

ISSN: 2036-5330 (stampa); 2974-9174 (online)

DOI: 10.32076/RA16202

Articolo su invito

Innovare la didattica laboratoriale: il progetto delle serre idroponiche a scuola. I risultati della ricerca

Innovating laboratory teaching: the hydroponic greenhouse project in schools. Research findings

Lorenzo Guasti, Luca Bassani, Laura Messini, Micol Chiarantini¹

Sintesi

L'articolo analizza l'efficacia dell'approccio Bifocal Modeling nell'insegnamento delle scienze attraverso l'uso di serre idroponiche nelle scuole italiane. Questa metodologia integra osservazioni sperimentali con modellizzazione digitale, favorendo l'acquisizione di competenze scientifiche, matematiche e trasversali. La ricerca, condotta da INDIRE in collaborazione con la Columbia University, dimostra come il Bifocal Modeling promuova un apprendimento attivo e interdisciplinare, basato su indagine e sperimentazione pratica. Il metodo è stato applicato a classi di diverso ordine, mostrando risultati positivi in termini di comprensione concettuale e coinvolgimento degli studenti. Le serre idroponiche si configurano come strumenti didattici innovativi, facilitando il superamento della tradizionale dicotomia tra teoria e pratica. La sperimentazione evidenzia il valore di un approccio integrato per sviluppare capacità critiche e affrontare complessità reali, rispondendo ai bisogni di una didattica moderna e inclusiva.

Abstract

This study evaluates the Bifocal Modeling approach in science education through the implementation of hydroponic greenhouses in Italian schools. Combining physical experimentation with digital modeling, this method fosters the acquisition of scientific, mathematical, and transversal skills. Conducted by INDIRE in collaboration with Columbia University, the research highlights the effectiveness of Bifocal Modeling in promoting active, interdisciplinary learning based on inquiry and hands-on experimentation. Applied in various educational settings, the methodology demonstrated positive outcomes in conceptual understanding and student engagement. Hydroponic greenhouses proved to be innovative educational tools, bridging the gap between theory and practice. The findings underscore the importance of integrated approaches to develop critical thinking and address real-world complexities, meeting the demands of modern, inclusive education.

Parole chiave: Modellizzazione Dati; Didattica Laboratoriale; Serra Idroponica; dSerra.

Keywords: Data modeling; Laboratory teaching; Hydroponic greenhouse; dSerra.

1. INDIRE, l.guasti.tecnologo@indire.it, l.bassani@indire.it, l.messini@indire.it, m.chiarantini@indire.it.

1. Introduzione

Questo articolo presenta i risultati della sperimentazione sull'uso delle serre idropo- niche nelle scuole, esplorando sia gli aspetti quantitativi delle osservazioni in classe, sia quelli metodologici e pedagogici. Il progetto, frutto di una collaborazione tra INDIRE e le scuole italiane, mira a innovare la didattica STEM tramite metodologie laboratoriali avanzate, integrando strumenti digitali e indagine scientifica per favorire una comprensione più profonda dei fenomeni scientifici.

La sperimentazione si inserisce in un decennale percorso di ricerca condotto da INDIRE, che ha incluso il successo del progetto sulle stampanti 3D nelle scuole e introdotto il ciclo di design “Think-Make-Improve” (Guasti & Rosa, 2017). Dal 2017, la collaborazione con Paulo Blikstein, presso Stanford e Columbia University, ha permesso di adattare il Bifocal Modeling al contesto scolastico italiano, focalizzandosi sull'osservazione e modellizzazione della crescita delle piante in serre idropo- niche.

Blikstein (2014) evidenzia il Bifocal Modeling come un approccio innovativo che collega sistemi reali e ideali in tempo reale, facilitando un'indagine scientifica autentica. Questa metodologia consente una comprensione approfondita dei fenomeni scientifici attraverso il confronto tra esperimenti fisici e modelli computazionali (Blikstein *et al.*, 2016).

Il lavoro illustra il valore pedagogico e le sfide nell'introdurre esperimenti diretti e modellizzazione delle variabili, dimostrando come i modelli semplificati possano rendere fenomeni complessi più accessibili agli studenti.

2. Quadro teorico

2.1. Principi di pedagogia attiva e apprendimento esperienziale

L'integrazione della serra idropo- nica nella didattica laboratoriale si fonda su una visione evolutiva dell'apprendimento, che trova le sue radici nel costruttivismo sociale di Vygotskij (1978). Questo approccio considera l'apprendimento come un processo dinamico e collaborativo, in cui gli studenti costruiscono conoscenze significative attraverso l'interazione con mediatori, come insegnanti e pari. Tale prospettiva trova un naturale sostegno teorico nelle idee di John Dewey (1938), che ha sottolineato come l'esperienza diretta sia fondamentale per rendere l'apprendimento autentico e rilevante.

Dewey ha evidenziato che l'apprendimento è più efficace quando si collega a problemi concreti e a situazioni del mondo reale, un principio che trova piena realizzazione nell'ambiente della serra idropo- nica. Questa visione si collega idealmente con il contributo di Seymour Papert (1980) e il suo costru- zionismo che enfatizza il ruolo delle tecnologie e degli strumenti didattici nella creazione di artefatti significativi. Papert ha sottolineato come l'apprendimento avvenga attraverso la costruzione attiva di conoscenza, un concetto che nella serra idropo- nica si traduce nella capacità degli studenti di costruire la serra, manipolare variabili ambientali, osservare fenomeni biologici e confrontare le proprie ipotesi con dati reali.

Ispirarsi a Papert in questa attività laboratoriale, trova conferme nell'eredità peda-

gogica di Maria Montessori (1912), che ha promosso un metodo basato sulla curiosità e sull'autonomia degli studenti. La possibilità di osservare in tempo reale le dinamiche di crescita delle piante e di scegliere le variabili da controllare come luce, temperatura e pH consente agli studenti di sperimentare in modo autonomo, sviluppando capacità di osservazione, pensiero critico e risoluzione di problemi. Questa prospettiva si collega all'idea di Hans Freudenthal (1991) secondo cui l'insegnamento dovrebbe essere radicato in situazioni significative e reali, superando l'astrattezza dei concetti teorici.

