

### Valutazione di processo nella formazione post-universitaria

### Process evaluation in post-graduate scientific training: a case study

ELISABETTA NIGRIS – LUISA ZECCA\*

Questo contributo si focalizza sulla valutazione di processo del curriculum di STELLA 2011 – Scuola di Alta Formazione in esperimenti con Laser e applicazioni, per la formazione di giovani ricercatori. Dopo un quadro teorico sulla valutazione di processo e la progettazione didattica, esponiamo i risultati di uno studio di caso, indagine idiografica di tipo qualitativo ispirato alla grounded theory. Sono descritti i “concepts” del curriculum dal punto di vista di tutti i soggetti coinvolti poi confrontati con il modello di progettazione, le metodologie di insegnamento e gli apprendimenti perseguiti. Si evidenziano accordi sul valore formativo dell’apprendistato in laboratorio valutato il “luogo” più adatto per apprendere metodologie di indagine. Emerge disaccordo intorno ad un concept chiave: la sostanziale corrispondenza tra ricerca e formazione utilizzando laboratori di ricerca reali a scopi didattici.

*This paper focuses on the evaluation of processes at STELLA 2011 – School for Training in Experiments with Lasers and Applications, intended for young researchers. After a theoretical framework on process evaluation and educational design, we report the findings of a case study, idiographic qualitative inquiry inspired by grounded theory. This study describes “concepts” of the curriculum from the perspective of all subjects then compared with the model design, methods of teaching and learning. There is substantial agreement on the value of apprenticeship training in the laboratory evaluated the “place” to learn more appropriate methods of investigation. Disagreement emerges around a key concept: the substantial correspondence between research and education using “real” experimental laboratories for educational purposes.*

**Parole chiave:** valutazione di processo, grounded theory, progettazione didattica, studio di caso, ricerca didattica, laboratorio, riflessività

**Key words:** process evaluation, educational design, grounded theory, case study, educational research, laboratory, reflexivity

\* Il presente articolo è il frutto del lavoro congiunto delle due autrici. Nello specifico Elisabetta Nigris ha redatto e curato i §§ 1, 2, 3; Luisa Zecca ha redatto e curato i §§ 4, 5, 6; il paragrafo 7 è stato co-redatto.

## 1. Il contesto e l'oggetto della ricerca

Dal 20 giugno all'8 luglio 2011 l'Università degli Studi dell'Insubria di Como ha organizzato una Summer School: "STELLA 2011 – Scuola di Formazione in Esperimenti con Laser e applicazioni Laser", destinata a laureati, dottorandi, giovani ricercatori in Fisica provenienti da tutto il mondo. Il curriculum formativo ha previsto una giornata seminariale e la messa a punto di 11 laboratori di ricerca sperimentale riprodotti per essere contesti di formazione. Obiettivo della scuola è formare ricercatori attraverso l'inserimento in laboratori "reali" progettati ad hoc (innovazione didattica) e condotti da ricercatori esperti (formatori). Il percorso formativo della durata di tre settimane prevede inoltre lo studio di bozze teoriche (*drafts*), una giornata seminariale, la partecipazione a due laboratori liberamente scelti, uno a settimana, e la scrittura in gruppo di un articolo scientifico supervisionato dai docenti referenti, in cui sono presentati i risultati degli esperimenti condotti in laboratorio. Lo scopo originario della Scuola era quello di costruire una rete europea permanente in grado di supportare la condivisione dello "stato dell'arte" di know-how tecnico tra i laboratori attivi nel campo e la sinergia stabile tra formazione e ricerca. La scuola ha coinvolto 36 studenti, 19 professori e assistenti. Degli studenti 22 erano dottorandi, 2 Post Doc, 4 studenti di Master, 1 Assistant Professor, 2 ricercatori e 5 studenti laureati provenienti da tutto il mondo (Asia, Nord e Sud America, Europa e Australia), per tale ragione la lingua utilizzata è stata l'inglese. Inoltre, la maggior parte degli studenti (25) non aveva mai frequentato una scuola di Alta Formazione.

La valutazione di Stella School è stata realizzata secondo un approccio *mixed method* costituito da un'indagine quantitativa (Favale, Zecca, Nigris, Bondani, 2011) e da un'indagine qualitativa.

Lo studio quantitativo ha indagato le motivazioni, le aspettative, la percezione degli apprendimenti raggiunti e il grado di soddisfazione generale espresso dall'universo degli studenti con un questionario somministrato alla fine del corso. L'indagine qualitativa si è focalizzata su un laboratorio selezionato dallo staff di direzione di cui ha rilevato il progetto didattico dal punto di vista dei docenti e degli organizzatori della scuola, prima dell'inizio del percorso, e le opinioni degli studenti sul percorso svolto, al termine dello stesso. L'articolo si riferisce esclusivamente a questa indagine. Si tratta di uno studio di caso che rende evidente la riflessione metodologica sui processi di apprendimento e insegnamento relativa al laboratorio "*Quantum tomography and CHSH inequality*", relativo al fenomeno di *entanglement* (Aczel, 2004), messo a punto e condotto dall'équipe del Prof. Paolo Mataloni.

