

# Un approccio inquiry-based allo svolgimento di un laboratorio didattico nel corso di laurea in scienze della formazione primaria

Claudio Fazio, Onofrio R. Battaglia, Giuliana Croce, Dominique Persano-Adorno

• Dipartimento di Fisica e Chimica, Università degli Studi di Palermo, Italia

Benedetto Di Paola • Dipartimento di Matematica e Informatica, Università degli Studi di Palermo, Italia

## An Inquiry-Based Approach to a Pedagogical Laboratory for Primary School Teacher Education

In questo articolo vengono presentati e discussi alcuni risultati relativi alla sperimentazione di due esperienze di didattica laboratoriale della fisica, una basata su metodi di indagine scientifica e l'altra su metodologie didattiche più "tradizionali", svolte durante l'A.A. 2014-15 con studenti del CdL in Scienze della Formazione Primaria dell'Università di Palermo. I dati, analizzati tramite metodi quantitativi, sono stati ricavati dalla somministrazione prima, durante e dopo le attività laboratoriali, di un questionario finalizzato a comprendere gli stili di insegnamento preferiti dagli studenti, la motivazione di questi all'apprendimento/insegnamento delle scienze e le loro idee sulle difficoltà che un insegnante di scuola primaria/dell'infanzia incontra nel progettare e sperimentare in classe attività didattiche di tipo scientifico. Dopo una breve descrizione dei metodi di analisi utilizzati, i risultati della sperimentazione vengono discussi e commentati.

**Parole chiave:** Inquiry-Based Science Education. Indagine e scoperta scientifica. Didattica delle discipline scientifiche. Cluster Analysis. Analisi quantitativa.

In this paper we discuss some results of the trial of two pedagogical physics workshops, held during the academic year 2014-15 with students of the Undergraduate Program for Elementary/ Kindergarten Teacher Education at the University of Palermo. One of the workshops was Inquiry Based, while the other was performed by using "traditional" teaching methods. The data, analyzed by using quantitative methods, were obtained by the administration before, during and after the workshop activities of a questionnaire aimed at understanding what are the teaching styles preferred by students, the student motivation in learning and teaching science, and their ideas about the difficulties a teacher meets when designing and trialing with real pupils science-based pedagogical activities. After a short description of the analysis methods we used in our study, the results of the trial are discussed and commented.

**Keywords:** Inquiry-Based Science Education. Science Education. Cluster Analysis. Quantitative analysis.

191

Riflessione epistemologica e costruzione dei saperi

# Un approccio inquiry-based allo svolgimento di un laboratorio didattico nel corso di laurea in scienze della formazione primaria

## Introduzione

Negli ultimi anni molti risultati di progetti di ricerca nazionali e internazionali e rapporti scientifici della Commissione Europea (Rocard et al., 2007) e di altre organizzazioni (AAAS, 1993; NRC, 2011-2012) hanno messo in evidenza come le spesso inadeguate performance di apprendimento delle discipline scientifiche evidenziate dagli studenti delle scuole di ogni ordine e grado dei paesi più sviluppati possano anche essere dovute alle modalità di insegnamento di tali discipline. Esse, infatti, sono spesso basate su approcci didattici di tipo “tradizionale”, orientati alla mera trasmissione di contenuti pre-determinati e già formalizzati, senza alcun riferimento a situazioni di vita comune e alla conoscenza pregressa che gli studenti stessi già possiedono come risultato delle suddette situazioni.

In effetti, in Italia come in molti altri Paesi, l’insegnamento scientifico è tradizionalmente basato su attività didattiche nelle quali il docente spesso gioca il ruolo di esclusivo fornitore di una conoscenza quasi sempre limitata alla descrizione di risultati, presentati come “veri” e rigorosi, in quanto ottenuti tramite “il metodo scientifico”. Gli allievi assumono in tale contesto un ruolo passivo rispetto al proprio apprendimento e raramente vengono messi in condizioni di seguire realmente le procedure proprie dei metodi scientifici, tra le quali possiamo citare il porsi domande su situazioni osservate nella vita reale, raccogliere informazioni da varie fonti, programmare una riproduzione controllata delle situazioni di interesse sulla base delle domande poste (esperimento), raccogliere dati e analizzarli sulla base di modelli descrittivi ed esplicativi individuati o proposti dagli studenti stessi, criticare tali modelli e, infine, condividere e criticare i risultati in un contesto tra pari.

I rapporti scientifici citati in precedenza mettono anche in evidenza che una didattica scolastica delle discipline scientifiche basata sullo sviluppo di processi di indagine e scoperta scientifica (Inquiry-Based Science Education, IBSE) può essere considerata un modo di migliorare la comprensione della Scienza e dei suoi metodi di lavoro e invertire il declino nell’interesse che gli studenti della maggior parte dei paesi sviluppati mostrano rispetto allo studio delle suddette discipline. In effetti, molti risultati di ricerca mostrano che un ambiente di apprendimento basato sull’indagine e la scoperta scientifica è da considerare oggi un efficace piano di riferimento sulla base del quale sviluppare opportunità di apprendimento della Scienza in termini di costruzione attiva di conoscenze autentiche e significative per il discente (Llewellyn, 2002; Katehi et al., 2009; Bolte et al., 2012).

Anche le Indicazioni Nazionali per il Curricolo della Scuola Italiana recepiscono chiaramente le suddette considerazioni e mettono in evidenza l’importanza di uno stile di insegnamento comune a tutte le discipline che coinvolga lo studente in attività legate alla scoperta e interpretazione in termini scientifici di esperienza di vita reale e che lo possa rendere costruttore attivo della propria conoscenza. Tuttavia, la ricerca in didattica ha messo in evidenza come i docenti spesso “portino” nella propria prassi didattica i metodi didattici che loro stessi



hanno sperimentato come studenti. Ciò implica che i programmi di formazione degli insegnanti, come quelli tipici dei Corsi di Laurea in Scienze della Formazione Primaria, debbano essere ripensati mettendo in condizione i docenti in formazione di confrontarsi con ambienti di progettazione didattica, come quelli Inquiry-Based (IB), esplicitamente finalizzati alla costruzione attiva della conoscenza scientifica. In tali ambienti, le metodologie didattiche già apprese durante i corsi teorici di ambito pedagogico e didattico devono essere effettivamente utilizzate nello specifico contesto scientifico, allo scopo di promuovere la “ricostruzione educativa” dei contenuti scientifici da insegnare (Duit et al., 2012). Inoltre, i docenti in formazione devono essere esplicitamente invitati a mettere alla prova, ed eventualmente migliorare, la propria conoscenza scientifica sperimentando loro stessi i percorsi didattici progettati e condividendo, discutendo e poi portando in classe e, possibilmente, in esibizioni scientifiche le attività progettate. Ciò può favorire l’attivazione nei docenti in formazione di processi metacognitivi e, in ultima analisi, avviare la costruzione di ciò che è ben noto come “conoscenza didattica del contenuto” (Pedagogical Content Knowledge, Shulman 1986a, 1986b e 1987), che può essere, sommariamente, descritta come la capacità del docente di trasmettere le parti più rilevanti di un dato contenuto in modo chiaro, accattivante e accessibile ai propri studenti (Zeidler, 2002).