L'approccio interdisciplinare della serra idroponica richiama anche il concetto di comunità di pratica elaborato da Etienne Wenger (1998), dove l'apprendimento è un processo situato, alimentato dall'interazione e dalla condivisione di esperienze. In questo contesto, gli studenti non sono semplici ricettori passivi di informazioni, ma protagonisti attivi di un processo di costruzione della conoscenza che integra aspetti scientifici, matematici e relazionali. La serra diventa così un ambiente didattico che va oltre la mera trasmissione di nozioni, diventando uno spazio di trasformazione cognitiva e sociale.

In sintesi, la serra idroponica si configura come un ambiente educativo che sintetizza i principi fondamentali della pedagogia attiva e dell'apprendimento esperienziale. Essa offre agli studenti un contesto in cui osservazione, manipolazione e modellizzazione si integrano, permettendo non solo l'acquisizione di conoscenze scientifiche solide, ma anche lo sviluppo di competenze trasversali essenziali

per comprendere e affrontare le complessità del mondo contemporaneo.

2.2. Integrazione della metodologia Bifocal Modeling nell'insegnamento scientifico

Il Bifocal Modeling, introdotto da Paulo Blikstein (2010), rappresenta un paradigma metodologico innovativo nell'apprendimento scientifico, che supera la tradizionale dicotomia tra esperimenti fisici e modelli computazionali. Questo approccio si colloca, oltre agli autori precedentemente citati, nel solco dell'Inquiry-Based Learning (IBL), una prospettiva pedagogica che enfatizza l'esplorazione e la scoperta come elementi centrali del processo educativo.

La metodologia si basa su un'integrazione simultanea di esperimenti concreti e simulazioni virtuali, consentendo agli studenti di progettare, confrontare e analizzare fenomeni scientifici attraverso un doppio registro di indagine. Tale approccio trova fondamento teorico nella teoria dei modelli mentali di Johnson-Laird (1983), secondo cui la costruzione e manipolazione di modelli rappresenta un meccanismo cognitivo fondamentale per la comprensione della realtà.

Le ricerche di Blikstein *et al.* (2016) hanno dimostrato l'efficacia di questo metodo, evidenziando come l'integrazione di esperimenti fisici e modelli computazionali migliori significativamente la comprensione concettuale e le capacità di ragionamento scientifico degli studenti. Wilensky e Reisman (2006) già sostenevano questa prospettiva, sottolineando

come i modelli computazionali facilitino l'esplorazione di sistemi complessi altrimenti difficilmente osservabili.

Nel contesto delle serre idroponiche, il Bifocal Modeling si configura come una strategia didattica che promuove:

- un apprendimento attivo, coinvolgendo gli studenti in attività pratiche;
- una comprensione critica attraverso il confronto tra dati empirici e modelli teorici;
- lo sviluppo di competenze trasversali come pensiero critico e alfabetizzazione digitale.

In sintesi, il Bifocal Modeling rappresenta un approccio metodologico che trasforma la didattica laboratoriale, integrando dimensione teorica e pratica, e preparando gli studenti a interpretare la complessità dei fenomeni scientifici contemporanei.

2.3. Multidisciplinarietà e interconnessione tra scienze, matematica e competenze umanistiche

L'integrazione della serra idroponica nella didattica promuove un apprendimento multidisciplinare che collega biologia, chimica, fisica e matematica, offrendo anche spunti umanistici attraverso la documentazione dei risultati e riflessioni etiche. Gli studenti raccolgono e analizzano dati ambientali (es. temperatura, pH) utilizzando strumenti matematici per creare modelli che esplorano sistemi complessi (Wilensky & Reisman, 2006). Questo approccio STEAM (Yakman & Lee, 2012) favorisce la creatività e il pensiero critico, raf-

forzando competenze trasferibili per affrontare problemi reali.

L'uso della serra stimola intelligenze multiple (Gardner, 1983): l'intelligenza naturalistica attraverso l'osservazione diretta e quella logico-matematica con l'analisi dei dati. Inoltre, le attività collaborative sviluppano abilità relazionali e narrative, essenziali per partecipare al dibattito scientifico e sociale (DeBoer, 2000). Strumenti come il dSerra migliorano ulteriormente l'esperienza, integrando competenze digitali e interdisciplinari, mentre sensibilizzano i giovani a tematiche ambientali e abitudini sostenibili (Guasti & Bei, 2022).

Come già affermato da Guasti *et al.* (2023), e qui nuovamente messo in evidenza con dati sperimentali sul campo, il Bifocal Modeling applicato alla serra idroponica dimostra come approcci integrati possano rinnovare la didattica STEM, coniugando teoria e pratica per lo sviluppo di competenze critiche e trasversali.

3. Descrizione della sperimentazione, dinamiche di classe e organizzazione del lavoro

3.1. Tipologia delle scuole e delle classi

A partire dall'anno scolastico 2020/2021 (fino ad oggi) abbiamo stipulato 16 convenzioni con scuole di diverse province italiane.

La ripartizione per tipologia di scuola, ordine e grado è stata la seguente:

- Istituti Comprensivi: 10 scuole.
- Scuole Secondarie di Secondo Gra-

do: 3 scuole.

- Scuole Secondarie di Primo Grado: 1 scuola.
- Scuole Paritarie: 1 scuola.
- Convitti Nazionali: 1 scuola.

Le suddette scuole si trovano in regioni diverse (Piemonte, Lazio, Sardegna, Sicilia, Veneto, ecc.), coprendo aree sia del Nord che del Sud. Tuttavia, una parte significativa si trova in regioni caratterizzate da elevati tassi di dispersione scolastica, come Sardegna, Campania e Sicilia.

Il campione di scuole che abbiamo scelto di analizzare è composto da 3 istituti per il primo ciclo e 2 scuole per il secondo ciclo. Di queste scuole abbiamo un set di test completo ed è stato possibile fare una analisi accurata dei dati.

Nel paragrafo 4.1. saranno esplicitati i dettagli della tipologia di scuole del nostro campione.

3.2. Gestione delle attività collaborative e ruolo degli insegnanti

Le attività collaborative durante la sperimentazione sono state progettate direttamente dagli studenti e dall'insegnante, per favorire la partecipazione attiva e promuovere competenze trasversali come il problem-solving, la comunicazione e il pensiero critico. Non è sempre stato necessario utilizzare strumenti elettronici e informatici poiché questo aspetto riguarda una scelta dell'insegnante e della classe; infatti, la progettazione dell'osservazione dell'esperimento è parte

del processo di studio. Ad esempio, un diario cartaceo con misurazioni analogiche accurate ha la stessa valenza di un'osservazione mediata da strumenti digitali.

