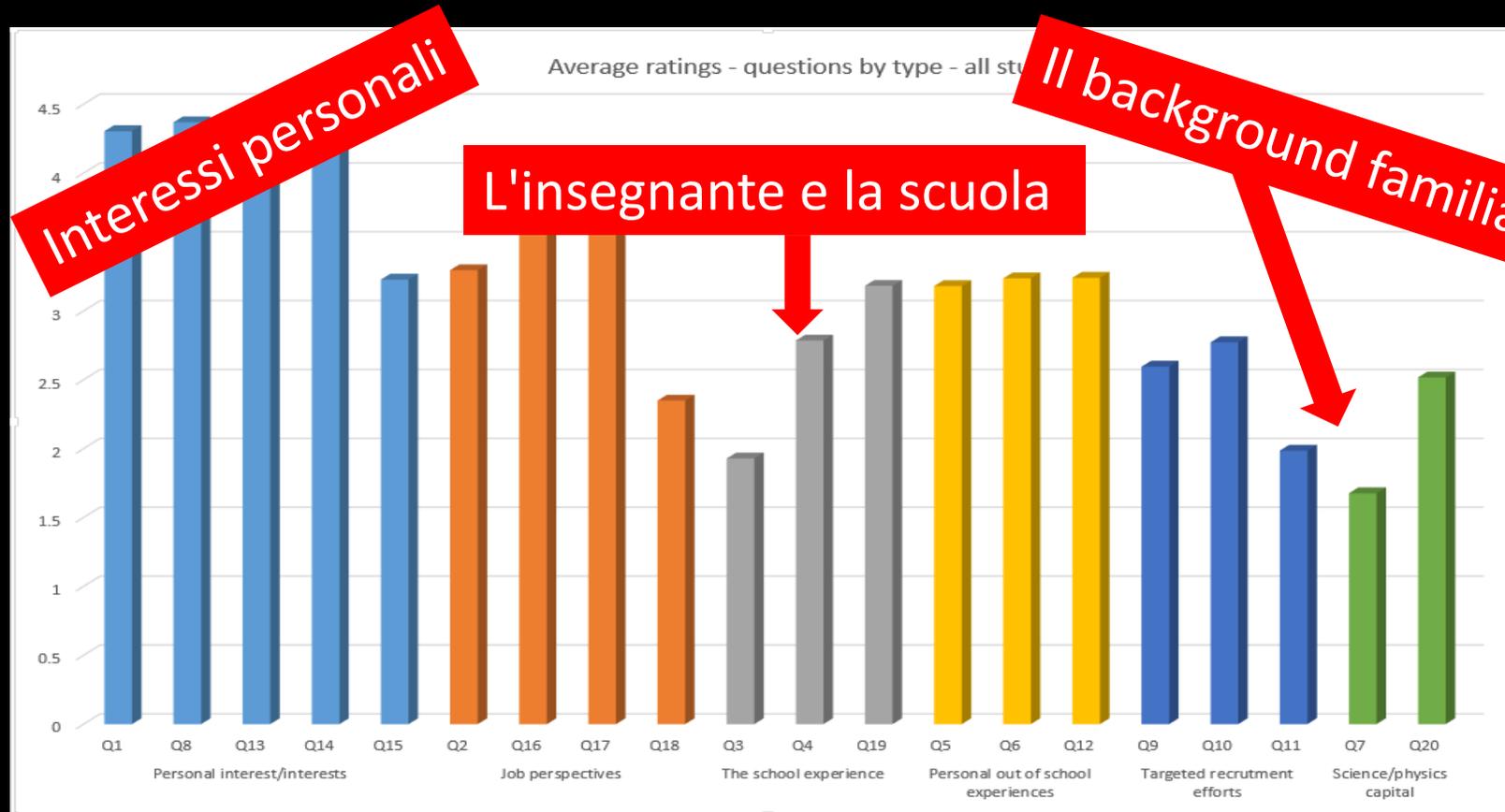
Interessi e curiosità degli studenti del primo anno di fisica: il progetto HOPE

Il gruppo di Pavia è stato attivamente coinvolto nel progetto Europeo HOPE - Horizons in Physics Education (2013-2016) nell'ambito del quale sono stati effettuati studi sugli interessi e le motivazioni che portano gli studenti a iscriversi a Fisica. Il progetto HOPE ha coinvolto 71 sedi partner da 31 nazioni Europee.

3



Perchè gli studenti si iscrivono a fisica?