## 2. La valutazione di processo

La valutazione di un percorso o di un fenomeno didattico è un processo complesso teso a rilevare il cambiamento, le trasformazioni che hanno coinvolto l'intero contesto intenzionalmente progettato per l'apprendimento e ogni individuo che ne ha preso parte. La semplice misurazione dei risultati non rende disponibili informazioni utili alla correzione e alla riprogettazione dei processi di un curriculum didattico, ma si limita alla mera indicazione di quanti e quali risultati sono stati raggiunti. La valutazione di processo invece accompagna in itinere l'implementazione del progetto e risponde ai seguenti quesiti: se l'intervento raggiunge i destinatari, se le attività realizzate sono conformi alle attività progettate, se secondo i diversi punti di vista il progetto si sta avvicinando agli obiettivi, quali cambiamenti sta apportando agli individui e ai gruppi. Chiarire le condizioni per cui i risultati sono stati raggiunti è quindi il compito della valutazione di processo, il miglioramento della qualità dei

risultati è correlato al miglioramento della qualità dei processi, la valutazione dei risultati non è infatti sufficiente. Attivare un percorso di indagine per valutare un intervento didattico significa innanzitutto comprendere quali finalità e quali obiettivi sono stati intenzionalmente ipotizzati prima della fase di attuazione e confrontare, monitorare costantemente ciò che accade per evidenziarne coerenze e scostamenti. Progettazione e valutazione sono processi strettamente connessi, circolari e continui durante la realizzazione di un progetto. La progettazione è intesa più che come applicazione di uno schema, come la creazione di modellizzazioni situate. In opposizione al programma, che determina a priori una serie di azioni in vista di un obiettivo ed è efficace in situazioni stabili e certe, la progettazione delinea una strategia che prefigura scenari d'azione e ne sceglie uno, in funzione di ciò che essa conosce di un ambiente incerto. La strategia cerca senza sosta di “riunire le informazioni, di verificarle, e modifica la sua azione in funzione delle informazioni raccolte e dei casi incontrati” (Morin 2000, p. 63). Secondo Rossi e Toppano (2009) la progettazione presenta 3 dimensioni: la finalità, le variabili didattiche e il percorso. Le finalità individuano le cornici di senso del progettista e ne rispecchiano le filosofie educative, personali rappresentazioni sull'insegnamento e apprendimento. Si tratta di pedagogie “spontanee” sull'apprendimento e sull'insegnamento che sottendono le pratiche educative, assunti impliciti ed intuitivi, in parte di senso comune, in parte assimilati dal docente durante la sua formazione e le sue esperienze didattiche. Le finalità sono dunque le direzioni, gli orizzonti che regolano le azioni didattiche (Atlet, 2003) sono connesse con le variabili didattiche in modo non deterministico, non è mai prevedibile ciò che verrà appreso. La progettazione della formazione realizza un approccio di processo, non di prodotto, questo significa fare emergere l'evoluzione del percorso. Le variabili di un percorso formativo includono gli obiettivi, i nodi epistemici da sviluppare e le metodologie adottate. La valutazione di processo mira a fare emergere i nessi tra le variabili del percorso e a descrivere i passaggi della *trasposizione didattica* resa attuale nell'azione di insegnamento. Per *trasposizione didattica*, concetto sviluppato in area francese (Chevallard, 1985) si intende la trasformazione degli oggetti di conoscenza in vista dell'insegnamento. La *trasposizione didattica* nel contesto preso in esame si realizza in una settimana di laboratorio in cui si attivano esperimenti cruciali per mettere in evidenza fenomeni di fisica quantitativa. Nel paragrafo successivo esporremo aspetti fondanti del laboratorio di ricerca come ambiente didattico, finalizzato all'apprendimento.

### 3. Formazione e ricerca: l'innovazione didattica di Stella School 2011

È ormai largamente condivisa l'idea della natura culturale, sociale e costruttiva della conoscenza, concetto che trova le proprie origini in Piaget, Vygotskij, Bruner e nei loro successori ed interpreti. L'apprendimento è un processo non soltanto intramentale ma di continue mediazioni con i significati che ogni cultura veicola, “l'intelligenza individuale non è che un momento, che un'espressione di un processo più complesso, di natura sociale” (Doise, Mugny 1982, p. 255). Il senso delle azioni deriva quindi dalla possibilità di prendere parte ad uno scopo condiviso, dalla condivisione delle rappresentazioni sulle esperienze e delle modalità con cui si svolgono. Secondo Dewey la conoscenza già formalizzata degli esperti è la meta del processo di insegnamento e apprendimento che si fonda sull'esperienza del soggetto, la riflessione avviene attraverso la presa di coscienza del dubbio, un esame analitico della situazione nuova, la formulazione di previsioni e ipotesi, e decisioni per l'azione. La ristrutturazione degli schemi cognitivi avviene attraverso processi meta-riflessivi. Nell'approccio