3.2.1. Strutturazione delle attività

Gli studenti hanno lavorato in gruppo con ruoli spesso definiti (es. responsabile del monitoraggio delle variabili, addetto alla documentazione, coordinatore del gruppo). Laddove la distribuzione dei compiti era fatta al fine di distribuire le mansioni da svolgere durante l'esperimento, si è rilevato che questa scelta ha garantito un bilanciamento delle responsabilità, promuovendo sia l'autonomia sia la collaborazione.

Le attività in classe hanno seguito una sequenza strutturata:

1. **Introduzione teorica.** Il docente ha presentato il sistema idroponico e le sue applicazioni, utilizzando strumenti visivi come mappe concettuali e materiali digitali. Questa fase ha posto le basi per comprendere i concetti fondamentali e stimolare domande iniziali sugli obiettivi della sperimentazione.
2. **Pianificazione e condotta dell'esperimento.** Gli studenti, guidati dal docente, hanno elaborato un piano sperimentale, definendo variabili (es. luce, nutrienti, temperatura) e ipotesi da verificare. Questa fase ha richiesto l'uso di strumenti di progettazione, come schede di lavoro e brainstorming di gruppo. Durante il periodo di osservazione (7/15/30 giorni), i gruppi

hanno monitorato quotidianamente la crescita delle piante. Le attività includevano la raccolta di dati quantitativi (es. altezza delle piante, lunghezza delle radici) e qualitativi (osservazioni visive, documentazione fotografica). Il docente ha supportato gli studenti nella gestione delle tecnologie, come il sistema dSerra, per la registrazione automatizzata dei dati.

3. **Modellizzazione.** Gli studenti hanno imparato a capire cosa è un modello scientifico, quando è utile usarlo e come gestire le variabili correlandole tra di loro. Hanno iniziato a studiare semplici modelli analogici e, laddove il contesto della classe lo ha consentito, hanno proseguito implementando anche modelli digitali. I gruppi hanno organizzato i dati raccolti in tabelle (cartacee o digitali) e progettato semplici modelli della crescita della pianta che, a seconda del grado della classe, hanno potuto essere più o meno complessi. Ad esempio, si sono osservate classi che hanno sviluppato grafici in grado di correlare due o più variabili; studenti più giovani, parimenti, hanno documentato la creazione di semplici mappe concettuali che mettevano in relazione due variabili, come ad esempio luce-crescita della pianta.
4. **Validazione del modello.** Gli studenti hanno confrontato i modelli realizzati con i dati misurati sul campo e hanno compreso le differenze tra realtà e modello. Hanno cercato di migliorare il modello per farlo aderire il più pos-

sibile al fenomeno osservato. Hanno capito l'importanza di descrivere fenomeni complessi attraverso la correlazione delle variabili misurate.

5. **Presentazione dei risultati.** Spesso si è rilevato che i modelli creati sono stati presentati alla classe attraverso poster o supporti digitali. Il docente ha facilitato la discussione, ponendo domande per stimolare la riflessione critica e incoraggiare il confronto tra i gruppi.

3.2.2. Ruolo degli insegnanti

Gli insegnanti hanno svolto un ruolo cruciale come facilitatori del processo di apprendimento. Durante le attività in classe, nel dettaglio hanno:

- guidato la costruzione delle serre “fatte in casa” comunemente definite DIY (Do It Yourself) aiutando gli studenti nei passaggi più complessi;
- supportato la costituzione dei gruppi di lavoro;
- fornito esempi e supporto nella scelta delle variabili da osservare e nella modalità di osservazione e misurazione;
- offerto supporto personalizzato per risolvere problemi tecnici e metodologici;
- monitorato le dinamiche di gruppo, intervenendo per favorire una comunicazione efficace;
- guidato gli studenti nell'interpretazione dei risultati e nella validazione dei modelli creati.

Un aspetto particolarmente rilevante è stato il focus sull'apprendimento differenzia-

to: gli insegnanti hanno adattato le attività alle diverse competenze degli studenti, assicurandosi che tutti potessero contribuire in modo significativo.

Questa modalità di gestione delle attività ha consentito di creare un ambiente collaborativo e inclusivo, nel quale gli studenti hanno potuto sperimentare un approccio autentico alla ricerca scientifica. I docenti hanno giocato un ruolo chiave nel garantire il successo del percorso, integrando teoria e pratica in un contesto di apprendimento condiviso e multidisciplinare.

3.3. Inclusione e partecipazione attiva degli studenti con bisogni educativi speciali

Basandosi sui dati elaborati da Fuhrmann *et al.* (2021) durante una delle sperimentazioni in classe svolte nel corso di questa ricerca, emerge che la sperimentazione con serre idroponiche ha rappresentato un'opportunità significativa per includere studenti con bisogni educativi speciali (BES), integrandoli pienamente nelle attività di sperimentazione. La metodologia adottata ha consentito di dilatare la tempistica delle fasi relative all'osservazione degli esperimenti fisici e alla modellizzazione digitale, rendendo il percorso accessibile anche a studenti con difficoltà di apprendimento.

3.3.1. Adattamenti e strategie didattiche

Gli insegnanti, coadiuvati da educatori di supporto, hanno implementato una serie di

strategie specifiche per rispondere alle esigenze degli studenti BES. Tra queste:

- **Riduzione della complessità delle attività**, con la semplificazione delle istruzioni e l'utilizzo di materiali visivi e digitali intuitivi.
- **Assegnazione di ruoli adattati**, che hanno valorizzato le competenze individuali e garantito una partecipazione attiva e significativa di ogni studente all'interno dei gruppi di lavoro.
- **Uso del diario di bordo**, in cui gli studenti hanno documentato quotidianamente i cambiamenti osservati, con supporto visivo e linguistico per favorire la comprensione e la riflessione.

3.3.2. Impatto sull'apprendimento e sullo sviluppo sociale

La partecipazione degli studenti BES alle attività ha generato miglioramenti significativi nelle competenze scientifiche e sociali, sviluppando il pensiero analitico attraverso il monitoraggio delle variabili ambientali e potenziando le capacità comunicative mediante il lavoro collaborativo. L'introduzione di progetti a lungo termine, come l'osservazione della crescita delle piante, ha permesso un'assimilazione graduale dei concetti, mentre l'integrazione del Bifocal Modeling si è rivelata particolarmente efficace nel supportare gli studenti BES. La sperimentazione ha dimostrato che un approccio pedagogico basato sull'inclusione può creare un ambiente educativo equo e motivante, come evidenziato dai riscontri positivi sia nella partecipazione che nello sviluppo delle competenze.