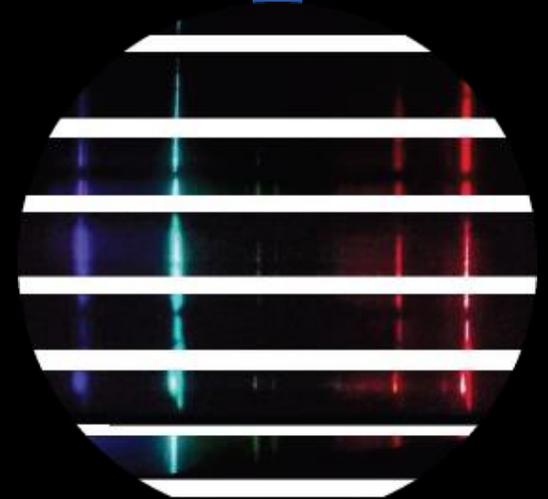


Nello studio viene investigata nel dettaglio l'ampia categoria degli "interessi personali" attraverso interviste individuali. Vengono identificate diverse categorie di interessi e curiosità degli studenti (per come le cose funzionano, per i metodi della fisica, per questioni epistemologiche e filosofiche...).

Levrini, O., De Ambrosis, A., Hemmer, S., Laherto, A., Malgieri, M., Pantano, O., & Tasquier, G. (2016). Understanding first-year students' curiosity and interest about physics—lessons learned from the HOPE project. *European Journal of Physics*, 38(2), 025701.

Spettrometria con spettrofotometri basati sullo smartphone

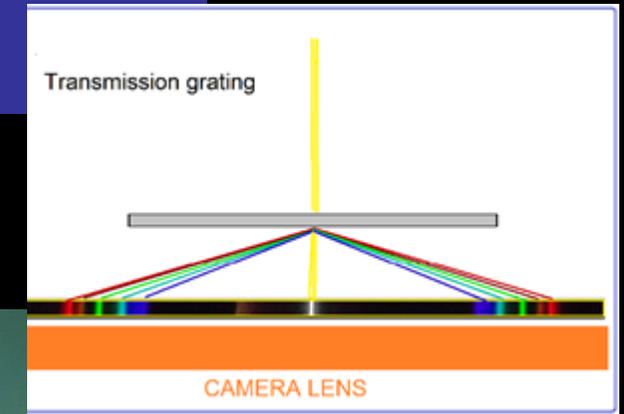
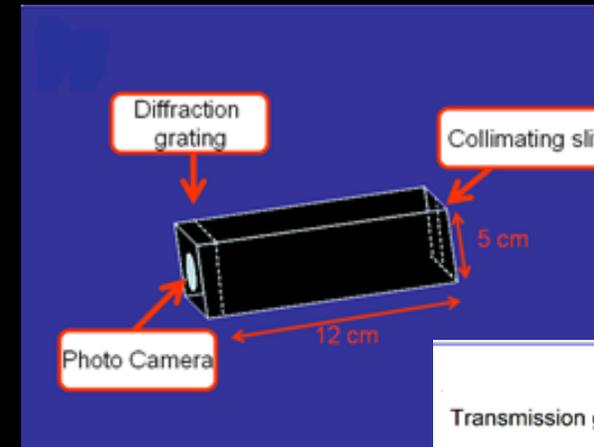
Abbiamo sviluppato, e standardizzato una tecnica per ottenere analisi spettrometriche di buona qualità utilizzando la fotocamera dello smartphone. La tecnica è parte integrante dei nostri programmi di formazione degli insegnanti.



