

# JQM per affrontare nella scuola secondaria i fondamenti di meccanica quantistica

Marisa Michelini, Lorenzo Santi, Alberto Stefanel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università degli Studi di Udine

Via delle Scienze 206, 30100 Udine

marisa.michelini@uniud.it, lorenzo.santi@uniud.it, alberto.stefanel@uniud.it

*JQM è un software da noi studiato ed open source per la modellizzazione dinamica in un ambiente aperto, che lascia lo studente libero di progettare il proprio esperimento ideale nel campo della polarizzazione ottica lineare per studiare le basi della meccanica quantistica con polaroid e cristalli birifrangenti.*

## 1. Introduzione

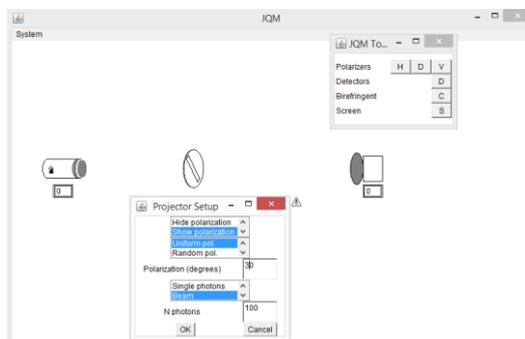
Nella didattica della fisica le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC) hanno una particolare importanza, in quanto rivestono un ruolo metodologico oltre che di facilitazione per i processi di apprendimento, essendo strumento e metodo per esplorazioni sperimentali e teoretiche, e per le analisi dei dati [Michelini, 1992]. La moderna fisica teorica, nata con la meccanica quantistica, basa in particolare i propri risultati su simulazioni e modellizzazioni. Quest'ultima attività, ampiamente studiata in letteratura [Van den Berg et al. 2007], mette nelle mani degli studenti la possibilità di formulare ipotesi, organizzarle in un quadro interpretativo mediante relazioni ed esplorarne le conseguenze. I migliori strumenti software per attività di modellizzazione sono ambienti aperti in cui lo studente sceglie gli oggetti e le relazioni di un processo in forma oggettuale o algoritmica per la sezione iterativa cuore dell'interpretazione fisica nel calcolo ed è sgravato di ogni altro compito di programmazione. In questo modo, seguire il processo fisico con ragionamenti che producono il personale coinvolgimento dello studente nel processo conoscitivo e di appropriazione metodologica del lavoro, si realizza quell'apprendimento basato sull'esplorazione di ipotesi, analisi degli esiti delle conseguenze relative e confronto con il fenomeno che fonda la competenza in fisica, superando la semplice informazione conoscitiva e determinando l'appropriazione dei contenuti trattati [Michelini 2010]. Simulazioni parametrizzate aiutano le esplorazioni di ipotesi e la progettazione di esperimenti. La modellizzazione in ambienti software è oggi uno strumento cardine per l'apprendimento della fisica [Van den Berg et al, 2007; Rabe, Mikelkis 2007].

La fisica del XX secolo è entrata a far parte dei curricula scolastici di tutta Europa dopo un'ampia discussione che vedeva diversi oppositori sostenere la necessità di approfondire la fisica classica in termini propedeutici. Le più