4. Risultati dell'indagine

4.1. Introduzione all'indagine

La raccolta dati è stata effettuata attraverso tre questionari digitali somministrati ex ante ed ex post tramite Microsoft Forms: due per gli studenti (primo e secondo ciclo) e uno per gli insegnanti, tutti distribuiti attraverso i docenti partecipanti. I questionari per gli studenti, anonimi ma tracciabili longitudinalmente mediante nickname univoci, include-

vano domande a risposta multipla e aperte su temi scientifici, con particolare focus sullo sviluppo delle piante e sui modelli scientifici. Il questionario docenti esplorava aspetti metodologici del Bifocal Modeling, cooperative learning e modellizzazione. Nella fase post-sperimentazione, i questionari sono stati integrati con elementi di valutazione del gradimento e metacognizione per misurare l'efficacia dell'intervento.

Il campione era così composto:

Docenti			
Scuola Primaria	Secondaria I Grado	Secondaria II Grado	Totale
4	5	1	10

Studenti primo ciclo								
Primaria					Secondaria I Grado			
I	II	III	IV	V	I	II	III	Totale
2	26	16	0	0	15	9	0	68

Studenti secondo ciclo						
I	II	III	IV	V	Totale	
1	0	18	4	1	24	

Le risposte ottenute dal questionario in entrata per gli studenti del primo ciclo sono state 284; la compilazione del questionario in uscita era volontaria ed è stata completata dal 30% circa degli alunni. Per il secondo ciclo gli studenti che complessivamente hanno partecipato alla compilazione del questionario ex ante sono stati 37 e 50 hanno completato il test finale in uscita.

Il gruppo scelto per la nostra analisi di ricerca, ovvero coloro che hanno compilato sia i questionari ex ante sia ex post, ha visto coinvolti 68 alunni del primo ciclo e 24 studenti per il secondo ciclo.

I docenti che hanno risposto ai questionari sono stati 15 sia per quello ex ante sia per quello ex post, ma non gli stessi; pertanto, l'analisi si è svolta su 10 docenti che hanno compilato sia l'uno che l'altro. Di questi 10: 4 insegnano alla primaria, 5 alla secondaria di primo grado e solo 1 alla secondaria di secondo grado.

4.1.1. Come si è svolta l'analisi dei dati raccolti

L'analisi dei dati della sperimentazione ha seguito un processo strutturato di normalizzazione dei dati quantitativi raccolti in fogli di calcolo distinti per tipologia di destinatari (docenti, studenti primo e secondo grado) e fase (ex ante/ex post). L'elaborazione è stata effettuata mediante script Python, utilizzando Pandas per la manipolazione dati e Matplotlib per la visualizzazione grafica. Per le domande qualitative, è stata condotta un'analisi testuale per identifica-

re cluster semantici significativi, integrando così l'interpretazione dei dati quantitativi con elementi esperienziali.

4.2. Risultati dei questionari pre e post studenti e docenti

Per l'analisi dei dati, sono state considerate solo le compilazioni delle persone che hanno consegnato sia i questionari ex ante sia gli ex post. Ciò ha garantito una selezione di dati omogenea e significativa per la misurazione delle variazioni nel livello delle competenze. Questo metodo ha assicurato che le comparazioni tra i dati ex ante e ex post sperimentazione fossero basate su risposte complete, aumentando così l'affidabilità dei risultati ottenuti.

4.2.1. Analisi dei risultati degli studenti del Primo Ciclo

Analizzando alcune prime domande (Figg. 1 e 2), si evidenzia un lieve miglioramento nelle competenze legate alle variabili gestite dalla serra idroponica, come luce e acqua, a differenza dell'aria, una variabile non gestita, per la quale si è osservato addirittura un peggioramento. È interessante notare nel grafico relativo alla domanda DOM-104 come l'elemento acqua non sia considerato fondamentale da monitorare per la crescita della pianta (con un calo da 67 a 66 selezioni), a differenza di quanto emerge dalla domanda DOM-102. Invece, l'umidità, una variabile costantemente monitorata e registrata con dati percentuali,

ha guadagnato importanza (aumentando da 35 a 46 selezioni). Questo può suggerire che, mentre l'umidità è stata percepita come un fattore critico grazie alla sua mi-

surazione diretta e continua, la presenza di acqua potrebbe essere stata considerata ovvia perché non direttamente monitorata dal dSerra e quindi meno influente.

Se la pianta non avesse aria, crescerebbe lo stesso? (DOM-103)

Quali elementi esterni alla pianta ritieni importante osservare per capire se una pianta può crescere bene? Scegli quelli che ti sembrano più importanti (massimo 5 risposte). (DOM-104)

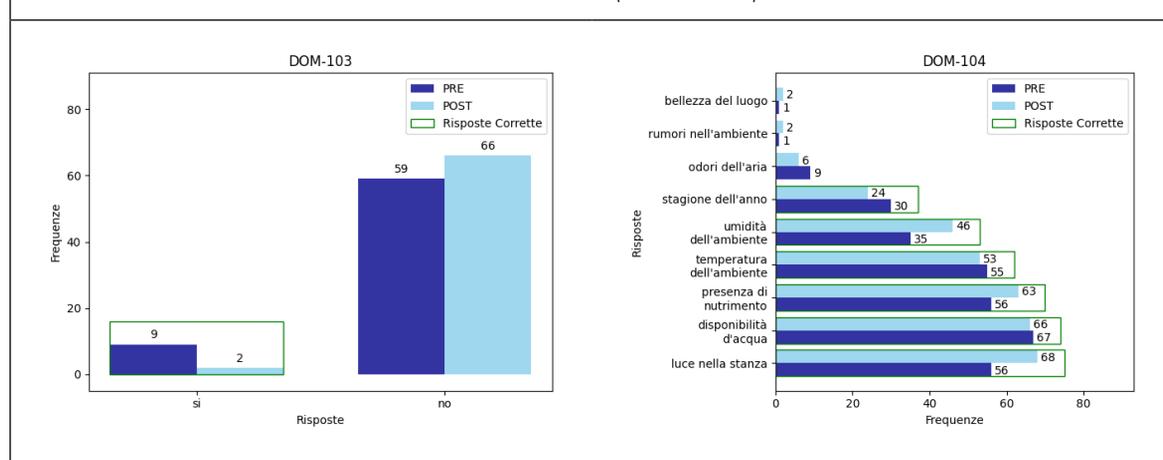


Fig. 1 - Domande 103, 104.