trasformativo di Mezirow (Mezirow, 2003) l'apprendimento avviene attraverso un'integrazione tra cambiamento della realtà da parte dei soggetti coinvolti e il loro stesso cambiamento attraverso queste azioni. Se la conoscenza si costruisce attraverso l'esperienza, il laboratorio pare essere il luogo, il dispositivo didattico, più coerente per l'acquisizione di nuovi apprendimenti, come la vasta letteratura sui progetti "inquiry-based approach to learning" evidenziano (Barron, Darling-Hammon 2010). Il laboratorio, come ambiente di apprendimento, non è solo luogo di dimostrazione di concetti o teorie provate o osservate e non è nemmeno luogo di esercitazione con obiettivi di prestazione prefissati è luogo di formazione del "pensiero riflessivo", critico e metacognitivo dove ripercorrere e ricostruire le domande, le ipotesi, le informazioni, le tipologie di problemi, le modalità di porli e di risolverli tipici di un determinato "oggetto" di conoscenza di una determinata disciplina. Al centro del nostro studio di caso c'è la riflessione di insegnanti e studenti sulle attività svolte durante un laboratorio messo a punto per realizzare esperimenti fondamentali nella fisica quantistica, come vedremo nei paragrafi che seguono. Il laboratorio è stato allestito per condurre esperimenti complessi tipici di un laboratorio di ricerca ma per scopi formativi tra cui quello della formazione al metodo sperimentale in uno specifico campo della fisica. Questo approccio rappresenta un'autentica innovazione didattica nella formazione scientifica post-laurea.

#### 4. Obiettivi e metodologia dell'indagine

L'indagine qualitativa che abbiamo condotto ha al suo fondamento due presupposti metodologici. Il primo risale alla seconda metà del secolo scorso in cui parte della ricerca pedagogica e didattica ha rifondato il proprio paradigma di riferimento passando da quello positivista al paradigma fenomenologico, ecologico e sistemico, superando il dibattito tra metodologie quantitative e qualitative in direzione di una pluralità di metodologie, di una complementarità e contaminazione. La ricerca empirica di tipo idiografico a cui noi facciamo riferimento, si ispira alla *Grounded Theory* (Glaser, Strauss, 1967), orientamento metodologico che meglio risponde a cogliere un fenomeno o un sistema di fenomeni nella loro unicità. La *GT* è un metodo di ricerca qualitativa che usa un set compatibile con metodi quantitativi e sviluppa una teoria derivata induttivamente attraverso successivi livelli di analisi dei dati e di sviluppo concettuale. È un percorso euristico di codifica, comparazione e categorizzazione<sup>1</sup> che ha come fine la comprensione di fenomeni che sono per loro natura complessi e dinamici, si tratta quindi di un'indagine conoscitiva che mira a descrivere un caso particolare. Già Dewey sosteneva che la ricerca sulle pratiche educative non poteva prescindere da una valutazione qualitativa e che fosse rischioso "separare" le variabili. Lo scopo di una siffatta teoria è la conoscenza di come si agisce in un certo contesto e di quali significati attribuiscono le persone alla loro esperienza, lo sguardo è orientato alla unicità delle situazioni cercando di comprendere in modo profondo il punto di vista dei partecipanti per pervenire ad una *local theory*. L'interesse è centrato sul punto di vista dei soggetti protagonisti dell'esperienza didattica e sulla costruzione di significati cui pervengono attraverso interviste e focus group. Il paradigma adottato è quello costruzionista che assume che il linguaggio non sia un sistema di simboli che rappresenta la realtà, ma uno strumento performativo e di coordinamento di attività. Il

1 L'analisi dei discorsi segue queste fasi: etichettamento descrittivo, prime categorie, macrocategorie, individuazione proprietà per intensità e frequenza, individuazione categorie centrali.

contesto, la temporalità, la contingenza sono le caratteristiche della conoscenza che si costruisce nel dialogo e costituiscono le dimensioni di cui tenere conto nell'analisi (Caronia, 1997). Le interviste e i focus group che abbiamo condotto sono di tipo semistrutturato e “non direttivo” (Kanizsa, 1998), i temi possono essere distinti in aree di ragionamento su cui l'interlocutore riflette nel modo più libero possibile. I testi che derivano dalle interviste consentono diverse tipologie di analisi orientate all'individuazione di variabili rilevanti che emergono come categorie del discorso attraverso una procedura induttiva emergenziale. Per la raccolta dei dati sono state utilizzate: interviste semi-strutturate in profondità allo Staff di direzione della scuola<sup>2</sup>, interviste semi-strutturate in profondità ai membri del team teaching del laboratorio<sup>3</sup>. Sono stati realizzati focus group ai 2 gruppi di studenti che hanno partecipato al laboratorio. L'intervista al membro dello Staff di direzione è stata realizzata all'inizio della seconda settimana della scuola, quelle ai docenti conduttori del laboratorio prima dell'inizio del laboratorio stesso e i focus group agli studenti sono stati realizzati al termine del laboratorio, prima dell'ultima fase della scuola che ha riguardato la scrittura dell'articolo sui risultati ottenuti dalle attività sperimentali realizzate in laboratorio. Gli obiettivi dello studio sono quelli di descrivere e confrontare le valutazioni dei diversi soggetti coinvolti relativamente a: a) i “concepts” di Stella School dal punto di vista dello Staff di direzione e dei docenti; b) il progetto didattico del laboratorio preso in esame; c) la valutazione del percorso formativo e l'autovalutazione degli apprendimenti da parte degli studenti.

