

Progetto didattico
per la classe OS FAM
IV liceo

FISICA QUANTISTICA

Christian Ferrari e Saverio Prinz
Liceo di Locarno

A.S. 2006–2007

Presentazione

Quanto riportato qui è una sintesi del progetto di sede svolto al Liceo di Locarno nell'anno scolastico 2006–2007, in cui Christian Ferrari e Saverio Prinz hanno riflettuto su come presentare il capitolo dedicato alla fisica quantistica. L'obiettivo di questo progetto è un'esposizione moderna di questa teoria inserendo gli aspetti matematici necessari in un'ottica di coordinamento tra fisica e matematica. Questo è un corso destinato a allievi che seguono il corso *Opzione Specifica Fisica ed applicazioni della Matematica* (FAM).

L'aspetto *moderno* è evidenziato dalle seguenti scelte:

- presentazione dei concetti di base in modo costruttivo e non assiomatico;
- discussione del concetto di *entanglement*, il cuore della teoria quantistica;
- aggancio costante agli aspetti sperimentali recenti (1975–2004);
- digressioni di natura epistemologica e filosofica;
- sensibilizzazione sulla possibili conseguenze tecnologiche della fisica quantistica.

Il *coordinamento Fisica–Matematica* è messo in risalto sfruttando i concetti matematici seguenti:

- *spazi prehilbertiani* (e quindi numeri complessi) quale fondamento per costruire la teoria quantistica (in dimensione finita) i cui elementi rappresentano gli stati puri;
- *operatori lineari* quali rappresentazione delle osservabili (operatori autoaggiunti e relativo problema agli autovalori), degli stati misti (operatori autoaggiunti a traccia 1), degli stati puri (proiettori unidimensionali) e dell'evoluzione temporale (operatori unitari);
- *teoria delle probabilità* in relazione al carattere oggettivamente aleatorio della Natura microscopia e sua formalizzazione (misura di probabilità sull'insieme dei proiettori e probabilità oggettive);
- *equazioni differenziali* in relazione al problema dell'evoluzione temporale (equazione di Schrödinger).

Fatta eccezione per lo studio del campo dei numeri complessi, parte integrante del corso di base di matematica per le classi FAM/BIC, gli aspetti matematici elencati sopra sono specifici al corso FAM e vanno quindi sviluppati in quest'ambito tenendo presente l'interessante connessione con gli aspetti fisici.

Il testo è stato concepito con lo scopo di presentare la fisica quantistica mettendo in risalto gli aspetti:

- *storici*, inerenti il travagliato percorso 1900–1925 che ha portato alla creazione della fisica quantistica;

- *epistemologici-filosofici*, inerenti alla rivoluzione scientifica, ed il conseguente cambiamento della visione della Natura a livello microscopico, caratterizzato dall'abbandono dei principi filosofici della fisica classica sostituiti da quelli della fisica quantistica;
- *matematici*, inerenti agli aspetti algebrici e probabilistici che permettono di costruire la teoria quantistica;
- *sperimentali*, quali ingredienti fondamentali per avvalorare una teoria scientifica.

L'originalità di questo corso sta nella presentazione moderna della fisica quantistica e potrebbe rappresentare un incentivo verso il rinnovamento dell'insegnamento della fisica al liceo per il curriculum FAM (e con le dovute modifiche per il corso *Fisica Opzione Complementare*).

Contrariamente alle presentazioni classiche, che si trovano spesso anche ai primi anni del curriculum di fisica, l'accento qui è messo sugli aspetti concettuali della fisica quantistica limitando il formalismo essenzialmente agli spazi prehilbertiani di dimensione due (\mathbb{C}^2 che automaticamente possiede la struttura di spazio di Hilbert). Ciò ha il vantaggio di presentare la fisica quantistica con quel minimo di formalismo necessario in un'ottica di coordinamento e di cogliere gli aspetti fondamentali della teoria, senza dover utilizzare strumenti matematici avanzati.

Dall'esperienza svolta il tempo da dedicare a questo capitolo è di circa 3/4 mesi a dipendenza dalle ore investite dai docenti di matematica sugli aspetti fisici.

Materiale didattico

Il materiale didattico di questo progetto consiste in:

- il testo del corso,
- una ricca bibliografia (utile quale riferimento per il docente),
- le serie di esercizi con le relative soluzioni,
- alcune presentazioni beamer.