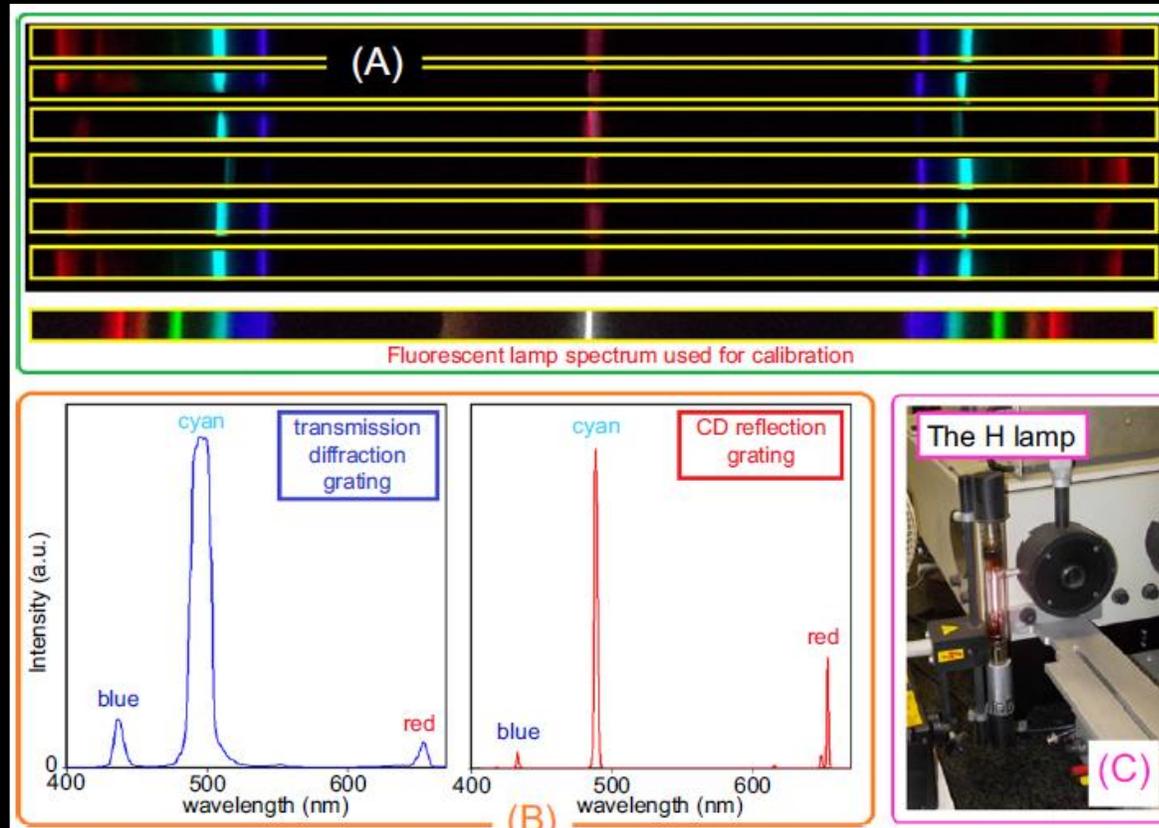
Costruzione del dispositivo

Materiali necessari:

- Smartphone
- Cartone (per la "custodia" dello smarphone)
- Cartoncino nero (per il tubo per l'ingresso della luce e la fenditura)
- Reticolo di diffrazione, 500-600 righe/mm (acquistabile su ebay a costi molto contenuti)
- Taglierino, forbici, elastici
- Software Tracker (open source) e paint o simile software per l'editing di immagini.



Esempio: misura della costante di Rydberg



Utilizzando il nostro spettrometro "home-made" e una lampada a idrogeno è possibile misurare il valore della costante di Rydberg con uno scarto dal valore vero inferiore all'1%. Per la calibrazione è possibile utilizzare una comune lampadina a fluorescenza.

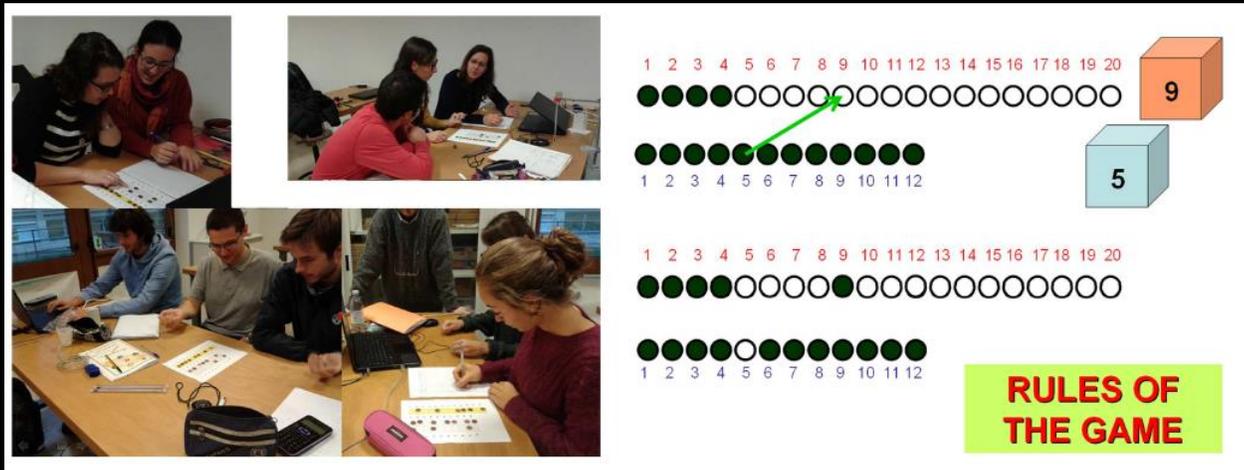
Onorato, P., Malgieri, M., & De Ambrosis, A. (2015). Measuring the hydrogen Balmer series and Rydberg's constant with a homemade spectrophotometer. *European Journal of Physics*, 36(5), 058001.