## 5. Risultati e discussione

L'analisi dei discorsi, integralmente trascritti, è stata condotta in modo intersoggettivo individuando i temi principali e le espressioni peculiari dei concetti con l'obiettivo di confrontare i diversi punti di vista (staff, docenti, studenti). I risultati dello studio dei testi sono esposti in asserzioni che costituiscono prime categorie interpretative dell'oggetto preso in esame. Nei riquadri vengono citate le sequenze di discorso paradigmatiche come esempi dei dati emersi.

1. I “concepts” della scuola dal punto di vista dello Staff e dei docenti:
  - 1.1 la condivisione del know-how per sviluppare conoscenza scientifica;
  - 1.2 il laboratorio sperimentale come dispositivo didattico.
  - 1.3 la scrittura collettiva di un articolo scientifico, esito del lavoro di un gruppo di ricerca “reale” in formazione e dispositivo che connette didattica e ricerca.
  - 1.4 la corrispondenza tra ricerca e formazione

Il concetto fondamentale del curriculum formativo di Stella School, descritto anche nella lettera di presentazione, assume la corrispondenza tra ricerca e formazione, l'ipotesi è che si pervenga ad una scoperta scientifica quando due o più persone iniziano la condivisione di essa. I progettisti di Stella School rimarcano spesso che la collaborazione finalizzata alla conoscenza è più efficace della competizione quando l'obiettivo è raggiungere risultati nuovi e comprendere fenomeni complessi; nel caso della fisica sperimentale riveste un ruolo chiave

- 2 Aree tematiche delle interviste: storia, “filosofia” e finalità di Stella School; motivazione della scelta dei laboratori di ricerca; obiettivi di apprendimento; il rapporto tra laboratorio di ricerca e laboratorio didattico.
- 3 Aree tematiche delle interviste: l'oggetto del laboratorio; l'organizzazione e la metodologia del laboratorio; gli obiettivi di apprendimento e le ipotesi di difficoltà di apprendimento; il rapporto tra laboratorio di ricerca e laboratorio didattico.

l'attività di laboratorio la cui comprensione profonda richiede per lo meno l'osservazione diretta degli esperimenti.

I docenti hanno scritto una bozza dell'articolo connesso al laboratorio in cui emergono le teorie, i dati salienti e lo schema dell'apparato sperimentale, i risultati e la loro analisi saranno completati dagli studenti con la supervisione dei professori. L'obiettivo dei laboratori è di riuscire ad ottenere risultati significativi che presentino qualche elemento di novità negli esiti, nei metodi di analisi o negli strumenti utilizzati<sup>4</sup>.

- “Nella ricerca e nella formazione la collaborazione diventa condivisione quando si comunica con gli altri e nell'atto stesso di comunicare si impara”. (concept 1.1)
- “Nella ricerca e nella formazione la condivisione della conoscenza in laboratorio tra ricercatori/docenti e studenti è un fattore chiave”. (concept 1.2)
- “Insegnando si fa ricerca. Si possono ottenere risultati significativi e in parte originali, degni di pubblicazione scientifica”. (concept 1.3)

I docenti condividono con lo Staff l'idea che la conoscenza si trasmetta attraverso uno scambio che va oltre il sapere, lo stato dell'arte in letteratura, così come viene pubblicato nelle riviste. È attraverso la condivisione delle attività laboratoriali che i giovani ricercatori accedono ad una conoscenza profonda<sup>5</sup>, quella che consente di impadronirsi dei processi e delle metodologie.

- “Le cose si capiscono quando sei in grado di riprodurle e di spiegarle agli altri. Quindi farle aiuta a capirle, perché farle vuol dire che le sai rifare quindi anche che le sai spiegare, questo è l'aiuto del laboratorio” (concept 1.1)
- “La parte pratica aiuta anche a pensare, mentre uno fa, pensa, ragiona sulle cose. Il laboratorio è fondamentale perché se uno non ha capito la prova a fare, e si ragiona su ragionandoci la capisce meglio” (concept 1.2)
- “La letteratura scientifica non è fatta oggi per divulgare, è fatta per annunciare un primato intellettuale (...) La gente non spiega i segreti... dà abbastanza in modo da dimostrare che è giusto, ma non dà troppo in modo che gli altri possano replicarlo semplicemente, questo è un punto cruciale (...). Quindi non troverà in letteratura quale iter seguire per allineare questo apparato, è un know-how che si tramanda, che fa parte del proprio curriculum” (concept 1.3)