In questo articolo presentiamo brevemente due esperienze di didattica laboratoriale della fisica, svolte in successione durante l’A.A. 2014-15 con studenti del quarto anno del CdL in Scienze della Formazione Primaria dell’Università di Palermo, una basata su metodologie “tradizionali”, comuni nei Laboratori Didattici del Corso di Studi da loro frequentato e un’altra esplicitamente Inquiry-Based (IB). Discuteremo, quindi, i risultati di una analisi quantitativa delle risposte date dagli studenti ad un questionario. Esso, basato su altri questionari utilizzati in progetti del Settimo Programma Quadro (FP7) finanziato dalla EU e adattato al contesto specifico della ricerca, è stato somministrato agli studenti prima, durante e dopo lo svolgimento delle due esperienze di didattica laboratoriale. Il suo scopo è stato quello di verificare gli effetti che le due diverse modalità di svolgimento dei laboratori didattici possono avere sulle preferenze espresse dagli studenti in relazione al modo di insegnare le scienze ai bambini, sulle loro idee relative alle difficoltà che un insegnante di scuola primaria/dell’infanzia incontra nel progettare e sperimentare in classe attività didattiche di tipo scientifico e, più in generale, sulla motivazione stessa degli studenti all’apprendimento/insegnamento delle scienze.



## 1. La didattica Inquiry-Based e la necessità di una adeguata formazione degli insegnanti

Nella letteratura scientifica è facile verificare come l’Inquiry-Based Science Education sia oggi ampiamente considerata una delle tematiche di riferimento nei progetti di riforma della didattica delle discipline scientifiche. Svariati progetti FP7 nel campo delle Scienze e della Matematica<sup>1</sup> hanno promosso lo sviluppo

1 PROFILES (<http://www.profiles-project.eu/>); PATHWAY (<http://www.pathway-project.eu/>); PRIMAS (<http://www.primas-project.eu/>); FIBONACCI (<http://www.fibonacci-project.eu/>); ESTABLISH (<http://www.establish-fp7.eu/>); SAILS (<http://www.sails-project.eu/>), IRRESISTIBLE (<http://www.irresistible-project.eu/index.php/en/>).

e la sperimentazione di metodi didattici IB e continuano a farlo tuttora, supportando l'effettiva implementazione delle pratiche didattiche basate sull'indagine scientifica tramite lo sviluppo parallelo dei contenuti scientifici e dei processi di costruzione attiva della conoscenza da parte dei discenti tramite metodologie didattiche innovative (Bolte et al., 2012).

Le strategie tipiche degli approcci IB sono fondate sulla considerazione, ben nota in didattica, che gli studenti debbano essere considerati elementi attivi nella costruzione della propria conoscenza scientifica. Questa deve essere ottenuta tramite una continua interazione tra i fenomeni naturali, le modalità di rappresentazione e interpretazione di questi e una comunità scientifica di riferimento, che può anche essere la classe stessa. Negli approcci di apprendimento IB gli studenti sono attivamente impegnati nell'identificazione di domande scientificamente significative, nella pianificazione di indagini da svolgere in riferimento alle domande, nella raccolta di dati ed evidenze sperimentali e nella costruzione di modelli descrittivi e interpretativi, nel condividere i propri risultati e nel rispondere a nuove domande che eventualmente possano emergere. A seconda della quantità di informazioni e di supporto fornito dal docente, è possibile individuare modalità diverse di Inquiry (Schwab, 1962; Herron, 1971; Banchi, Bell, 2008)). Nel cosiddetto "Inquiry strutturato", le domande e le procedure di lavoro sono suggerite dal docente e gli studenti devono fornire le proprie risposte e spiegazioni, sulla base dei dati da loro stessi raccolti; nel "Inquiry guidato" il docente pone agli studenti le domande da affrontare e gli studenti sono chiamati a progettare le procedure di raccolta e analisi dati e a fornire le risposte alle domande, sempre sulla base dei dati raccolti; nell' "Inquiry aperto", infine, il docente introduce e definisce il contesto all'interno del quale gli studenti porranno le proprie domande, progetteranno e svolgeranno le loro indagini, costruiranno descrizioni e spiegazioni coerenti con quanto osservato e condivideranno i risultati con i compagni e con il docente stesso. Quest'ultimo livello di Inquiry è, evidentemente, il più complesso e richiede certamente, da parte degli studenti, una pregressa esperienza nei precedenti livelli. Nella letteratura scientifica è possibile anche rintracciare dei modelli di "sequenziamento" delle attività di apprendimento tipiche dell'IBSE, come il famoso modello delle "5E", originariamente introdotto, nel 1993, da Bybee. In sostanza, vengono evidenziate cinque fasi dell'apprendimento IB, che possono essere descritte come segue:

- nella fase "Engage" il docente (e/o gli studenti, a seconda del tipo di attività IB) impostano l'ambiente di apprendimento, in modo da favorire il più possibile l'interesse degli studenti e generare curiosità e interesse sull'argomento che sarà oggetto di studio;
- "Explore" è l'inizio del vero coinvolgimento degli studenti nell'attività IB. Questi cercano informazioni, eventualmente (e auspicabilmente...) si pongono domande, sviluppano ipotesi da sottoporre a verifica, raccolgono dati;
- la fase "Explain" è quella durante la quale gli studenti costruiscono modelli (descrittivi o esplicativi), discutono i risultati tra di loro e con il docente e imparano a comunicare ciò che hanno imparato;
- "Extend" è il momento nel quale gli studenti arricchiscono i concetti e le idee che hanno sviluppato in precedenza, costruiscono relazioni con altri concetti e idee attinenti ai primi e cercano di applicare la loro comprensione a fenomeni diversi, generalizzando la loro comprensione;
- durante la fase "Evaluate", che, a dispetto della sua posizione alla fine della lista delle "5E", deve essere effettuata durante tutto il corso dell'attività IB,



studenti e docente svolgono una attività di valutazione del proprio operato. Lo sviluppo di quest'ultima fase implica la capacità da parte degli studenti di analizzare, giudicare e valutare il proprio operato, anche confrontandolo con ciò che è stato svolto dai compagni. Quest'ultima fase è quella che permette al docente di determinare l'effettiva efficacia dell'attività IB nella costruzione di una conoscenza "significativa" per gli studenti.