Valutazione del percorso didattico

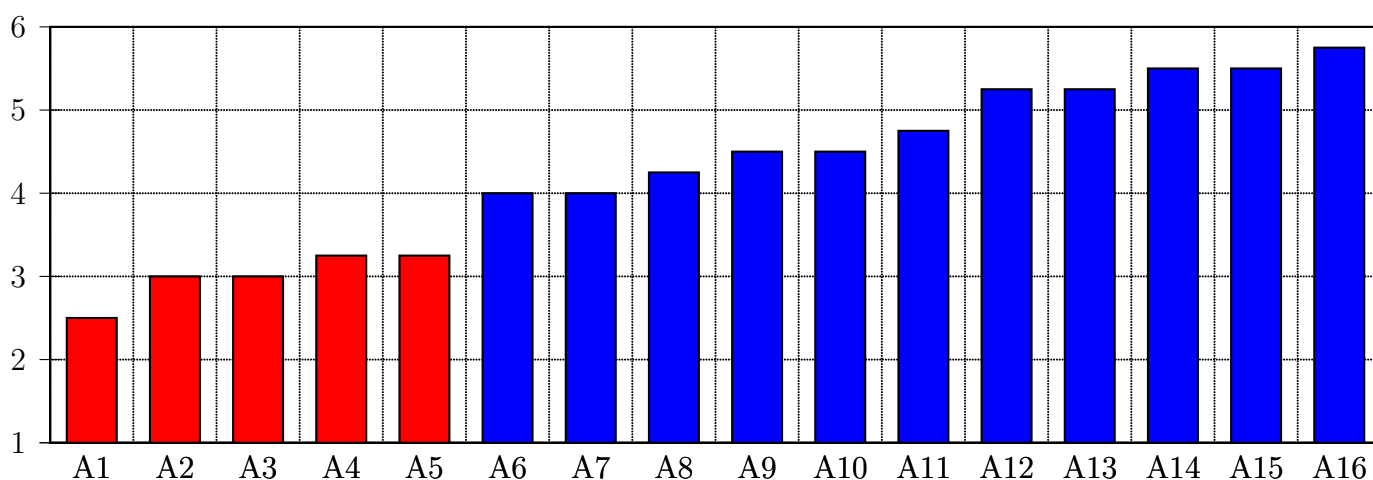
Visto il carattere innovativo si è proceduto alla *valutazione* del percorso proposto, riportiamo qui di seguito in modo sommario i risultati che possono essere trovati nell'annesso. Chiaramente ci si basa su un'unica esperienza effettuata con una classe di 16 allievi.

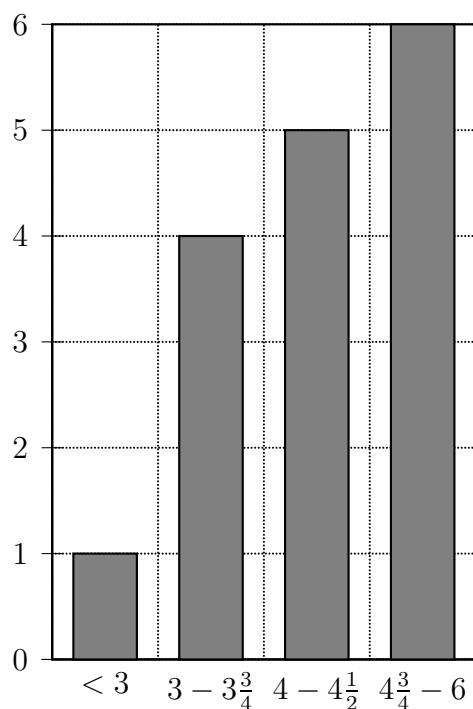
Obiettivi La valutazione sommativa è stata costruita in modo da poter valutare ogni singolo obiettivo.

obiettivo	tasso di riuscita	commenti
Preparazione (stato puro)	91%	mancanza di esercizi specifici dip. dal punto sopra
Stato misto	50%	
Media e scarto (stato puro)	86%	
Media e scarto (stato misto)	70%	
Stato di superposizione	70%	
Probabilità oggettive	70%	
Riduzione dello stato	84%	
Proiettori + Teo spettrale	74%	
Principio di corrispondenza	31%	
Esponenziale di matrici	47%	
Evoluzione temporale	33%	
Osservabile energia	59%	
Concetto di realtà	56%	
Principio di incompatibilità	74%	
Determinismo e caso	75%	

Il risultato complessivo come gruppo classe è dato da un tasso di riuscita del 60%.

Qui sotto sono rappresentati i risultati (da 1 a 6) per allievo (primo grafico) e per fasce di note (secondo grafico).





Impressioni degli allievi Alla fine del percorso è stato sottoposto un questionario atto a valutare come gli allievi hanno percepito e vissuto questo soggetto, ecco alcune considerazioni a riguardo.

- Il coordinamento è generalmente ritenuto buono e utile.
- La presentazione della fisica classica con i suoi principi filosofici e lo sviluppo storico sono ritenuti, a larga maggioranza (81%), interessanti. Utili per una minoranza più o meno grande (44% principi filosofia classica; 30% storia).
- L'aspetto sperimentale è stato presentato sufficientemente.
- Sia gli aspetti matematici che formali sono stati ritenuti di livello medio dalla maggioranza (69%), da circa il 16% sono ritenuti facili e dal 15% difficili (ma possibili).
- A larga maggioranza (81%) si ritiene che sia a livello culturale, filosofico e di formazione scientifica, è importante occuparsi di fisica quantistica.
- Tutti ritengono che essere confrontati con lo studio della fisica quantistica sia stata un'esperienza positiva.
- Lo studio della fisica quantistica ha su quasi la metà degli allievi (7) un effetto motivante verso la fisica, per l'altra metà invece non si ha nessun effetto particolare (7). Solo uno si sarebbe sentito scoraggiato se avesse avuto intenzione di proseguire con la fisica.
- A larga maggioranza (88%) si ritiene che il materiale didattico ricevuto è buono.
- Tutti consigliano di riproporre la fisica quantistica come capitolo FAM.

Ringraziamenti

Gli autori di questo progetto ringraziano il Prof. Dr. Valerio Scarani (Associate Professor alla National University of Singapore, Quantum Information Science and Technology Group) con il quale hanno potuto scambiare opinioni e ottenere validi suggerimenti durante questo progetto, ma non solo.

Un ringraziamento va anche al Dr. Matteo Nota, docente di fisica presso il LiLu2, per le interessanti ed utili osservazioni a riguardo degli aspetti filosofici della fisica quantistica.

Si ringrazia inoltre la direzione, in particolare il Dir. Fulvio Cavallini, per la fiducia accordata allo sviluppo di questo progetto e gli allievi di IVE per gli stimoli e le osservazioni che hanno contribuito al miglioramento del materiale prodotto.