5

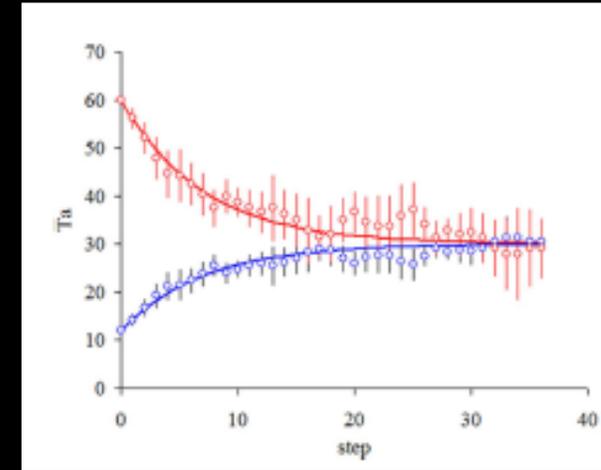
Dadi, monete, carte: modelli giocattolo "giocabili" nella didattica della fisica



Modelli giocattolo nella didattica della termodinamica



The diagram illustrates the 'Rules of the Game' model. It shows two rows of 20 numbered circles (1-20) representing particles. In the top row, the first 9 circles are green and the last 11 are white. In the bottom row, the first 12 circles are green and the last 8 are white. A green arrow points from the 9th circle in the top row to the 5th circle in the bottom row. To the right, there are two boxes: an orange one labeled '9' and a blue one labeled '5'. A green box at the bottom right contains the text 'RULES OF THE GAME'.

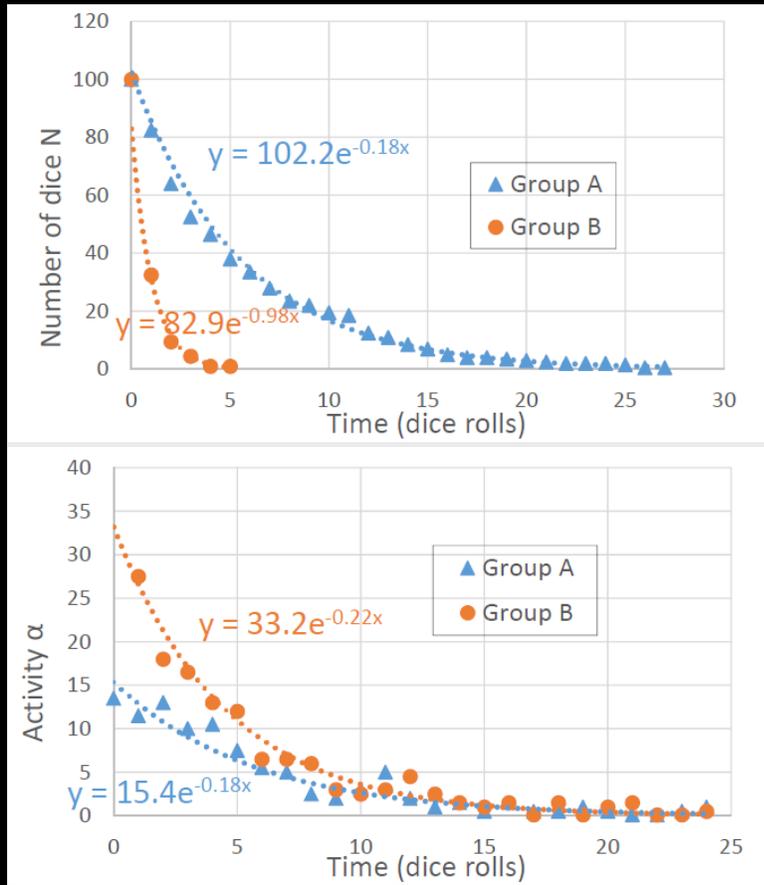


Modello con dadi e monete del raggiungimento dell'equilibrio termico tra due corpi a contatto

Malgieri, M., Onorato, P., Valentini, A., & De Ambrosis, A. (2016). Improving the connection between the microscopic and macroscopic approaches to thermodynamics in high school. *Physics Education*, 51(6), 065010.

Onorato, P., Malgieri, M., Moggio, L. & Oss S. (2017). Microscopic and probabilistic approach to thermal steady state based on a dice and coin toy model. *European Journal of Physics* 38(4), 045102.

Modelli giocattolo nella didattica della radioattività



Modello con dadi dell'equilibrio radioattivo tra nuclidi con diverse vite medie all'interno di una stessa catena.