D'altro canto, la ricerca in didattica ha mostrato come, in molti casi, il significato di IBSE non sia del tutto chiaro neanche a docenti di provata esperienza, che dovrebbero essere chiamati, secondo le Indicazioni Nazionali, ad implementare le metodiche basate sull'indagine scientifica nella loro pratica didattica (vedere le Indicazioni Nazionali e anche NRC, 2000). Ad esempio, è facile sentir dire che "l'IBSE è, meramente, l'applicazione del metodo scientifico alla didattica". Molti docenti hanno imparato, nei loro studi universitari, che l'indagine scientifica si riduce ad una applicazione quasi "meccanica" di un numero ben definito di "passi" da seguire per giungere invariabilmente alla descrizione e spiegazione di un fenomeno osservato. L'idea che la scienza e, peggio, il suo apprendimento, possano essere ridotti ad una semplice e lineare procedura passo-passo non tiene, però, conto di altri aspetti tipici dell'indagine scientifica, come l'influenza della creatività del ricercatore, fondamentale nel processo di costruzione del sapere e la centralità della condivisione, in una comunità di pari, dei risultati ottenuti. Inoltre, l'IBSE pone degli obiettivi ambiziosi agli studenti e, di conseguenza, rende il ruolo dell'insegnante se possibile ancora più arduo (Marx et al., 1997; Roehrig et al., 2004). Molti insegnanti si sono formati seguendo corsi universitari basati su forme di didattica tradizionale meramente rivolte alla trasmissione di contenuti disciplinari (Windschitl, 2003). Ricerche specificatamente finalizzate all'implementazione di approcci didattici IB mostrano che, spesso, i docenti, e a maggior ragione quelli in formazione, non riescono compiutamente a passare da una didattica di tipo trasmissivo a quella di tipo IB se una didattica di tale tipo viene loro semplicemente descritta (Pintò, 2004) e hanno, invece, bisogno di una sostanziale attività di formazione basata su nuovi modelli teorici di riferimento. Tra questi possiamo citare modelli che sottolineino l'utilità di una costruzione condivisa della conoscenza, della sua ulteriore condivisione in contesti diversi, della riflessione sullo sviluppo di nuove pratiche didattiche e sul conseguente sviluppo di materiali di supporto per gli studenti. Tali modelli richiedono una accurata progettazione delle attività di formazione, durante le quali i ruoli dei differenti materiali, i nodi concettuali della disciplina, i problemi che sorgono con l'introduzione di nuovi metodi didattici e il ruolo dei docenti stessi nel processo di apprendimento sono discussi e messi in chiaro.



## 2. La ricerca

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, la ricerca da noi sviluppata si è orientata sull'analisi delle idee dei docenti in formazione di Scuola Primaria e dell'Infanzia sull'insegnamento delle discipline scientifiche, anche in relazione alle proprie abilità e/o difficoltà percepite, e sulla verifica di come la frequenza di un laboratorio didattico esplicitamente orientato allo sviluppo e implementazione di metodologie IB e alla condivisione dei risultati anche in attività di esibizione scientifica possa modificare tali idee. Essa è stata svolta durante l'Anno

Accademico 2014-15 presso il Corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria (SFP) dell'Università di Palermo, coinvolgendo circa 200 studenti, principalmente di sesso femminile, del quarto anno del Corso di Laurea, che seguivano il corso di Fisica per la Scuola Primaria e dell'Infanzia tenuto da uno degli autori.

I passi seguiti durante la ricerca sono stati i seguenti:

- somministrazione agli studenti di un questionario atto a studiare le idee degli studenti in relazione all'insegnamento delle discipline scientifiche nella Scuola Primaria e dell'Infanzia come pre-test. Tale questionario è stato basato su domande presenti nei questionari validati e utilizzati in uno dei Progetti FP7 precedentemente citati (il progetto ESTABLISH) e modificate, con opportune nuove validazioni di contenuto (Lawshe, 1975; Goldstein, 2013) e di fattibilità (Anastasi, 1988; Weiner, Craighead, 2010), per adattare al contesto della specifica ricerca svolta;
- svolgimento di un Laboratorio Didattico "tradizionale", basato sull'analisi delle Indicazioni Nazionali e sull'applicazione dei concetti appresi durante i corsi di base alla progettazione di percorsi didattici per bambini di Scuola Primaria e dell'Infanzia. Aspetto fondamentale del Laboratorio è stata la richiesta di lavorare in gruppo e di produrre materiali di lavoro basati su metodologie didattiche apprese durante i corsi precedentemente frequentati;
- ri-somministrazione del questionario;
- svolgimento di un Laboratorio Didattico basato su un approccio IB e sulla condivisione dei risultati e progettazione e svolgimento di una esibizione scientifica dedicata a bambini di Scuola Primaria;
- somministrazione finale del questionario.



I dati raccolti tramite la somministrazione ripetuta del questionario sono stati integrati da interviste mirate agli studenti prima, durante e alla fine delle attività didattiche e dall'analisi dei lavori prodotti dagli studenti. In questo articolo discuteremo, per ragioni di spazio, soltanto i risultati dell'analisi quantitativa delle risposte date dagli studenti ai questionari e riporteremo solo alcuni risultati preliminari dell'analisi qualitativa degli altri dati. La metodologia di analisi quantitativa seguita si è conformata a quella della cosiddetta "analisi di cluster" (Cluster Analysis, Everit, 2011), ben nota per la possibilità offerta al ricercatore di individuare sottoinsiemi, o "cluster", del campione di lavoro che hanno la tendenza ad essere internamente omogenei e a mettere in evidenza specifiche caratteristiche degli elementi dei cluster che possono essere di interesse per la ricerca. Alcuni dettagli sulla suddetta metodologia e specifici riferimenti bibliografici saranno dati più avanti.

Le attività del Laboratorio Didattico di tipo "tradizionale" sono state svolte durante quattro incontri, ciascuno di quattro ore. I circa duecento studenti che frequentavano il corso di Fisica per la Scuola Primaria e dell'Infanzia sono stati divisi in otto gruppi da venticinque persone, ciascuno coordinato da un insegnante esperto di Scuola primaria, supervisore al tirocinio del Corso di Laurea. Durante il primo dei suddetti incontri, gli studenti hanno partecipato ad un Focus Group, per studiare le loro idee su come dovrebbe essere organizzato un laboratorio didattico e hanno analizzato nel dettaglio le Indicazioni Nazionali per la Scuola Primaria e dell'Infanzia. Durante il secondo incontro, agli studenti è stato proposto di progettare dei percorsi didattici su contenuti scientifici, il più possibile attinenti a contenuti "fisici", sulla base delle conoscenze e delle meto-

diche didattiche alle quali essi erano stati esposti durante la loro carriera scolastica e, in particolare, universitaria. Ciò implicava anche la messa in pratica dei metodi didattici appresi durante i corsi universitari di base ai contenuti delle discipline scientifiche, senza però nessun esplicito riferimento ad una effettiva ricostruzione educativa di tali contenuti. Il terzo incontro è stato speso dagli studenti nella preparazione di mappe concettuali, poster e altri strumenti didattici relativi allo svolgimento dei percorsi selezionati e il quarto è stato impegnato nella presentazione dei suddetti percorsi agli insegnanti esperti e nella discussione con i colleghi.

Il Laboratorio didattico di tipo IB, di tipo facoltativo, ma la cui frequenza è stata consigliata agli studenti, è stato svolto circa due mesi dopo la fine di quello tradizionale. Esso è stato strutturato in quattro incontri, ciascuno di quattro ore, ai quali hanno partecipato 161 dei 200 studenti coinvolti nel primo laboratorio. Sulla base dell'introduzione generale agli approcci didattici IB, svolta dal docente del corso durante le attività curricolari del Corso di Fisica per la Scuola Primaria e dell'Infanzia, gli studenti hanno progettato delle attività didattiche focalizzate sull'indagine e la scoperta scientifica, pianificato e svolto personalmente i semplici esperimenti che le loro attività didattiche prevedevano, cercando di analizzare e "utilizzare" le loro stesse difficoltà di svolgimento degli esperimenti e di apprendimento per costruire attività realmente centrate sui bambini e su un apprendimento attivo e focalizzato su nodi concettuali dell'argomento scelto. Il docente ha messo a disposizione 36 kit sperimentali per i gruppi di studenti che sono stati formati. Ogni kit era composto da materiale "povero" e di facile reperibilità, con una spesa totale di un paio di centinaia di euro. La fase di progettazione e svolgimento delle esperienze scientifiche si è rivelata molto stimolante per gli studenti, che in molti casi non avevano mai lavorato alla effettiva costruzione di esperimenti scientifici e alla interpretazione dei relativi risultati. È da notare che tutte le attività sono state svolte, per motivi di capienza, in una grande aula del Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università di Palermo e non in un vero e proprio laboratorio.