I docenti individuano nell'attività sperimentale varie forme di relazione tra teoria e esperimento. L'attività sperimentale ha come presupposto una teoria rappresentata in formule matematiche e l'obiettivo è verificare empiricamente la bontà della formula attraverso l'accadere di un fenomeno secondo i parametri dati. La prima competenza per un fisico sperimentale è sapere come si predispongono un apparato per rilevare un fenomeno. Un secondo passaggio è la capacità di sperimentazione di uno strumento o un metodo diverso per misurare fenomeni noti. L'invenzione di un apparato nuovo, di un nuovo esperimento sulla base di una teoria rappresenta un salto di qualità ulteriore fino ad arrivare alla scoperta empirica che modifica la teoria perché nessuna delle teorie esistenti è in grado di spiegare il

4 Nelle finestre sono stati inseriti esempi paradigmatici delle affermazioni spontanee dei soggetti intervistati.

5 Questo concetto è confermato dai dati dell'indagine quantitativa.

fenomeno osservato o immaginato, quindi diventa necessario ripensare ai sistemi concettuali e metodologici a disposizione. Nel rapporto tra teoria e pratica, tra ricerca pura e ricerca applicata, le competenze laboratoriali in senso generale rappresentano uno snodo essenziale ed imprescindibile per la formazione dei ricercatori.

2. Gli obiettivi di apprendimento del laboratorio:
  - 2.1. il punto di vista dei docenti;
  - 2.2. il punto di vista degli studenti;
  - 2.3. il confronto tra “concept” e metodologie didattiche.

2.1. Queste sono le finalità individuate dai docenti:

- “Conoscere le problematiche tipiche di un laboratorio di ottica quantistica”;
- “Apprendere un metodo di lavoro concettuale e sperimentale per raggiungere un obiettivo, differente dalla simulazione di modelli”;
- “Sapere presentare i risultati e scrivere un articolo scientifico”;
- “Sapere predisporre un apparato per fare funzionare un esperimento e rilevare un fenomeno”;
- “Sperimentare l’allineamento degli oggetti dell’apparato”;
- “Sapere utilizzare uno strumento o un metodo diverso per misurare fenomeni noti”;
- “Capire i concetti osservando i fenomeni”;
- “Formulare domande, trovare indicazioni, formulare ipotesi”;
- “Impareranno sicuramente una serie di cose che hanno studiato, che hanno assorbito, un po’ come concetti astratti e vedranno il corrispettivo in laboratorio. La parte bella di questo tipo di ricerca è che uno vede in laboratorio quello che ha studiato a dei corsi di meccanica quantistica, lo vede, lo capisce, lo osserva”.

2.2. Il punto di vista degli studenti. Nelle dichiarazioni sugli apprendimenti raggiunti troviamo accordo e coerenza con gli obiettivi prefissati dai docenti, gli studenti sostengono di avere approfondito conoscenze in un campo della fisica poco noto; di avere “...*push the theory in an optical table*” ossia di avere avuto la possibilità di confrontare le proprie teorie con l’esperimento.

- “Ho imparato qualcosa di molto basilare, conoscevo la teoria, ma non avevo mai visto come applicare la teoria sul tavolo ottico, per me è stato molto utile dal punto di vista pratico”.
- “Sì, io conosco la teoria, ma posso comparare alcuni elementi della teoria a un vero oggetto...O almeno un esempio di un oggetto che hai in mente”.

Molti ritengono di avere appreso non solo una metodologia applicativa (*experimental skills*) e procedurale per condurre l’esperimento, ma di avere nuovi quadri concettuali per capire l’esperimento, nuovi modi di pensarlo e interpretarlo. La maggior parte degli studenti ha apprezzato di dover scrivere un articolo, anche se non sempre era chiaro che la scrittura fosse parte integrante del percorso formativo e delle competenze del ricercatore.

- “Per me la pubblicazione sarebbe qualcosa in più, pubblicare è importante, però per me la cosa più importante era imparare qualcosa, quindi la pubblicazione è su un secondo piano”.
- “Sono collegate, impari qualcosa, poi lo pubblichi”.
- “Per me è molto importante pubblicare, io ho bisogno di questo. Tu puoi pubblicare per i fatti tuoi, ma non puoi imparare senza supervisione”.
- “Se tu scrivi tu puoi imparare di più, devi capire devi tornare indietro all’inizio per capire se ci sono delle parti complicate di cui non sei del tutto certo, devi tornarci sopra di nuovo... quindi tu impari durante la scrittura”.

Si evidenzia accordo tra docenti e studenti che individuano alcuni degli elementi chiave delle aspettative e degli obiettivi dei docenti: l’idea che sperimentando un concetto si giunga ad una comprensione più profonda; l’apprendimento di un know-how per portare a termine l’esperimento; l’acquisizione di consapevolezza dell’importanza delle procedure di sicurezza come atteggiamento di attenzione, cura e rispetto del lavoro di preparazione all’esperimento; la capacità di scrivere articoli scientifici che presentino i processi e i risultati di un esperimento in laboratorio. L’articolo secondo gli studenti è stato un forte stimolo perché l’esperimento andasse a buon fine.