Santostasi, D., Malgieri, M., Montagna P. e Vitulo P. (in press). An experiment on radioactive equilibrium and its modelling using the “radioactive dice” approach. Accepted in Physics Education

FONDAMENTI della FISICA

Gianluca Introzzi

- Relazioni d'indeterminazione
- Interpretazioni della meccanica quantistica
- “Metafisica sperimentale”
- Dualismo onda/particella
- Ontologia quantistica

Relazioni d'indeterminazione

- L'indeterminismo quantistico è **ontologico**, non epistemico (meccanica statistica classica)
- **Non** si tratta di un **principio** d'indeterminazione (relazioni ricavabili dalla **dispersione delle onde** classiche di Fourier + **dualismo** onda/particella)
- Si hanno **due** sorgenti d'indeterminazione:- **intrinseca** (dipende dal formalismo della MQ) - **operazionale** (correlazione misura/disturbo)
- Indeterminazione energia/tempo non ancora ben compresa (**cos'è il tempo ? Relatività ?**)

Heisenberg (1927) – Robertson (1929)

Ozawa (2003) – Fujikawa (2012)

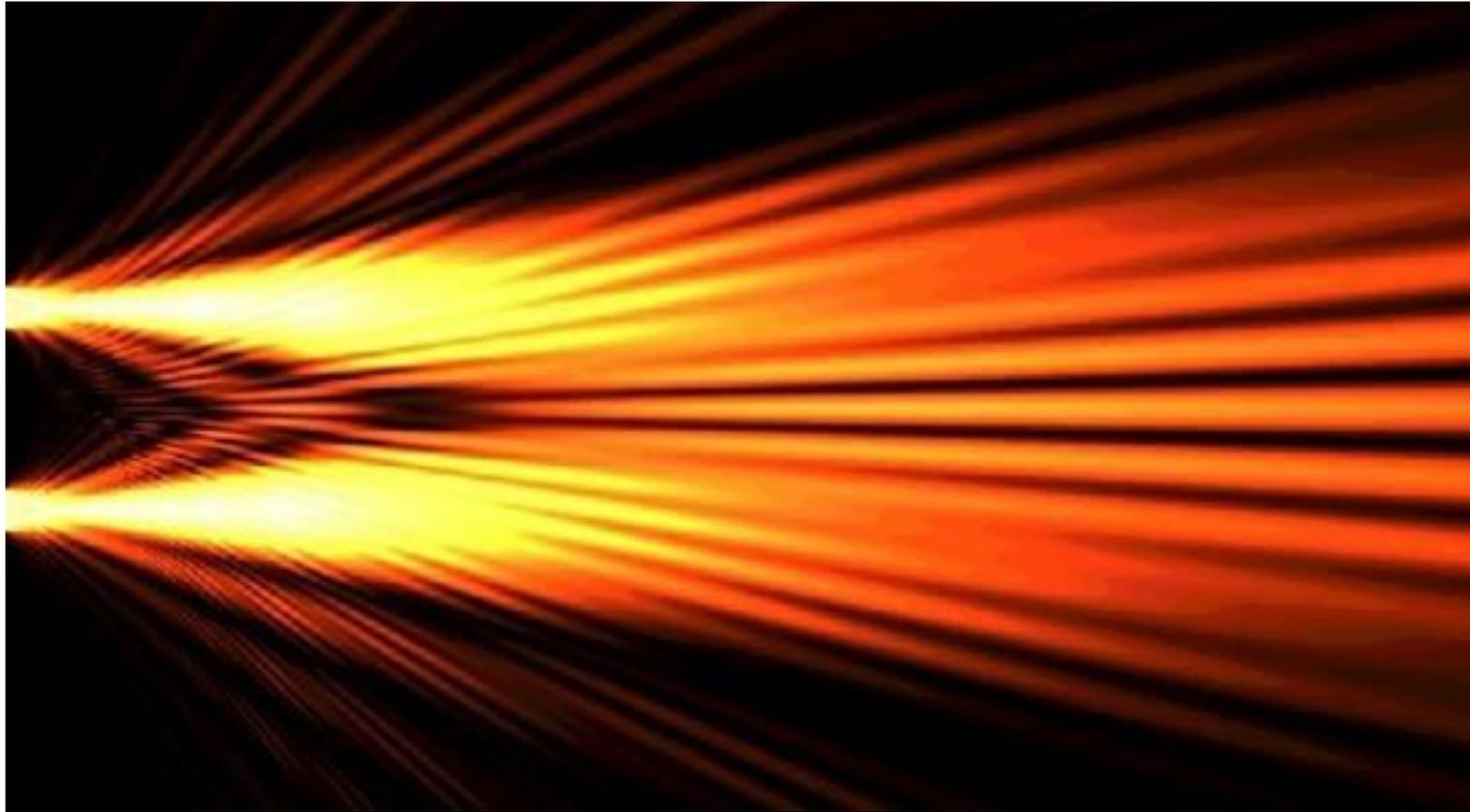
$$\epsilon_A \eta_B \geq \frac{1}{2} |\langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle|$$

$$\sigma_A \sigma_B \geq \frac{1}{2} |\langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle|$$