Il docente ha fornito agli studenti un "quaderno di laboratorio", contenente domande e suggerimenti atti a favorire il pieno sviluppo didattico delle "5E" dell'approccio IBSE.

Durante le attività, gli studenti hanno svolto esperienze semplici, ma accattivanti per loro stessi e per i loro futuri studenti e hanno utilizzato i risultati per costruire le progettazioni didattiche. Hanno, quindi, pianificato la realizzazione di una esibizione di quattro giornate durante la quale loro stessi sarebbero stati i promotori dello svolgimento delle esperienze da parte di bambini di Scuola Primaria appositamente invitati all'evento. Tale esibizione è stata, poi svolta nel mese di giugno 2015 nel Laboratorio di Tecnologie Informatiche per la Didattica della Fisica del Dipartimento e ha visto la partecipazione di circa 400 bambini, accompagnati dai loro docenti e da molti genitori.





Figura 1. bambini di Scuola Primaria che sperimentano la pressione dell'acqua durante una l'esibizione scientifica svolto dopo il Laboratorio IB

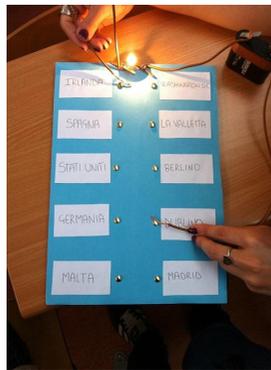


Figura 2. Un semplice circuito elettrico costruito dagli studenti

### 3. Metodologia di analisi quantitativa dei dati

L'analisi di cluster (CIA), introdotta in Psicologia da R.C. Tyron nel 1939 (Tryon, 1939), è stata oggetto di studio e ricerca fin dagli inizi degli anni '60 del secolo scorso e l'inizio del suo uso sistematico in psicologia e sociometria può essere fatto risalire al 1963, ad opera di Sokal e Sneath. L'applicazione di tecniche di analisi legate alla CIA è comune in diversi campi, quali l'informatica, la biologia, la medicina, l'archeologia, l'econofisica e l'analisi dei mercati finanziari (Ott, 1999; Goldstein, 2013; Mantegna, 1999; Cowgill et al., 1999). Tali tecniche permettono al ricercatore di individuare sottoinsiemi, o "cluster", del campione di lavoro che hanno la tendenza ad essere omogenei secondo criteri pre-definiti. Il risultato dell'analisi mostra, in particolare, un'alta omogeneità all'interno di ogni cluster e una eterogeneità tra i vari cluster.

Le tecniche di CIA (Everitt et al., 2011) sono di tipo esplorativo e poco influenzabili da eventuali assunzioni a-priori dei ricercatori (Sathya & Abraham, 2013). La scelta dei criteri di similarità tra i dati, quella delle tecniche di clustering, l'individuazione del numero ottimale di clustering e l'interpretazione dei risultati sono, però particolarmente importanti. Recentemente alcuni studi relativi all'uso della CIA nella ricerca in didattica della fisica sono stati posti al-

l'attenzione della comunità scientifica. Essi cercano di raggruppare e caratterizzare il comportamento di studenti tramite le loro risposte a questionari a risposta aperta (Springuel et al., 2007; Fazio et al., 2012; Fazio, et al., 2013). Tutti questi studi mostrano che l'uso dell'analisi di cluster permette di individuare gruppi di studenti che hanno specifiche caratteristiche di interesse per la ricerca e che sono consistenti con risultati ottenuti mediante metodi di analisi più tradizionali.

Le tecniche di clustering possono essere suddivise, per grandi linee, in tecniche di tipo non-gerarchico (MacQueen & others, 1967) e gerarchico (Hastie, et al., 2009). Le prime suddividono e rappresentano lo spazio dei dati in una struttura, conosciuta come Diagramma di Voronoi (Aurenhammer, 1991; Okabe et al., 2000), che consiste in un numero di parti contenenti sottoinsiemi di dati simili fra loro. Le tecniche di tipo gerarchico, invece, mirano a ottenere una "gerarchia" di cluster. Il risultato di un clustering gerarchico è rappresentato in un dendrogramma, che rappresenta, con un diagramma ad albero, i vari sottogruppi ottenuti tramite l'analisi.

Per l'analisi dei dati di questa ricerca si è scelto di utilizzare un clustering di tipo non-gerarchico, in quanto la sua rappresentazione tramite diagramma di Voronoi risulta essere di più immediata comprensione rispetto a quella ottenibile tramite dendrogrammi. In particolare, utilizzeremo un algoritmo detto k-means (MacQueen et al., 1967), in quanto permette di ottenere, oltre ad una chiara rappresentazione grafica della suddivisione in sotto-gruppi del campione di lavoro<sup>2</sup>, anche l'indicazione delle risposte più di frequente date alle varie domande del questionario dagli studenti di ciascun sottogruppo. Tali risposte più frequenti, che permettono di caratterizzare, in media, il comportamento di ogni sottogruppo, sono, di fatto, le componenti dei vettori rappresentati da particolari punti del Diagramma di Voronoi, detti *centroidi* (Battaglia et al., 2016).

Bisogna, comunque, considerare che la ricerca in didattica che studia le risposte date a domande a risposta aperta tramite una analisi di cluster ha mostrato che, prima di poter procedere alla CIA, è necessario sviluppare delle tecniche di codifica e classificazione delle risposte date dagli studenti in tipiche "tipologie di risposta", all'interno delle quali far ricadere tutte le effettive risposte date. Tali tecniche non sono banali e implicano processi che, se non ben implementati, possono influenzare negativamente i risultati dell'analisi. Per ragioni di spazio non discuteremo qui di tali tecniche, né dei fondamenti teorici della CIA e rimandiamo alla letteratura scientifica specializzata (Battaglia et al., 2016) per un approfondimento delle basi teoriche e delle tecniche utilizzate anche in questo studio, tra le quali citiamo quelle relative alla scelta della migliore soluzione di clustering per la situazione in esame.

2 Ogni studente è individuato da un "vettore", le cui componenti sono le risposte date dallo stesso a ciascuna delle domande del questionario. Tale vettore è rappresentato tramite un punto nel diagramma di Voronoi e ivi posizionato, tramite un algoritmo di *Multidimensional Scaling* (Borg & Groenen, 1997), in base alle mutue distanze tra coppie di studenti trovate tramite il calcolo di coefficienti di correlazione (à la Pearson con modifiche, vedere Battaglia et al., 2016) legati alle risposte da essi dati al questionario.



#### 4. Il questionario e i risultati della analisi delle risposte date durante i test iniziale, intermedio e finale

Di seguito riportiamo il questionario e le tipologie delle risposte date dagli studenti a ciascuna delle domande del pre-test. Tale elenco di risposte tipiche si è rivelato utile anche per catalogare le risposte date dagli studenti ai test successivi ed è stato utilizzato anche in tali casi.