Se la pianta fosse tenuta al buio, crescerebbe lo stesso? (DOM-101)

Se la pianta non avesse acqua, crescerebbe lo stesso? (DOM-102)

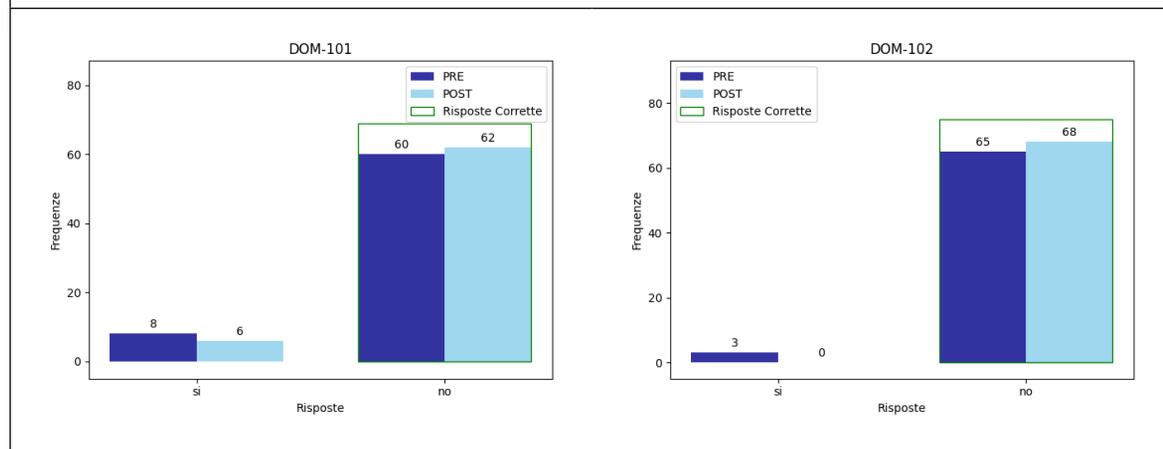


Fig. 2 - Domande 101, 102.

Un altro aspetto emerso dalla sperimentazione è legato alla possibilità di osservare in modo diretto certi fenomeni, in questi casi le competenze degli studenti subiscono dei miglioramenti a differenza di quelle metriche non direttamente visibili.

Come si vede dalle domande e risposte di Fig. 3, nella compilazione post, tutte le opzioni corrette relative a variabili direttamente osservabili, come il numero delle foglie, la forma o il colore del fiore, la larghezza del fusto, il peso e l'altezza, hanno registrato un aumento delle selezioni suggerendo un

miglioramento nella capacità degli studenti di osservare e valutare queste caratteristiche evidenti. Tuttavia, l'opzione corretta riguardante la presenza di insetti sul tronco della pianta ha visto un calo nelle selezioni. Questo può essere attribuito al fatto che, molto probabilmente, non ci sono stati insetti all'interno delle serre idroponiche, essendo queste ultime collocate all'interno di edifici scolastici dove la presenza di insetti è minima o assente, rendendo impossibile per gli studenti osservarli e includerli così nelle loro valutazioni.

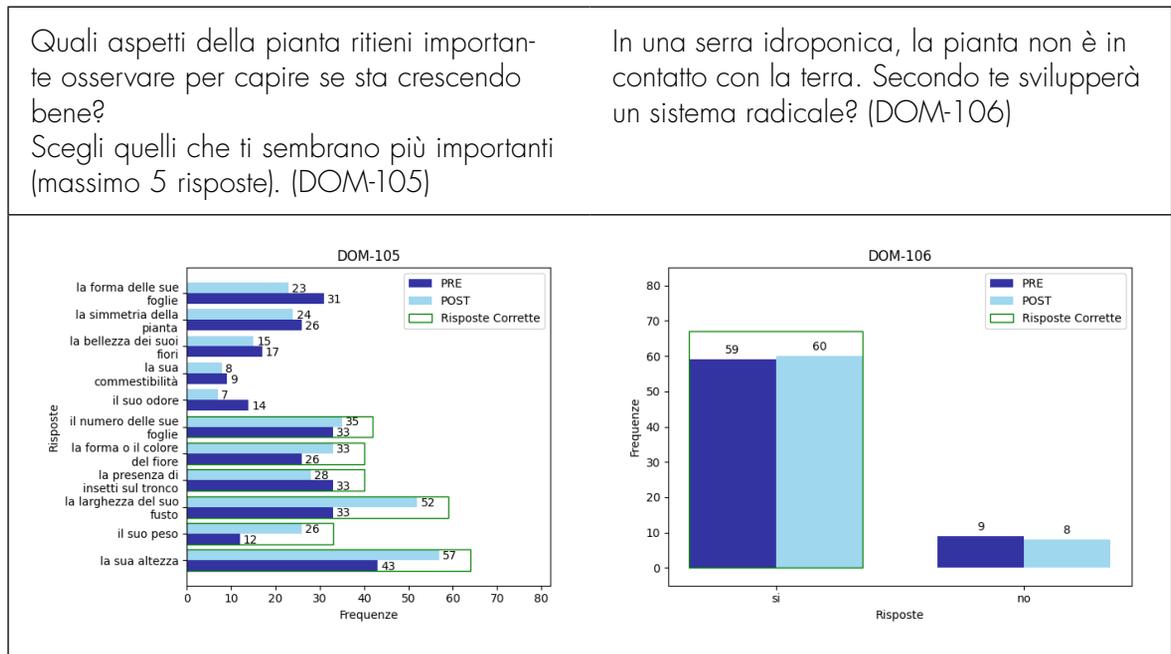


Fig. 3 - Domande 105, 106.

Le risposte alla domanda DOM-108 in Fig. 4 hanno evidenziato come alcuni strumenti possano rendere visibili fenomeni che a occhio nudo non lo sono, confermando che le variabili meglio comprese sono quelle gestite dalla serra idroponica. Chiedendo agli studenti se le piante possano muoversi, si è notato un notevole spostamento delle selezioni verso la risposta corretta. Questo miglioramento è probabilmente dovuto all'uso del dSerra, che ha catturato immagini temporizzate per tutta la durata della sperimentazione. Queste immagini sono state poi assemblate in un video in time lapse, in grado di mostrare l'intera fase di crescita delle piante, che si protrae su più settimane, in pochi secondi. Tale visualizzazione ha chiaramente evidenziato il movimento delle piante, facilitando agli

studenti la comprensione e l'osservazione diretta di questo fenomeno.