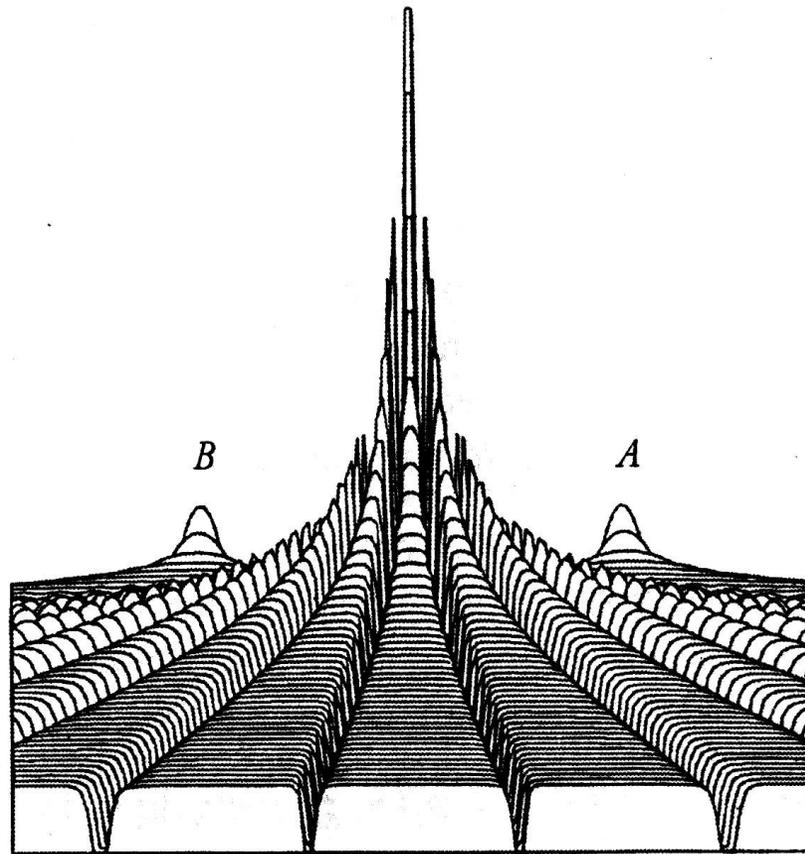
$$\epsilon_A \eta_B + \epsilon_A \sigma_B + \sigma_A \eta_B \geq \frac{1}{2} |\langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle|$$

$$\bar{\epsilon}_A \bar{\eta}_B \geq |\langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle|$$

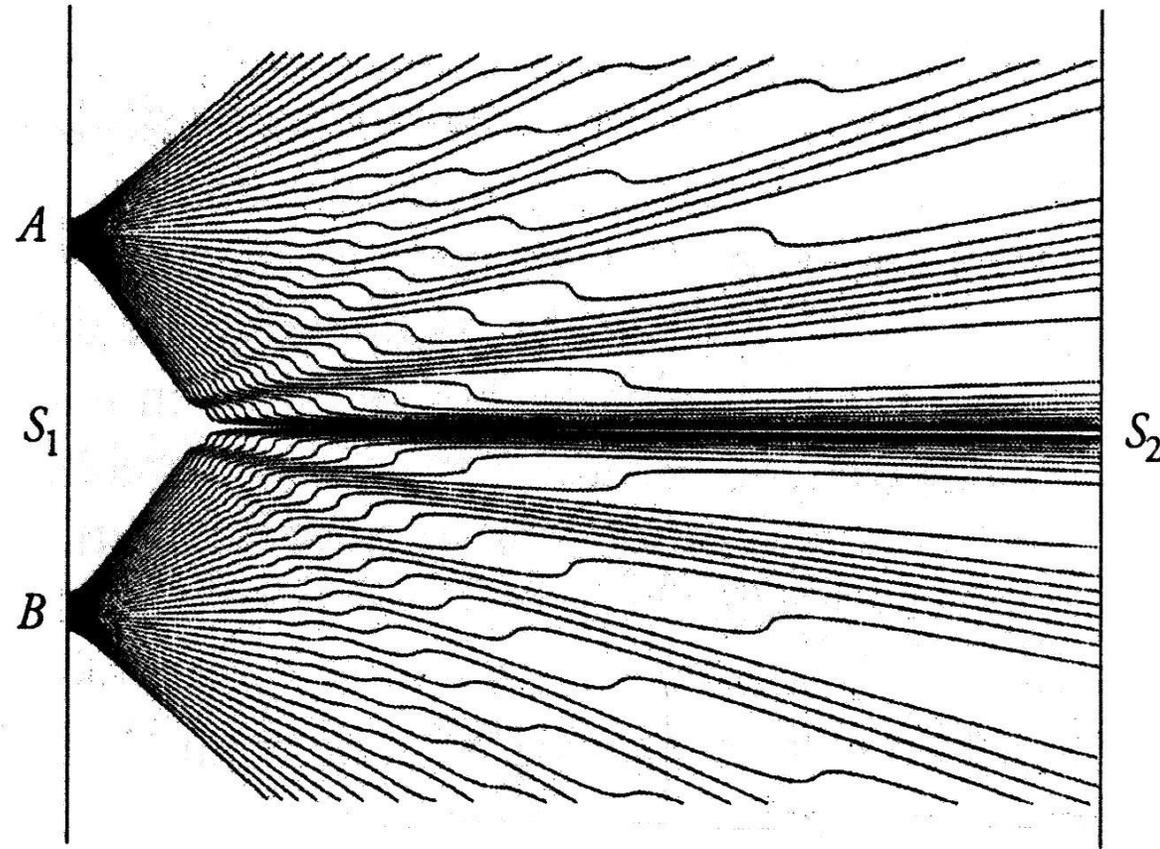
Rappresentazione delle traiettorie di Bohm in una doppia fenditura