I docenti prevedono alcune difficoltà nel raggiungere gli apprendimenti ipotizzati, in particolare nella comprensione del funzionamento dell’apparato sperimentale per mancanza di conoscenza degli strumenti a disposizione; nel raggiungimento di un livello di comprensione concettuale profondo per l’incapacità di riconoscimento della teoria quantistica nel fenomeno rilevato dall’esperimento, dato che la teoria è contro intuitiva rispetto al senso comune ed è probabilistica, infine per la diversità degli stili di apprendimento, che non corrispondono sempre alle modalità di insegnamento e la mancanza di tempo nel curriculum da dedicare allo studio individuale. Tali difficoltà non sono emerse nelle idee degli studenti che rilevano come punto di maggiore criticità la mancanza di tempo per implementare in maniera approfondita ogni singola attività. La criticità rilevata anche dai docenti è la mancanza di tempo sufficiente per la realizzazione delle diverse attività in relazione agli obiettivi:

- “...dal mio punto di vista sarebbe meglio lavorare due settimane su un *topic*, per scrivere poi il *paper*, invece di lavorare su due *topics* diversi, uno ogni settimana.”

2.3 Il confronto tra “concept” e metodologie didattiche: ossia come il metodo formativo ha saputo tradurre l’approccio di Stella School. Veniamo ora alle scelte di trasposizione didattica dei ricercatori/formatori riguardo agli esperimenti da proporre e alle metodologie di conduzione. La scelta di test paradigmatici per le informazioni quantistiche è focalizzata sul concetto di fotone e sulla rilevazione del fenomeno di *entanglement*:

- “Noi vediamo l’*entanglement* .... Arriva un fascio laser, una sorgente di coppie di fotoni, un fascio laser è fatto di tantissimi fotoni, che sono le particelle della luce, fascio molto intenso, incide su un cristallo, nel cristallo alcuni di questi quanti di luce si dividono in due, cioè c’è un fotone che si splitta in due, una particella che dà due particelle e queste due particelle si comportano come se fossero una cosa unica, quindi questi 2 fotoni sono detti fotoni gemelli. (...) La difficoltà tecnica particolare di fare esperimenti di ottica quantistica è che sono esperimenti in cui si va a guardare la singola particella della luce (...) e quindi prendere due

fotoni e studiarne le proprietà quantistiche è estremamente difficile. Cioè è un esperimento che una volta montato è semplice, ma riuscire a vedere il fenomeno è molto complicato, se uno sa dove andare a cercarlo...È un esperimento molto complesso da preparare, si può molto facilmente perdere tutto. Poi abbiamo pensato di fare l'esperimento a varie condizioni, secondo vari parametri. Abbiamo puntato a una condizione in cui la qualità di quello che facciamo non sarà ottima, ma questo lo renderà più robusto rispetto ad eventuali imperfezioni. Uno può decidere di avere una cosa in cui le prestazioni sono molto superiori, ma che la rende più critica, qui abbiamo scelto una condizione in cui loro potevano lavorare, non al top, ma anche in condizioni non ideali. Ci siamo messi un entry level..."

L'esperimento portato a STELLA School è stato collaudato nel laboratorio di ricerca di Roma che in questi ultimi anni è oggetto di ricerca anche per studenti e dottorandi. Un passaggio essenziale per il trasferimento dell'esperimento nella sede di STELLA School è il collaudo, la rintracciabilità dei riferimenti e una strategia di uscita in caso di errori macroscopici da parte degli studenti.

Il docente è una figura di garanzia che assicura che se le cose non funzionano e gli studenti non correggono, interviene spiegando e mostrando come fare. Il docente guida i diversi passaggi, mostra come si fa, mostra l'esito delle azioni sugli strumenti, orienta l'osservazione, verifica che gli strumenti funzionino come devono, sollecita la formulazione di previsioni, l'interpretazione dei risultati e la verifica dei modelli previsti. In laboratorio si alternano momenti di spiegazione a momenti di dialogo con gli studenti, all'osservazione, alla presa delle misure, all'interpretazione delle stesse. In alcuni momenti i 4 studenti lavoreranno sugli stessi oggetti, altre volte si divideranno i compiti in modo che ognuno abbia la possibilità di seguire e osservare tutti i passaggi.

Si possono individuare le fasi del percorso didattico:

- conoscenza delle procedure per la sicurezza nel laboratorio;
- verifica del background teorico e sperimentale degli studenti;
- conoscenza, comprensione e abilità nell'uso degli strumenti del tavolo ottico e dell'intero apparato sperimentale. Gli studenti dovranno prima di tutto capire con che tipo di macchina e di sistema fisico hanno a che fare per poi poterlo padroneggiare e controllare;
- allineamento, osservazione, presa delle misure, verifica della correttezza del modello. A seconda della familiarità con teorie e strumenti gli studenti potranno direttamente sperimentare;
- documentazione dei risultati, preparazione slides di presentazione dell'esperimento, scrittura collettiva per l'articolo.

Nella comparazione con la riflessione degli studenti sulle metodologie utilizzate dai docenti emerge un evidente accordo e la sostanziale individuazione delle fasi e dei processi attivati. In generale gli studenti hanno una percezione di qualità e completezza dell'esperimento sia nella preparazione che nella conduzione. L'impressione è che i docenti sapessero già quale sarebbe stato il processo per ottenere risultati migliori, nonostante la sorgente luminosa fosse un'innovazione tecnologica.