L'ultimo blocco di domande è stato orientato alla verifica delle competenze relative ai modelli, alla loro importanza e modalità di applicazione.

Dall'analisi delle risposte alle domande di Figg. 5 e 6, si nota una netta tendenza al miglioramento delle competenze relative ai modelli scientifici, uno degli obiettivi principali della sperimentazione. Questo miglioramento riguarda la comprensione di cosa sia un modello scientifico, le sue modalità d'uso e le sue applicazioni pratiche, in particolare nella progettazione di esperimenti per il monitoraggio di nuove variabili. Questo progresso dimostra un'efficace assimilazione dei concetti fondamentali della modellizzazione scientifica tra gli studenti.

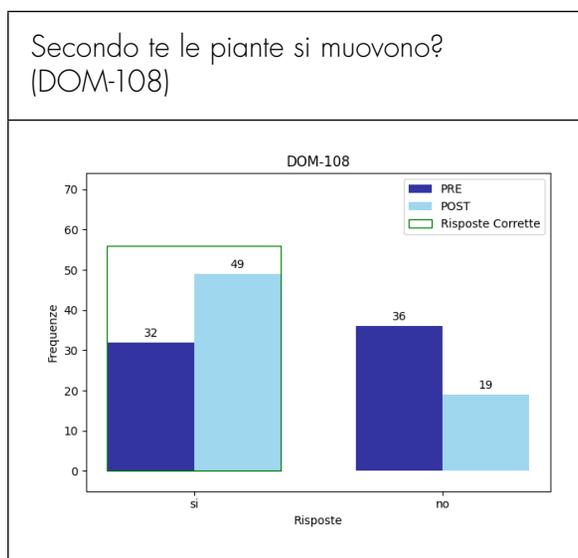


Fig. 4 - Domanda 108.

Le seguenti scelte sono tutte definizioni corrette della parola 'Modello'. Qual è la migliore definizione per una spiegazione di un Modello Scientifico? (Indica una sola risposta). (DOM-110)

Qual è l'uso migliore di un modello per uno scienziato? (Indica una sola risposta). (DOM-111)

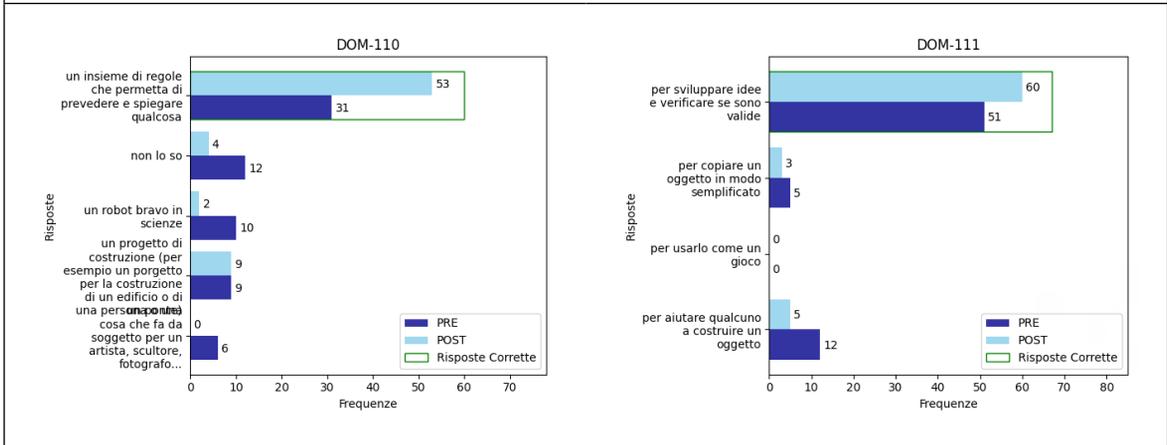


Fig. 5 - Domande 110, 111.

Pensi che gli scienziati possono fare più di un modello per spiegare lo stesso fenomeno scientifico? (DOM-112)

Per verificare se una pianta è resistente alla siccità, quale esperimento organizzeresti? (Indica una sola risposta). (DOM-114)

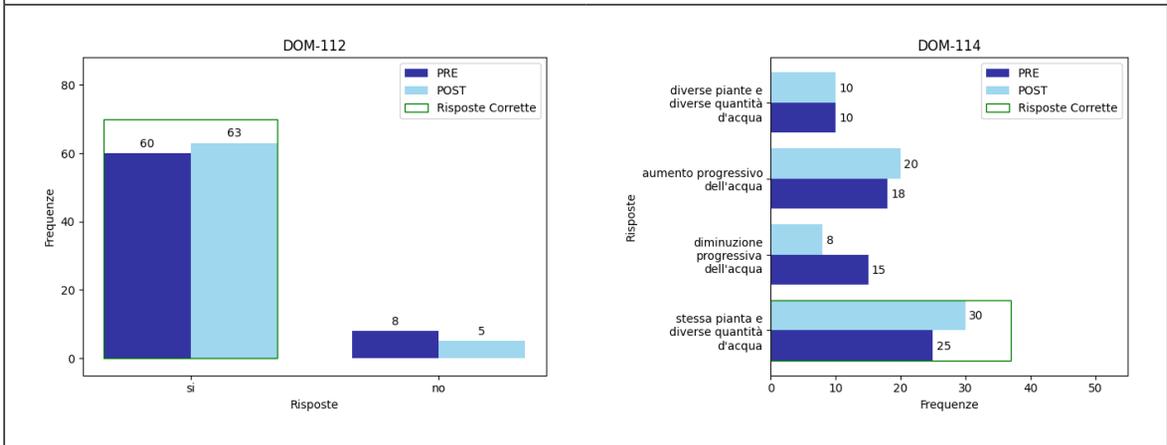


Fig. 6 - Domande 112, 114.

4.2.2. Analisi dei risultati degli studenti del Secondo Ciclo

Il primo blocco di domande delle compilazioni da parte degli studenti del secondo ciclo, presenti in Figg. 7 e 8, mette in evidenza aspetti leggermente diversi da quelle del primo ciclo.