moderne proposte in materia operano una integrazione in prospettiva verticale della fisica classica con quella moderna e prefigurano diverse esperienze oggi metodi di analisi in diversi campi di ricerca, con formalismi e leggi già parte del tradizionale curriculum di fisica [Michellini et al. 2014]. La meccanica quantistica in particolare è stata oggetto di molte proposte differenziate che si possono raggruppare in quattro approcci principali: storico, ondulatorio, alla Feynman, alla Dirac. Eccetto il primo, tutti questi approcci hanno prodotto proposte didattiche basate su attività di simulazione o modellizzazione per superare il riduzionismo narrativo dei risultati di studi non padroneggiati e dare agli studenti la possibilità di operare con i fondamenti della teoria. L'approccio storico, che parte dai problemi posti sul piano interpretativo di esperimenti cardine, introduce la teoria dei quanti e solo dopo la fisica quantistica con un percorso difficile e lungo, che richiede una riorganizzazione concettuale per fondare la meccanica quantistica. Per questo motivo gli studi di ricerca didattica lo considerano da evitare. L'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Udine ha studiato e sperimentato una proposta basata su un approccio alla Dirac che, con semplici esperimenti con cristalli birfrangenti e polaroid, propone le basi della meccanica quantistica da consolidare con esperimenti ideali [Ghirardi et al. 1997]. Il presente contributo illustra un software di modellizzazione di natura aperta che permette una molteplicità di esperimenti ideali con polaroid e cristalli birfrangenti, lasciando allo studente le scelte progettuali ed implementando il modello quantistico nel campo della polarizzazione ottica.

## 2. Le caratteristiche del software

Per esplorare ipotesi, fare previsioni sui fenomeni di interazione tra fotoni polarizzati con polaroid e cristalli birfrangenti (ideali) è stato progettato e sviluppato il software JQM. Esso è stato scritto in Java così da poter essere utilizzato anche in rete e costituisce una palestra concettuale per sviluppare una introduzione alla fisica quantistica. Nell'interfaccia grafica di JQM (Fig. 1) sono disponibili differenti oggetti.

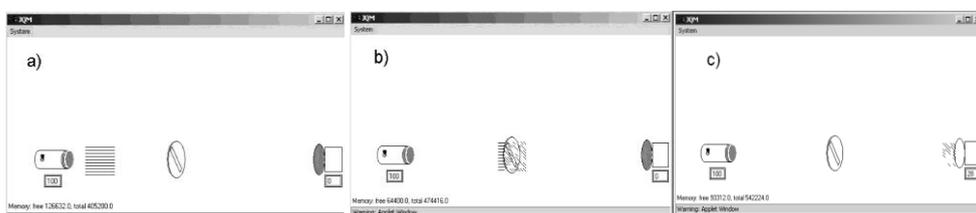


**Fig.1 Le caratteristiche principali dell'interfaccia grafica di JQM.**

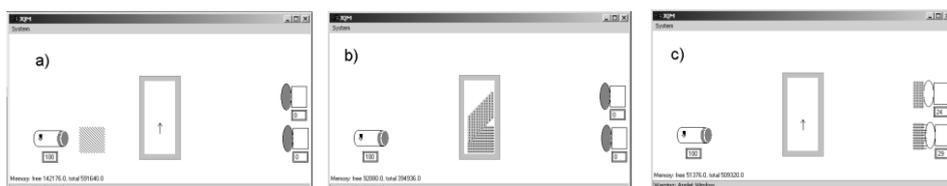
Esso permette di assemblare una sorgente di fotoni (proiettore/laser), filtri polarizzatori con direzione permessa lungo direzioni diverse, cristalli birifrangenti (diretti o inversi), schermi, contatori di fotoni, semplicemente utilizzando il mouse per spostare le icone degli oggetti che si vogliono assemblare per la realizzazione degli esperimenti da simulare. Si può accedere alle proprietà degli strumenti implementati nella simulazione ed eventualmente modificarle, attivando un menu con il click destro del mouse. I fotoni trasmessi sono selezionati dai polarizzatori con una probabilità data dalla legge di Malus. Grazie a questi strumenti software di analisi concettuale, si può offrire agli studenti l'opportunità di manipolare aspetti precedentemente visti solo in forma narrativa, dando così un contributo alla scuola secondaria, alla formazione del pensiero teorico, come illustrato nella sezione successiva [Ghirardi et al. 1997].

### 3. Esempi di impiego

La fig 2 mostra la situazione in cui un fascio di fotoni polarizzati orizzontalmente interagisce con un polaroid con direzione permessa a  $45^\circ$ . I fotoni trasmessi, tutti polarizzazione a  $45^\circ$ , sono contati da un rivelatore.