Domanda	Risposte tipiche
1. Secondo te è importante trattare argomenti di tipo scientifico con i bambini della scuola dell'infanzia e della scuola primaria?	a. Sì, perché lo si può fare attraverso semplici esperimenti b. Sì, affinché si creino solide basi per gli studi successivi c. Sì, per promuovere le capacità cognitive d. Sì, perché a quest'età sono molto curiosi e. Sì, affinché comprendano il mondo attorno a loro f. Non sempre: quelli dell'infanzia sono troppo piccoli g. Sì, per promuovere il linguaggio scientifico
2. Secondo te è importante sviluppare la riflessione e i processi di ragionamento nei bambini di scuola dell'infanzia?	a. Sì, perché sono processi difficili e devono impararli sin da piccoli. b. Sì, per sviluppare le capacità cognitive c. Sì, perché i bambini in quest'età non sono abituati a pensare d. Sì, affinché comprendano il mondo attorno a loro e. Sì, per il loro futuro sviluppo cognitivo f. Sì, perché i bambini sono abituati a pensare e a porsi mille domande
3. Secondo te i buoni docenti usano le domande degli alunni per guidare il loro insegnamento delle discipline scientifiche?	a. Sì, per renderli costruttori attivi della propria conoscenza b. Sì, ma non tutti lo fanno c. Sì, perché se si parte dalle loro curiosità, si motivano all'apprendimento. d. Sì, per favorire il passaggio dalla conoscenza comune ad una più scientifica, partendo da argomenti noti e. Sì, perché l'apprendimento sia significativo ed efficace f. Sì, per abituarli a porsi domande e a riflettere g. Sì, affinché gli insegnanti possano rispondere adeguatamente alle loro domande h. Sì, per conoscere i loro prerequisiti e partire da essi
4. Secondo te i buoni docenti incoraggiano gli alunni a discutere gli argomenti scientifici rilevanti nella vita di tutti i giorni?	a. Sì, per favorire la discussione b. No, perché i docenti non sono adeguatamente preparati per farlo c. Sì per partire da una conoscenza pratica e giungere alla comprensione della teoria d. Sì, per stimolare le capacità di riflessione, di problem posing e problem solving e. Sì, per passare facilmente dalla teoria alla pratica f. Sì, perché le scienze studiano ciò che avviene nel mondo
5. Secondo te è importante che i bambini siano a conoscenza degli aspetti scientifici che riguardano la vita di tutti i giorni?	a. Sì, per arricchire il loro bagaglio culturale b. Sì, perché in questo modo comprendono il mondo attorno a loro c. Sì, per poter apprezzare le scienze che essi studieranno nei loro futuri percorsi scolastici d. Sì, per risponderci sulle domande che si pongono sul mondo e. Sì, per sviluppare i processi di ragionamento
6. Credi che i bambini di scuola dell'infanzia si pongano domande sul mondo che li circonda?	a. No, perché spesso preferiscono giocare: sono troppo piccoli b. Sì, tentano di comprendere il mondo attorno a loro c. Sì, sono curiosi di natura d. Sì, perché sono stimolati da input esterni
7. Quanto credi sia difficile per un insegnante condurre un laboratorio scientifico con i propri alunni?	a. Dipende dalla preparazione e dalla motivazione da parte degli insegnanti b. Poco, se l'insegnante ha capacità di gestione della classe adeguate c. Molto/abbastanza, perché nelle scuole spesso mancano risorse d. Molto/abbastanza, dipende dal contesto classe e. Molto/abbastanza, perché bisogna trovare attività adeguate alla loro età f. Poco, basta poco materiale g. Poco, perché gli alunni imparano facendo h. Molto/abbastanza, È necessario che l'insegnante sia preparato
8. Credi sia facile fare domande che possano promuovere le abilità di riflessione ai bambini di scuola dell'infanzia?	a. No, i bambini non sono molto riflessivi a quest'età, sono troppo piccoli. b. No, dipende dalle capacità dell'insegnante. c. Se l'insegnante è competente è facile

	d. Sì, i bambini si pongono naturalmente tante domande, sono curiosi.
	e. Sì, basta partire dall'esperienza quotidiana.
9. Ti piace l'idea di dover progettare un'attività di tipo scientifico per i tuoi alunni?	a. Sì, per fargli capire che le scienze sono importanti perché riguardano il mondo attorno a noi.
	b. Sì, per mettermi alla prova.
	c. No, non mi piacciono le scienze.
	d. Sì, perché possa portarli alla teoria attraverso la pratica, partendo dal concreto
	e. No, non mi sento adeguatamente preparata
	f. Sì, così finalmente metto in pratica quanto studiato.
	g. Sì, per fargli capire che le scienze non sono difficili e farli dunque appassionare
	h. Sì, perché spesso faccio progettazione in ambito scientifico e mi piace
10. Secondo te nella scuola dell'infanzia è possibile scegliere insieme agli alunni gli argomenti da trattare?	a. No, ma si può orientare la loro scelta
	b. No, è l'insegnante che deve avere un ruolo attivo nel processo di insegnamento apprendimento
	c. No, sono troppo piccoli.
	d. Sì, è possibile decidere insieme alcuni argomenti.
	e. Sì, perché bisogna capire cosa interessi loro, e conoscere i loro prerequisiti
	f. Sì, è l'alunno che deve avere un ruolo attivo nel processo di insegnamento apprendimento

Tab. 1. Domande del questionario e tipologie tipiche di risposta utilizzate dagli studenti



I risultati della CIA sulle risposte date dagli studenti del nostro campione alle domande del pre-test sono riportati in Fig. 3. Sono presenti 161 punti, raggruppati in 4 cluster, in quanto si è scelto, per evidenti motivi di confronto dei risultati, di studiare, nel pre-test, nel test intermedio e in quello finale, sempre gli stessi studenti. Visto che al test finale 161 è stato il numero degli studenti che è stato possibile classificare, ci si è limitati a tale numero anche per i test iniziali e intermedio.

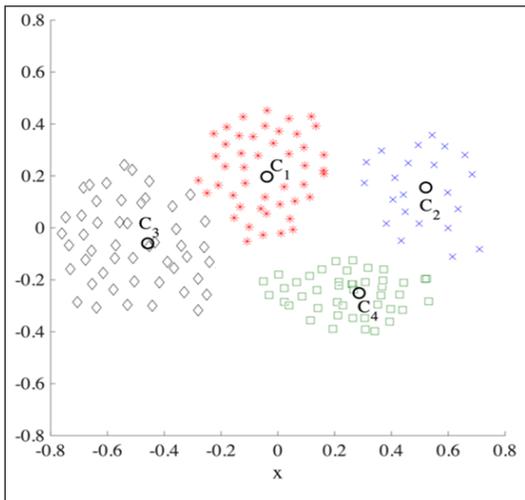


Fig. 3. Rappresentazione in un diagramma di Voronoi dei risultati dell'analisi delle risposte al test iniziale

Gli assi cartesiani riportano semplicemente i valori necessari a individuare la posizione dei vari punti (gli studenti del campione) sulla base della loro mutua distanza (vedere nota 2 e Battaglia et al., 2016).