Si osserva che gli studenti hanno mostrato un livello di competenze pregresse piuttosto solido, particolarmente evidente nella risposta alla domanda DOM-1001, che ha indagato sull'importanza dell'acqua per la cre-

scita delle piante. Allo stesso tempo, i risultati confermano una migliore comprensione delle variabili gestite e monitorate dalla serra idroponica (luce e acqua). Un altro aspetto rilevante emerge dalla risposta alla domanda DOM-1002, dove gli studenti hanno mantenuto le loro risposte nei questionari ex ante e ex post sperimentazione. Questo potrebbe riflettere la difficoltà nel rivedere e aggiornare le conoscenze che sono state acquisite e consolidate nel tempo, anche quando queste potrebbero non essere del tutto corrette.

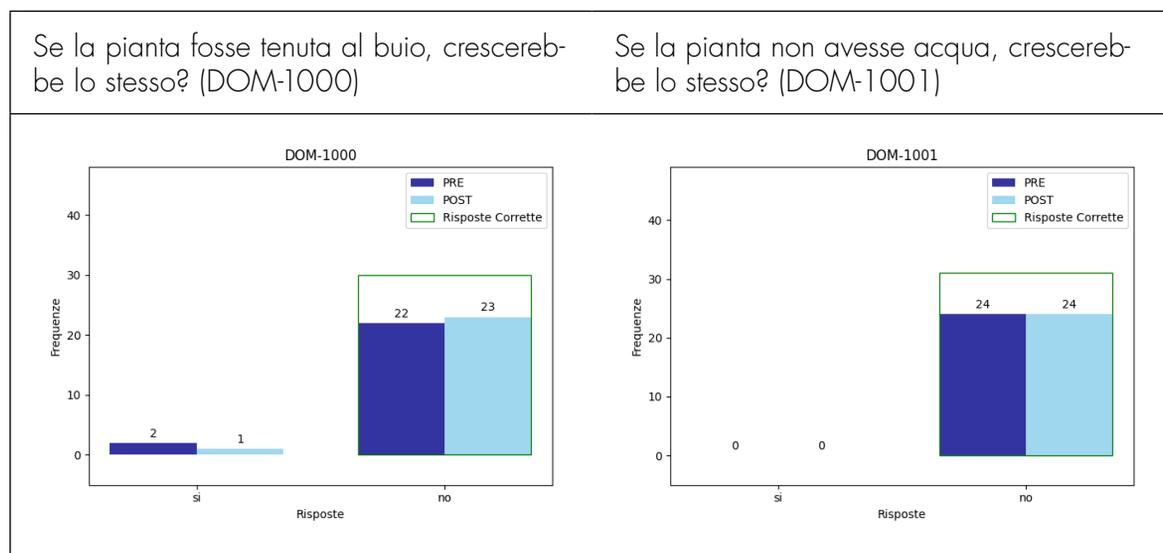


Fig. 7 - Domande 1000, 1001.

Se la pianta non avesse aria, crescerebbe lo stesso? (DOM-1002)

Quali di questi elementi sono variabili misurabili? (DOM-1003)

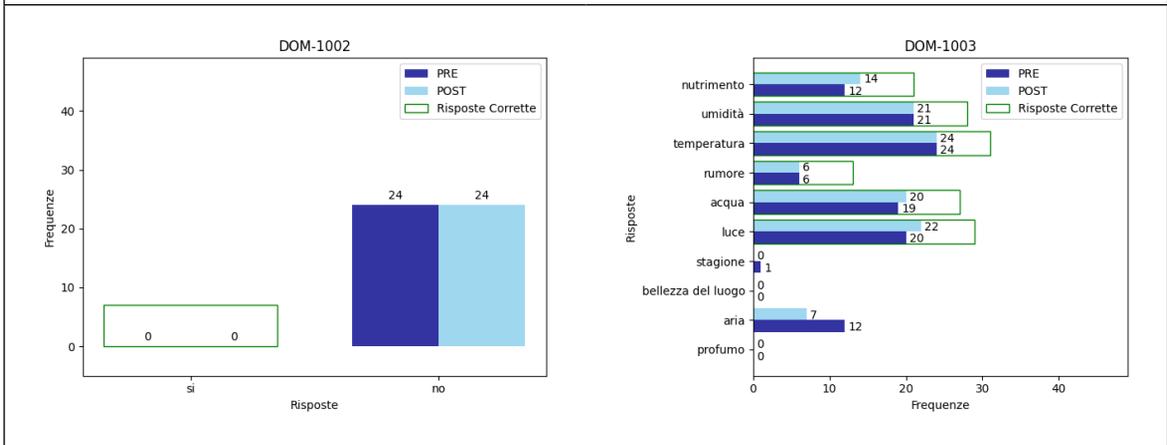


Fig. 8 - Domande 1002, 1003.

In Fig. 9 si individuano altre difficoltà nella comprensione dei fenomeni non direttamente osservabili, come nel caso delle radici, per le quali non ci sono dubbi sulla

loro presenza anche nel caso di coltivazione idroponica, ma che ottiene un peggioramento per quanto riguarda la comprensione della loro funzionalità.

A cosa servono secondo te le radici (sia nella serra che in natura)? Scegli quelli che ti sembrano più importanti. (DOM-1005)

Secondo te le piante si muovono? (DOM-1007)

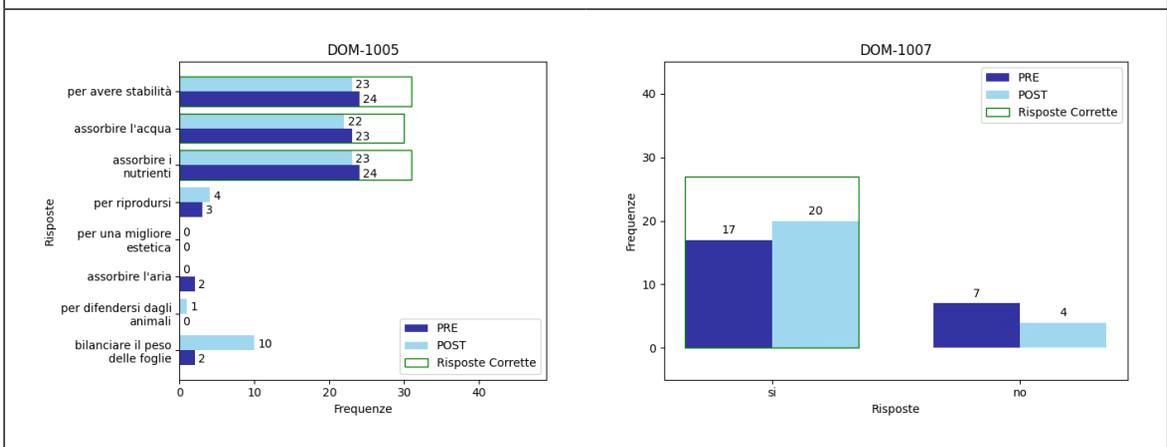


Fig. 9 - Domande 1005, 1007.