- "Tutto era abbastanza predefinito per imparare in profondità le basi di questo esperimento (...) dopo abbiamo iniziato a preparare il set up dell'esperimento, sicuramente non tutto era stato predisposto molto bene, e abbiamo pianificato il tutto di nuovo migliorando i parametri, una parte di noi operava su questi dati e un'altra faceva il set up. Questo è stato il processo per, come dire, avvicinarci a entrambe le parti: la parte sperimentale e teorica, e dopo ogni step abbiamo discusso di cosa avevamo fatto, di cosa avremmo dovuto fare dopo".

Gli studenti in accordo con i docenti dichiarano che l'obiettivo del laboratorio non è soltanto il risultato, ma soprattutto il metodo: dopo la parte sperimentale ci sono discussioni su ciò che sta succedendo, sui fenomeni tipici, sulla strumentazione e sulle misurazioni. Nel piccolo gruppo il conduttore sostiene la formulazione di previsioni da parte degli studenti, che poi verranno verificate tornando in laboratorio. Questo andare e venire dalle ipotesi alla loro verifica e viceversa, che costituisce il cuore del metodo scientifico, si dimostra fondamentale in ogni apprendimento di tipo esperienziale. Gli studenti sostengono inoltre di essere stati supportati singolarmente nella comprensione delle varie fasi dell'esperimento, che la conduzione fosse modulata in base ai diversi livelli di competenza, e nello stesso tempo che la condivisione fra i partecipanti fosse privilegiata rispetto alla competizione, le discussioni nel gruppo sono ritenute fondamentali per la comprensione dei fenomeni e della teoria.

- “Il conduttore ha trovato il modo di raggiungere ognuno di noi, perché puoi vedere che i livelli degli studenti sono molto diversi”.
- “La teoria quantistica è molto diversa dalla classica è necessario dare agli studenti qualche integrazione alla teoria, il set up era già costruito perchè era davvero un'apparecchiatura sofisticata e non saremmo stati in grado di costruirlo in 4 giorni, nemmeno in mesi magari... il conduttore diceva cosa stava succedendo cosa si doveva fare per ottenere qualche risultato, tu hai bisogno delle discussioni per far sì che la tua mente capisca che sei in un campo differente, ed è ciò io credo che ha reso questo esperimento e questo corso totalmente differenti dagli altri”.

2.4. La corrispondenza tra ricerca e formazione. L'uso di laboratori sperimentali a scopo didattico, quarto concetto chiave della filosofia della scuola, viene discusso in modo critico da docenti e studenti. Qui si rileva un disaccordo rispetto alle ipotesi dello Staff.

- “Sono strettamente legate ... la ricerca aiuta la didattica e la didattica aiuta la ricerca... se fai didattica ma non fai ricerca rimani indietro, insegni cose vecchie, mentre se fai ricerca e non fai didattica, ti perdi un modo di sapere spiegare le cose agli altri, di comunicarle, quindi la tua ricerca rimane un po' fine a se stessa. Ma per quanto mi riguarda sono processi separati”

Nel laboratorio didattico, si sfida la teoria, ma gli esperimenti funzionano, tutto è prestabilito e testato, non si originano nuove scoperte, l'innovazione del laboratorio esaminato consiste nell'uso di un nuovo laser per rilevare determinati fenomeni noti. In genere un laboratorio di ricerca si rivolge ad un utente esperto, possono esserci gli stessi strumenti, ma vengono presentati in un modo più tecnico, meno accessibile. Anche gli articoli che verranno realizzati saranno puntuali in quanto a metodo e rigore nella presentazione dei dati, nella descrizione dell'esperimento e nella discussione dei risultati, più che presentare novità e scoperte concettuali di rilievo.

- “Loro faranno un esperimento in cui dovrebbero riuscire a capire tutto quello che fanno dovrebbero alla fine avere una comprensione completa, questo è l'obiettivo”.
- “La teoria della meccanica quantistica è oggi una teoria assolutamente decodificata, ormai sono 100 anni, in 100 anni tutte le previsioni sono state verificate. La teoria ormai è standard, fino a quando non vediamo effetti diversi, la teoria è quella. Infatti oggi la meccanica quan-

tistica non viene più testata, ma viene usata come strumento per le applicazioni”.

- “Non saranno articoli in cui misureranno cose che nessun altro ha mai misurato, però sono articoli scientifici tout court perché sono fatti con rigore, è la descrizione di una misura, che non è originale perché è una misura che hanno fatto anche altri, però è una misura dei parametri fisici delle disuguaglianze di Bell fatta di tutto punto.”

Anche dal punto di vista degli studenti nel laboratorio didattico, si “sfida” la teoria, ma gli esperimenti funzionano, tutto è prestabilito e testato, non si originano nuove scoperte.