Ogni punto rappresentato in Fig. 3 indica uno studente, individuato da un “vettore risposte”, le cui componenti sono le risposte da egli/ella date a ciascuna domanda del questionario iniziale. Il punto è posizionato sul diagramma sulla base della sua “distanza” rispetto agli altri studenti. La distanza tra uno studente e un altro viene calcolata tramite il relativo coefficiente di correlazione tra i due calcolato sulla base delle risposte date da essi alle domande del questionario, come meglio spiegato in Battaglia et al., 2016. I “cerchietti” indicati con C<sub>1</sub>, ..., C<sub>4</sub> indicano i centroidi dei quattro cluster individuati tramite l’algoritmo k-means. Tali punti, come già detto, rappresentano dei “vettori risposte” le cui componenti rappresentano le risposte più frequentemente date dagli studenti dei rispettivi cluster alle domande del questionario.

La Tab. 2 riassume, seguendo la codifica di cui in Tab. 1, le risposte più frequentemente date dagli studenti di ciascun cluster, ossia le “componenti” dei vettori che rappresentano i centroidi. È, inoltre, indicato il numero di studenti che compongono i cluster.



Centroide	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Risposte più frequenti	1.f, 2.a, 3.c, 4.b, 5.a, 6.a, 7.a, 8.c, 9.e, 10.e	1.f, 2.a, 3.c, 4.d, 5.c, 6.c, 7.a, 8.e, 9.g, 10.a	1.e, 2.e, 3.b, 4.b, 5.a, 6.a, 7.c, 8.a, 9.c, 10.c	1.b, 2.c, 3.c, 4.c, 5.b, 6.b, 7.e, 8.a, 9.f, 10.a
Numero di studenti nel cluster	46	22	49	44

**Tab. 2. Componenti dei quattro centroidi individuati durante l’analisi delle risposte date dagli studenti alle 10 domande del questionario durante il test iniziale e numero degli studenti in ciascun cluster**

Mediamente, quindi, le risposte dei 161 studenti alle prime domande del questionario mostrano un’opinione abbastanza consapevole dell’importanza dell’insegnamento delle discipline scientifiche alla Scuola Primaria e dell’Infanzia (risposte alle prime 5 domande). Tuttavia, sono chiaramente identificabili delle linee di tendenza specifiche di ciascun cluster, evidenziabili dalle risposte alle domande che vanno dalla n. 6 alla n. 10. In particolare,

Gli studenti del cluster 1:

- sono poco convinti della propria preparazione e di quella degli insegnanti, in generale;
- sono poco fiduciosi delle capacità dei bambini nell’affrontare argomenti “scientifici”;
- ritengono ancora prematuro sviluppare dei ragionamenti con i bambini della Scuola dell’Infanzia

Gli studenti del cluster 2:

- sono ben disposti verso le Scienze;
- mostrano qualche preoccupazione sulla motivazione degli insegnanti.

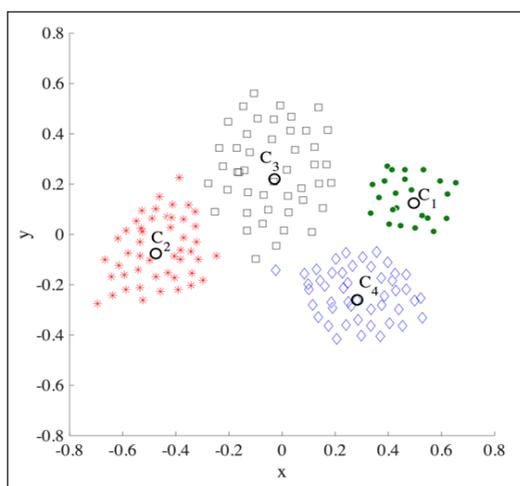
Gli studenti del cluster 3:

- sono preoccupati della propria preparazione;
- sono preoccupati della mancanza di “risorse” nelle scuole;
- amano poco le Scienze;
- ripongono poca fiducia nelle capacità dei bambini nell’affrontare argomenti “scientifici”

Gli studenti del cluster 4:

- sono ansiosi di mettersi alla prova e sperimentare la “teoria”.
- sono perplessi sulle proprie competenze didattico/scientifiche

La Fig. 4 riporta i risultati ottenuti dall’analisi delle risposte degli studenti al questionario somministrato dopo lo svolgimento del laboratorio didattico di tipo “tradizionale”.



**Fig. 4.** Rappresentazione in un diagramma di Voronoi dei risultati dell’analisi delle risposte al test intermedio.



L’algoritmo k-means individua ancora come migliore partizione dei 161 studenti quella in 4 cluster e la tabella seguente riassume queste risposte più frequentemente date dagli studenti di ciascun cluster e il numero degli studenti in ciascun cluster.

Centroide	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Risposte più frequenti	1.f, 2.a, 3.c, 4.d, 5.b, 6.b, 7.a, 8.e, 9.g, 10.a	1.e, 2.e, 3.b, 4.b, 5.a, 6.a, 7.c, 8.e, 9.c, 10.c	1.f, 2.e, 3.c, 4.b, 5.a, 6.a, 7.a, 8.e, 9.e, 10.c	1.b, 2.c, 3.c, 4.c, 5.b, 6.b, 7.e, 8.a, 9.f, 10.a
Numero di studenti nel cluster	23	48	43	47

**Tab. 3.** Componenti dei quattro centroidi individuati durante l’analisi delle risposte date dagli studenti alle 10 domande del questionario durante il test intermedio 0e numero degli studenti in ciascun cluster

Un confronto con le risposte più frequentemente date dagli studenti alle domande del questionario durante il test iniziale mostra che, sebbene i cluster abbiano una forma diversa, essi sono ancora sostanzialmente gli stessi di prima. In media, quindi, gli atteggiamenti degli studenti rispetto all’importanza dell’insegnamento delle discipline scientifiche e alle proprie abilità e difficoltà percepite non sono molto cambiati tra i due momenti di somministrazione del questionario.

La Fig. 5 riporta, infine, i risultati ottenuti dall'analisi delle risposte degli studenti al questionario somministrato dopo lo svolgimento del laboratorio didattico di tipo Inquiry

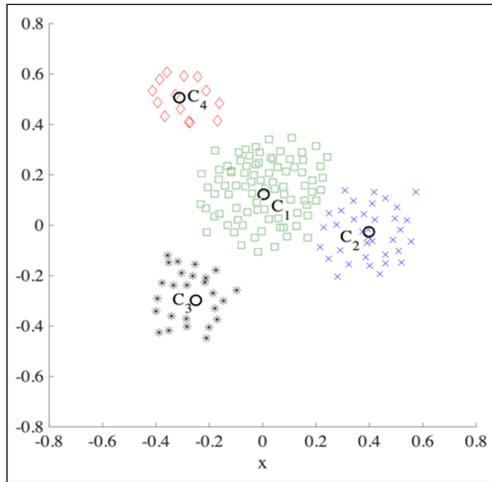


Fig. 5. Rappresentazione in un diagramma di Voronoi dei risultati dell'analisi delle risposte al test finale

L'algoritmo k-means individua ancora una volta come migliore partizione dei 161 studenti quella in 4 cluster. La Tab. 4 seguente riassume le risposte più frequenti date dagli studenti di ciascun cluster e la relativa occorrenza.