**Fig.2 Simulazione con JQM di un fascio di 100 fotoni con polarizzazione orizzontale che incide su un polaroid con direzione permessa a  $45^\circ$ . Il rivelatore conta i fotoni trasmessi, con una probabilità data dalla legge di Malus.**



**Fig.3 Simulazione con JQM di un fascio di fotoni che interagisce con un cristallo birifrangente.**

Con JQM si possono esplorare delle ipotesi interpretative sullo stato di polarizzazione a  $45^\circ$ , visto come stato di sovrapposizione di due stati  $u$  e  $v$ : la fenomenologia stabilisce che in questo caso lo stato  $u+v$ , in cui si trovano i fotoni polarizzati a  $45^\circ$ , non è una miscela statistica di fotoni caratterizzati da due differenti proprietà fisiche (polarizzazione orizzontale e polarizzazione verticale). A questo scopo si può confrontare il differente esito dell'interazione

con un polaroid a 45° di: A) un fascio formato di N fotoni con polarizzazione a 45°; B) due sotto fasci uno formato da N/2 fotoni con polarizzazione verticale e da N/2 fotoni con polarizzazione orizzontale. L'applet JQM permette anche di simulare l'interazione di fotoni con cristalli birifrangenti, ad esempio per affrontare il nodo dell'impossibilità di attribuire una traiettoria a un fotone (Fig.3).

#### 4. Considerazioni conclusive

Le TIC rivestono un ruolo metodologico oltre che didattico per i processi di apprendimento in tutta la fisica e acquistano particolare rilevanza nel caso della fisica moderna. Ambienti di simulazione e modellizzazione diventano infatti fondamentali per dare agli studenti la possibilità di formulare ipotesi, organizzarle in un quadro interpretativo mediante relazioni ed esplorarne le conseguenze. E' importante allora disporre di ambienti aperti in cui lo studente scelga gli oggetti con cui lavorare, possa esplorare fenomenologie in ambienti ideali. L'affiancamento di tali strumenti con tutorial è importante per passare dal piano descrittivo fenomenologico a quello concettuale-interpretativo. Come contributo per la costruzione del pensiero teorico e in particolare l'appropriazione dei concetti fondanti della MQ è stato progettato e sviluppato l'applet JQM qui presentato. La sua caratteristica principale è quella lasciare lo studente libero di fare le proprie esplorazioni garantendone un facile utilizzo attraverso una interfaccia grafica particolarmente semplice e intuitiva. Attività condotte con gli studenti con l'utilizzo di tutorial appositamente progettati ne hanno dimostrato l'efficacia e versatilità di utilizzo.

#### Bibliografia

[GHIRARDI et al.1997] G C Ghirardi, R Grassi, M Michelini, Introduzione delle idee della fisica quantistica: il principio di sovrapposizione, LFNS, XXX, 3S, Q7, 1997, p.46-57

[MICHELINI 1992] Michelini M., L'elaboratore nel laboratorio didattico di fisica: nuove opportunità per l'apprendimento. *Giornale di Fisica*, XXXIII, 4, 1992, 269.

[MICHELINI 2010] Michelini M., Building bridges between common sense & physics description, in Menabue L., Santoro G. (eds.), STE. Bologna: CLUEB, 2010, 257-274.

[MICHELINI et al. 2015] Michelini M., Santi L., Stefanel A., Teaching modern physics in secondary school. In Kajfasz E., Masson T., Triay R. (eds.), FFP14, 2015, [http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/231/FFP14\\_231.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/231/FFP14_231.pdf)

[RABE, MIKELKIS 2007] Rabe T., Mikelkis F., The role of language in learning physics, in Pintò R., Couso D.(eds.), *Sci. Educ. Res.* Barcelona: Springer, 2007, 489-502.

[VAN DEN BERG. et al. 2007] Van den Berg E., Ellermeijer T., Slooten O., Modelling in Physics and Physics Education, GIREP-Conference, Amstel, Univ. of Amsterdam, Amsterdam, 2007.