Potenziale quantico di Bohm

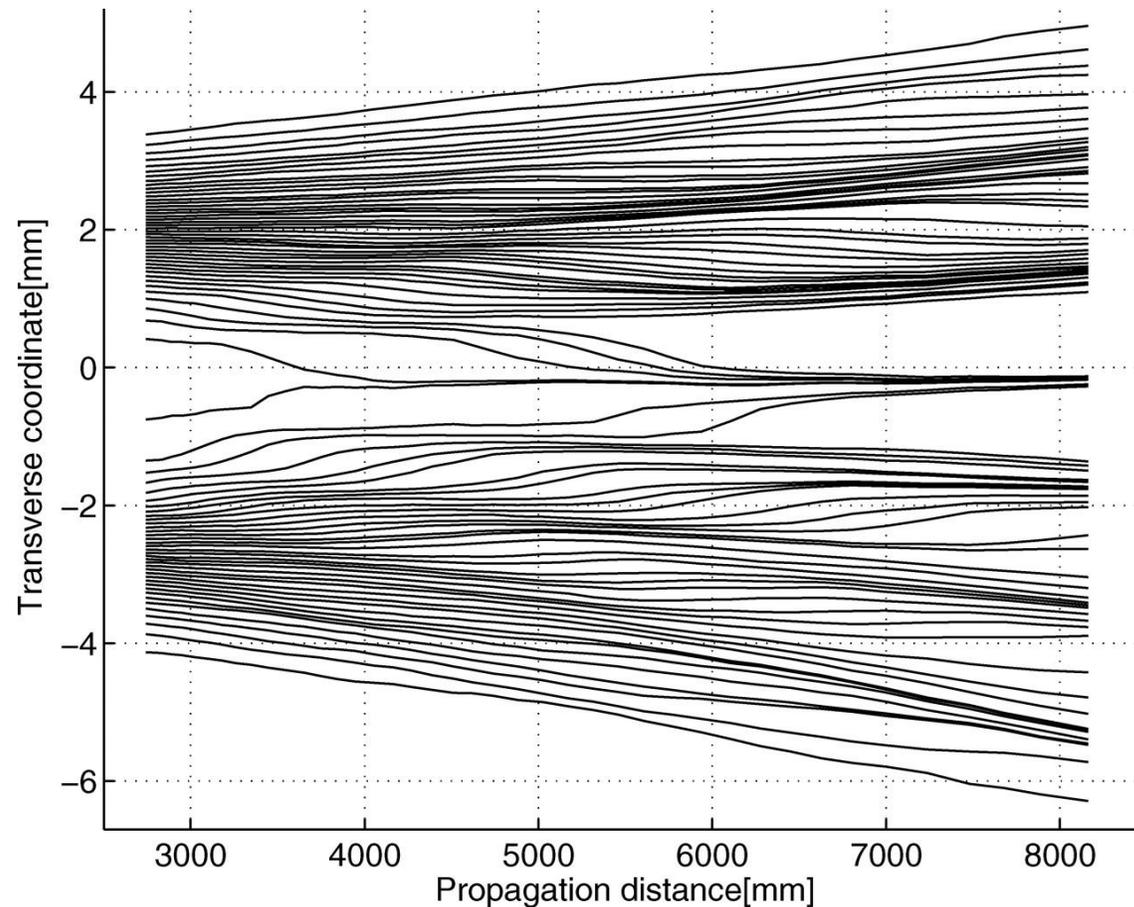


Traiettorie possibili secondo Bohm



Misura “debole” su fotoni singoli

A.M. Steinberg et al. - Science (2011)