Centroide	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Risposte più frequenti	1.b, 2.d, 3.d, 4.g, 5.a, 6.a, 7.f, 8.e, 9.f, 10.f	1.c, 2.b, 3.d, 4.g, 5.a, 6.b, 7.f, 8.d, 9.b, 10.f	1.b, 2.b, 3.d, 4.b, 5.e, 6.a, 7.a, 8.a, 9.f, 10.d	1.g, 2.a, 3.h, 4.a, 5.d, 6.d, 7.g, 8.d, 9.e, 10.b
Numero di studenti nel cluster	85	36	26	14

Tab. 4. Componenti dei quattro centroidi individuati durante l'analisi delle risposte date dagli studenti alle 10 domande del questionario durante il test finale e numero degli studenti in ciascun cluster

L'analisi delle risposte più di frequente fornite dagli studenti nei 4 cluster mostra una notevole differenza con quelle fornite durante i due test precedenti. L'opinione sull'importanza dell'insegnamento delle discipline scientifiche alla Scuola Primaria e dell'Infanzia è sempre molto positiva, ma, adesso:

gli studenti del cluster 1:

- pensano che basti poco per strutturare un laboratorio
- ritengono che lo studio della Scienza motivi i bambini e gli insegnanti
- pensano che i processi di ragionamento possano essere facilmente attivati anche in bambini piccoli

Gli studenti del cluster 2:

- hanno ancora qualche remora sulla gestione di un laboratorio, che però, può essere, secondo loro, anche “povero”
- ritengono ancora che sia più facile orientare le scelte dei bambini che ascoltare le loro proposte

Gli studenti del cluster 3:

- mostrano ancora qualche paura in relazione alle proprie competenze scientifiche
- ritengono che la motivazione dei bambini sia molto importante

Gli studenti del cluster 4:

- mostrano ancora paura nel gestire la classe, specie in attività non frontali
- evidenziano perplessità sulla propria preparazione scientifica

I notevoli cambiamenti verificatisi nelle idee degli studenti sulle proprie capacità e possibilità di insegnare scienze tramite un approccio laboratoriale sono evidenti nella maggior parte degli studenti. Solo i 14 studenti che fanno parte del cluster 4 mantengono perplessità sulla propria preparazione scientifica e mostrano ancora remore nel gestire attività di laboratorio scientifico con i bambini.



## 5. Discussione e conclusioni

I risultati dell’analisi quantitativa delle risposte date dagli studenti alle domande del questionario indicano che, sebbene l’importanza dell’insegnamento delle discipline scientifiche alla Scuola Primaria e dell’Infanzia sia sempre ben riconosciuta dagli studenti, la percezione sulle proprie capacità e possibilità di insegnare Scienze tramite un approccio di scoperta e indagine basato sul laboratorio scientifico sia abbastanza negativa, sia prima che dopo la frequenza del percorso di laboratorio didattico di tipo “tradizionale”. Gli studenti in buona parte ritengono che le attività di laboratorio scientifico spesso siano difficili da mettere in pratica, sia per cause oggettive esterne al docente (carenza di risorse), sia per la mancanza di specifiche competenze da parte loro e dei docenti della Scuola, in generale. Viene anche evidenziata una scarsa fiducia nelle possibilità dei bambini di comprendere e svolgere attività considerate “difficili” e di proporre tematiche e argomenti sui quali svolgere attività di indagine e scoperta scientifica.

Dopo lo svolgimento di un laboratorio didattico basato sulla scoperta e sull’indagine scientifica e lo svolgimento delle giornate di esibizione scientifica, però, le suddette percezioni negative sembrano in buona parte modificate in senso positivo. Si riscontra una generalizzata migliore comprensione del ruolo fondamentale giocato dall’insegnante nella promozione della naturale curiosità dei bambini e di attività scientifiche basate su esperienze di vita comune. Risulta, inoltre, ridimensionato “l’alibi” della mancanza di risorse nelle scuole, posto inizialmente come ostacolo ad una didattica basata sul laboratorio scientifico. Infine, la fiducia nelle possibilità dei bambini di porsi domande sul mondo che li circonda e ad imparare a effettuare ragionamenti e riflessioni aumenta notevolmente.

I suddetti risultati sono stati integrati da una analisi qualitativa dei lavori di progettazione didattica prodotti dagli stessi e di interviste condotte con alcuni degli studenti partecipanti alla sperimentazione. I risultati di tale analisi qualitativa, riportati nel dettaglio in una tesi di dottorato (Croce, 2016) e qui non approfonditamente discussi per motivi di spazio, confermano che il gruppo di studenti del Corso di Laurea in Scienze della Formazione dell'Università di Palermo coinvolti nella ricerca da noi descritta abbia, in effetti, fin dall'inizio abbastanza chiare le idee sulle caratteristiche che una didattica laboratoriale deve possedere per essere efficace e sulle competenze che essa può far acquisire ai bambini. Allo stesso modo, i risultati dell'analisi quantitativa, che mostrano come gli studenti mettano in evidenza notevoli perplessità circa la propria effettiva capacità di utilizzare una didattica laboratoriale delle Scienze in ambito scolastico, vengono confermati. In particolare, i pregiudizi relativi all'uso didattico del laboratorio scientifico vengono esplicitati e messi in evidenza, legandoli esplicitamente alla presunta dispendiosità della realizzazione di "veri" esperimenti scientifici e alla necessità di spazi adeguati e di fondi consistenti per una corretta realizzazione del laboratorio.

L'analisi delle progettazioni didattiche svolte degli studenti come risultato delle attività di laboratorio didattico "tradizionale" e le relative discussioni attivate durante l'ultima giornata di incontri, dedicata alla presentazione collegiale dei lavori, mostra come gli studenti effettivamente facciano riferimento ad un "metodo laboratoriale", con esplicito riferimento a quanto studiato nei corsi universitari di didattica. Tuttavia, assai di rado tale riferimento è realmente messo in pratica nella pianificazione di attività didattiche effettivamente basate su modalità laboratoriali. Gli studenti hanno, infatti, l'idea del laboratorio come "luogo o spazio mentale", in cui i bambini non solo acquisiscono delle conoscenze e delle abilità, ma raggiungono determinate competenze. Il coinvolgimento cognitivo è spesso menzionato tra quelle che sono le possibilità offerte da un laboratorio, ma poi nell'effettiva progettazione didattica si dà poco spazio al dialogo, alla discussione, all'avanzamento di ipotesi e soluzioni, alla meta-cognizione. Ciò spesso sfocia in progettazioni nelle quali il laboratorio è legato troppo all'operatività, al concreto, e poco alla sfera cognitiva, tradendo il senso più profondo dell'idea di laboratorio didattico nelle scuole, che è quello di sollecitare un apprendimento autentico.

D'altro canto, i risultati dell'analisi qualitativa dei dati da noi raccolti dopo lo svolgimento delle attività IB e dell'esibizione scientifica mostrano chiaramente che la frequenza di un laboratorio didattico IB e la conseguente condivisione dei risultati, anche sperimentali, in un contesto tra pari, permette agli studenti di comprendere "sul campo" l'importanza della meta-riflessione nel laboratorio e fornisce ad essi modelli di progettazione che possono operare anche sulla stessa loro comprensione e sul loro apprendimento delle tematiche scientifiche oggetto delle progettazioni. Gli studenti intervistati affermano chiaramente che un approccio Inquiry, già noto per essere motivante per gli studenti delle scuole di ogni ordine e grado, è stato anche per loro molto significativo, in quanto capace di fornire una maggiore padronanza nella progettazione, di supportarli nella pianificazione di attività didattiche basate sulle le fasi del naturale apprendimento dell'essere umano (apprendimento per scoperta), senza tralasciare né l'aspetto operativo, né l'aspetto riflessivo tipico delle attività di problem solving. Dopo le attività IB, gli studenti riconoscono inoltre, talvolta con stupore, che è possibile svolgere una effettiva attività sperimentale di laboratorio scientifico anche in spazi poco specifici, con materiale di uso comune e poco dispendioso. Il pregiudizio, evidenziato con forza in precedenza, relativo alla difficoltà a svolgere attività di laboratorio scientifico nelle scuole a causa delle carenze nella



dotazione di strumenti e fondi e/o dell'assenza di un vero laboratorio scientifico ricorre con frequenza assai minore.