Un laboratorio per apprendere o per fare ricerca? Qualche studente critica in modo netto il presupposto di non distinzione tra ricerca e formazione:

- “Non sono sicuro dello scopo di questo corso, potrebbe essere imparare, insegnare... , ma se lo scopo è raggiungere nuovi risultati, nuovi scientificamente parlando, beh mi spiace, per questo non è abbastanza” “penso che dovrebbero dividere, chi lavora sui nuovi risultati dovrebbe lavorare due settimane, tre settimane, 4 settimane per fare l’esperimento e così potremmo ottenere i risultati, forse, raggiungere nuovi risultati. O se vogliamo imparare qualcosa in più, nuove tecniche, allora non dovremmo fare cose di così alto livello per raggiungere risultati nuovi, potremmo scrivere qualcosa ma non un *paper* scientifico, non nel vero senso della parola, cioè una specie di *paper* scientifico, ma non uno vero... per imparare come scriverlo...”.

## Conclusioni

Si evidenzia un sostanziale accordo tra Staff, docenti e studenti rispetto agli obiettivi d’apprendimento auspicati e quelli raggiunti ed emerge coerenza tra i processi formativi attivati, gli obiettivi e le metodologie. Nel confronto tra le interviste ai docenti e agli studenti emerge come dato da segnalare che i docenti hanno previsto la possibilità di modificare l’esperimento a seconda dell’interpretazione dei docenti sulle conoscenze e competenze degli studenti. L’obiettivo infatti non è tanto il raggiungimento del risultato “inedito” quanto rendere accessibile agli studenti il “metter mano” al tavolo ottico. Le note critiche emergono da un solo gruppo costituito da pochi studenti più esperti che obiettano l’eccesso di “didatticità” del laboratorio, poco innovativo e semplificato per le loro competenze. Se la disomogeneità, in termini di conoscenze e competenze è un valore in termini di possibilità di scambio e confronto, allo stesso tempo è un limite per chi conduce il laboratorio. La proposta didattica deve essere sufficientemente “sfidante” per i soggetti in formazione, ma non troppo complessa da essere percepita come inaccessibile. Inoltre nella progettazione della scuola va considerata e fatta emergere la gestione delle interazioni relazionali all’interno del gruppo da parte del conduttore. Più in generale, sembra essere cruciale la modalità con cui i docenti conducono il laboratorio, sia per quanto riguarda la gestione delle relazioni, sia per quanto riguarda l’integrazione fra valenza didattica dei laboratori e finalità di ricerca scientifica.

Le criticità segnalate e i disaccordi aprono importanti questioni sul rapporto tra ricerca e formazione attraverso i laboratori, temi che accenniamo brevemente e che potrebbero tracciare nuove prospettive di studio e di riprogettazione del curriculum: è possibile predisporre set up o dispositivi di ricerca-formazione che permettano agli studenti di essere più attivi nel “manipolare” gli oggetti, più “sperimentatori” effettivi più che esecutori supportati

dal tutoraggio di ricercatori più esperti, e in questa direzione, quali semplificazioni ha senso progettare? E ancora è possibile migliorare le condizioni didattiche perchè il *paper* costituisca effettivamente e diffusamente una leva per imparare sia modalità di scrittura di un articolo, sia concetti e metodologie coinvolti nel processo di ricerca?

In conclusione il laboratorio si conferma come contesto d'apprendimento metodologico e metacognitivo, e, più che realizzare scoperte profondamente innovative, per quanto elevata possa essere la complessità degli apparati e i set up degli esperimenti messi a punto, in presenza delle condizioni descritte ha buone probabilità di formare giovani scienziati alla ricerca sperimentale.

## Riferimenti bibliografici

- Aczel A.D. (2004). *Entanglement. Il più grande mistero della fisica*. Milano: Raffaello Cortina.
- Favale F., Zecca L., Nigris E., Bondani M. (2011). Stella for training in experiments with laser and laser applications. Short-term evaluation by quantitative methods. *The European Physical Journal Special Topics*, 199, 195-212.
- Atlet M. (2003). *La ricerca sulle pratiche di insegnamento*. Brescia: La Scuola.
- Barron B., Darling-Hammond L. (2010). Prospect and challenges for inquiry-based approaches to learning. In H. Dumont, D. Istance, F. Benavides (Eds.), *The nature of learning* (pp. 199-225). Paris: OECD.
- Caronia L. (1997). *Costruire la conoscenza*. Firenze: La Nuova Italia.
- Chevallard Y. (1985). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Doise W., Mugny G. (1982). *La costruzione sociale dell'intelligenza*. Bologna: Il Mulino.
- Glaser B. G., Strauss A. L. (1967). *The discovery of the grounded theory: strategies for qualitative research*. New York: Aldine de Gruyter.
- Kaniza S. (1998). L'intervista nella ricerca educativa. In S. Mantovani (Ed.), *La ricerca sul campo in educazione. I metodi qualitativi* (pp. 36-81). Milano: Bruno Mondadori.
- Mezirow J. (2003). *Apprendimento e trasformazione*. Milano: Raffaello Cortina.
- Morin E. (2000). *La testa ben fatta*. Milano: Raffaello Cortina.
- Rossi P.G., Toppano E. (2009). *Progettare nella società della conoscenza*. Roma: Carocci.