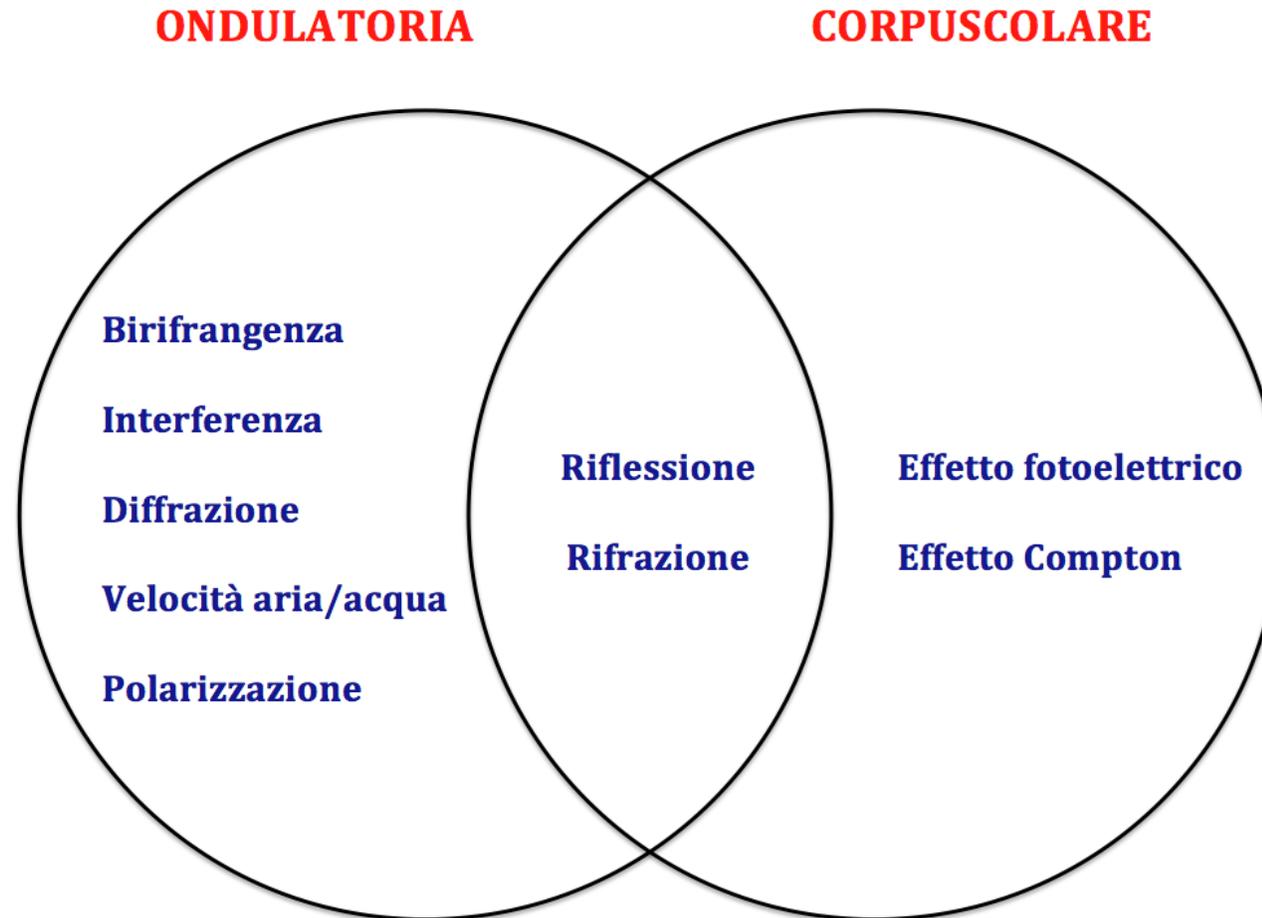


Meccanica quantistica: una nuova ontologia

« I numerosi risultati sperimentali che hanno sondato e confermato la validità della meccanica quantistica possono di fatto essere considerati come contributi ad una **metafisica sperimentale**.»

(**Abner Shimony** – “*Search for a naturalistic world view – vol.2*”)

L'ambigua natura della luce



Dilemma onda/particella

- onda e particella: Einstein (1909) – de Broglie (1923)-Bohm (1952)
- onda o particella: Bohr (1927)
- né onda né particella: quantoni Feynman (1965) – Bunge (1967)
Greenberger-Yasin (1988) – Englert (1996)
- bosoni o fermioni: Lévy-Leblond (1990)

Introzzi, G. «Il dualismo onda-particella: analisi storica e recenti interpretazioni»
Atti della Accademia Roveretana degli Agiati, anno 260, 2010, serie VIII, volume X B,
pp.5-18. http://www.agiati.it/UploadDocs/4878_art01_introzzi.pdf

Come immaginare un quantone