In alcuni studenti permane, tuttavia, l'idea che strutturare un laboratorio scientifico investigativo sia comunque un'attività complessa e che una competenza molto formale e "rigorosa" dell'insegnante (conoscenze di matematica e scienze superiori a quelle effettivamente possedute) sia "condicio sine qua non" per l'organizzazione di efficaci attività di laboratorio scientifico, anche a prescindere dagli spazi, dai mezzi e dagli strumenti a disposizione nella scuola. È evidente che per tali studenti si rende necessario un intervento di formazione e "cambiamento concettuale" più esteso di quello che è stato possibile svolgere durante la ricerca qui descritta.

## Riferimenti bibliografici

- AAAS, American Association for the Advancement of Science. *Project 2061, Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Anastasi A. (1988). *Psychological testing*. New York, NY: Macmillan.
- Aurenhammer F. (1991). Voronoi diagrams – a survey of a fundamental geometric data structure. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 23(3), pp. 345-405.
- Banchi H., Bell R. (2008). The Many Levels of Inquiry. *Sci. Child.*, 46(2), pp. 26-29.
- Battaglia O. R., Di Paola B., Fazio C. (2016). A New Approach to Investigate Students' Behavior by Using Cluster Analysis as an Unsupervised Methodology in the Field of Education. *Applied Mathematics*, 7(15), pp. 1649-1673.
- Bolte C., Holbrook J., Rauch F. (2012). Inquiry-based Science Education in Europe: Reflections from the PROFILES Project. *Book of invited presenters of the 1st International PROFILES Conference 24th– 26th September 2012*, Berlin, Germany, 2012.
- Borg I., Groenen P. (1997). *Modern multidimensional scaling*. New York: Springer Verlag.
- Bybee R.W. (1993). An instructional model for science education. *Developing Biological Literacy*. Colorado Springs, CO: Biological Sciences Curriculum Study.
- Cowgill M.C., Harvey R.J. (1999). A Genetic Algorithm Approach to Cluster Analysis. *Computers and Mathematics with Applications*, 37, pp. 99-108.
- Croce G. (2017). Un approccio Inquiry Based allo svolgimento dei laboratori didattici di fisica nel corso di laurea in scienze della formazione primaria. *Tesi di dottorato*, Università degli Studi di Palermo.
- Duit R., Gropengießer H., Kattmann U., Komorek M., Parchmann I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science. In D. Jorde, J. Dillon (Eds), *Science Education Research and Practice in Europe, V.5: Cultural Perspectives in Science Education* (pp. 13-37). Rotterdam: Sense Publishers.
- Everitt B.S., Landau S., Leese M., Stahl D. (2011). *Cluster analysis*. London: Wiley.
- Fazio C., Di Paola B., Guastella I. (2012). Prospective elementary teachers' perceptions of the processes of modeling: A case study. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 8, 010110.
- Fazio C., Battaglia O.R., Di Paola B. (2013). Investigating the quality of mental models deployed by undergraduate engineering students in creating explanations: the case of thermally activated phenomena. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 9, 020101.
- Goldstein G. (2013). Application of Cluster Analysis to Investigate Neuropsychological Heterogeneity in Psychiatric and Neurological Patients. In D.N. Allen, G. Goldstein, *Cluster Analysis in Neuropsychological Research: Recent Applications* (pp. 37-70). New York: Springer Science + Business Media.
- Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2009). Unsupervised learning. In T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman (eds.), *The elements of statistical learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Second Edition* (pp. 485-585). New York: Springer Science + Business Media.
- Herron M.D. (1971). The nature of scientific enquiry. *School Rev.* 79, pp. 171-212.
- Katehi L., Pearson G., Feder M. (Eds.) (2009). *Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospect*. Washington, DC: The National Academies Press.



- Lawshe C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*, 28(4), pp. 563-575.
- Llewellyn D. (2002). *Inquiry Within: Implementing Inquiry-based Science Standards*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press, Inc.
- Mantegna R.N. (1999). Hierarchical structure in financial markets. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 11(1), pp. 193-197.
- MacQueen J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In L.M. LeCam, J. Neyman (Eds.), *Proc. 5th Berkely Symp. Math. Statist. Probab. 1965/66*. (vol. I, pp. 281- 297). Berkely: Univ. of California Press.
- Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D., Walberg-Henriksson H., Hemmo V. (2007). *Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, consultabile nel sito: [http://ec.europa.eu/research/sciencesociety/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/sciencesociety/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf).
- Marx R.W., Blumenfeld P.C., Krajcik J.S., Soloway E. (1997). Enacting project-based science. *The Elementary School Journal*, 97(4), pp. 341-358.
- NRC - National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NRC - National Research Council (2011). *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering*, Washington, DC: The National Academies Press.
- NRC - National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Okabe A., Boots B., Sugihara K., Nok Chiu S. (2000). *Spatial Tessellations - Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*. Second edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Ott J. (1999). *Analysis of human genetic linkage*. Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Pintò R. (2004). Introducing curriculum innovations in science: Identifying teachers' transformations and the design of related teacher education. *Science Education*, 89, pp. 1-12.
- Roehrig G.H., Luft J.A. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, 26(1), pp. 3-24.
- Sathya R., Abraham A. (2013). Comparison of supervised and unsupervised learning algorithms for pattern classification. *Int J Adv Res Artificial Intell*, 2(2), pp. 34-38.
- Schwab J. J. (1962). The teaching of science as enquiry. In J.J. Schwab, P.F. Brandwein (Eds.), *The teaching of science* (pp. 3-103). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Shulman L.S. (1986a). Paradigms and research programs in the study of teaching: A contemporary perspective. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching*, 3rd Ed. (pp. 3-36). NewYork: Macmillan.
- Shulman L.S. (1986b). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (1), pp. 4-14.
- Shulman L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), pp. 1-22.
- Sokal R. R., Sneath P. H. A. (1963). *Principles of numerical taxonomy*. San Francisco and London: WH Freeman and Co., p. 359.
- Springuel R.P., Wittmann M.C., Thompson J.R. (2007). Applying clustering to statistical analysis of student reasoning about two-dimensional kinematics, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 3, 020107.
- Tryon R. C. (1939). *Cluster analysis: correlation profile and orthometric (factor) analysis for the isolation of unities in mind and personality*. Ann Arbor, Mich: Edwards Brother, Incorporated.
- Weiner I. B., Craighead W. E. (2010). *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (Vol. 4). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Windschitl M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), pp. 112-143.
- Zeidler D.L. (2002). Dancing with Maggots. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), pp. 27-42.