Le domande incentrate sui modelli scientifici, in Figg. 10, 11 e 12 hanno evidenziato un'acquisizione di competenze meno marcata tra gli studenti del secondo ciclo rispetto a

quelli del primo ciclo; probabilmente perché questi concetti erano già in parte acquisiti dagli studenti in attività precedenti.

Le seguenti scelte sono tutte definizioni corrette della parola 'Modello'. Qual è la migliore definizione per una spiegazione di un Modello Scientifico? (Indica una sola risposta). (DOM-1009)

Pensi che gli scienziati possono fare più di un modello per spiegare lo stesso fenomeno scientifico? (DOM-1011)

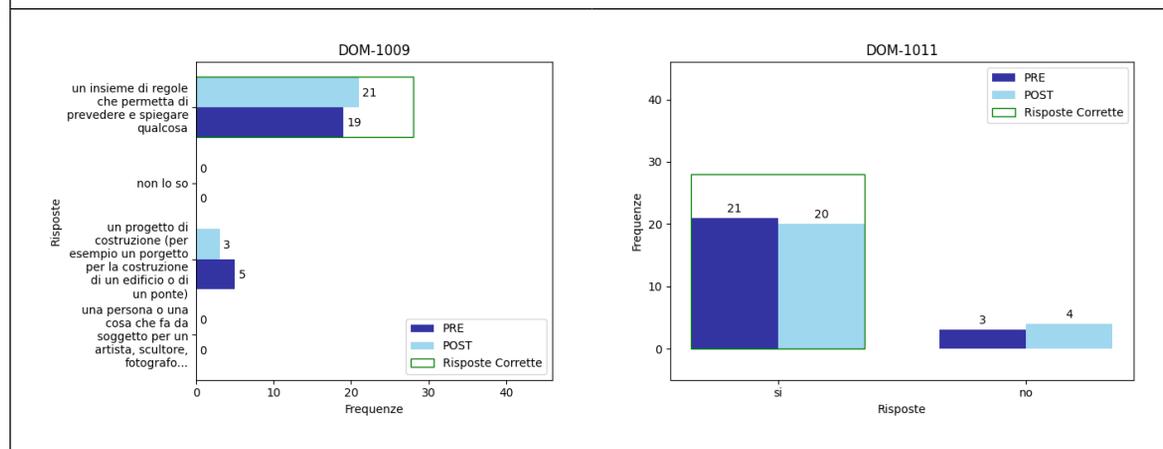


Fig. 10 - Domande 1009, 1011.

Uno scienziato può avere la necessità di cambiare o revisionare un modello scientifico? (DOM-1012)

Se il modello che ha creato lo scienziato restituisce previsioni non congruenti con il fenomeno osservato, come si comporterà? (DOM-1013)

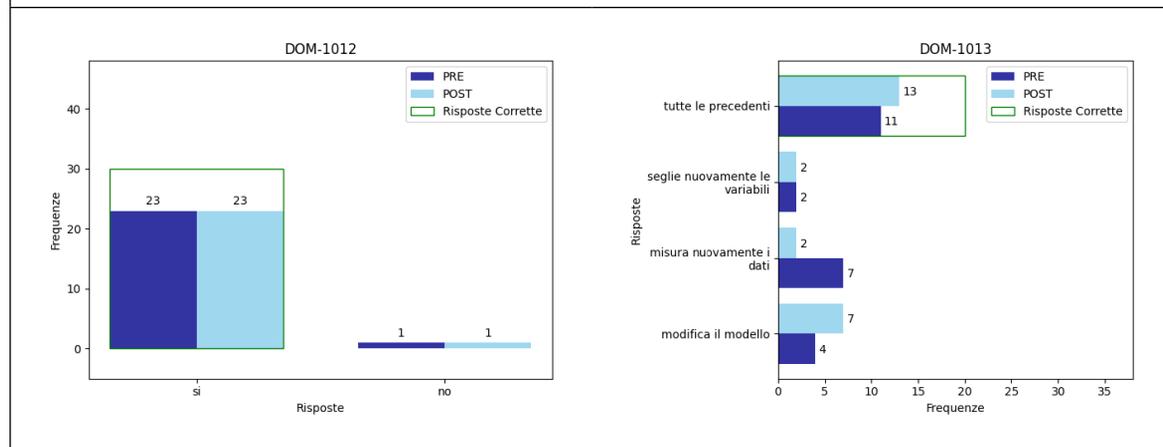


Fig. 11 - Domande 1012, 1013.

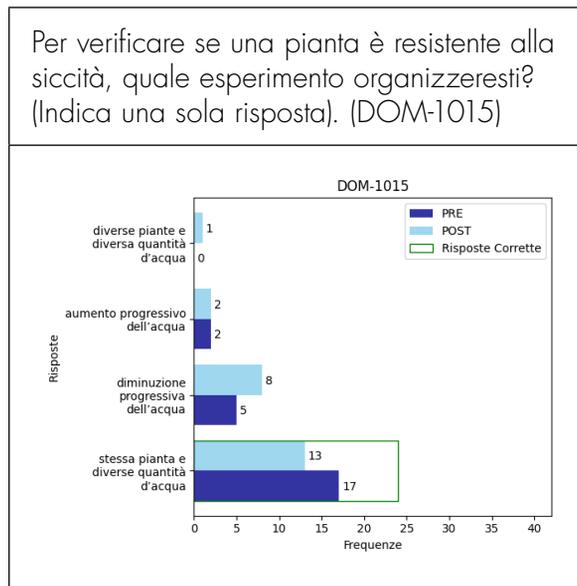


Fig. 12 - Domanda 1015.

Interessante la domanda posta ai soli studenti del secondo ciclo, per rilevare come affrontano un errore o un imprevisto nell'esperimento (DOM-1013, Fig. 11). Come si vede nel grafico, la risposta corretta (ovvero "tutte le precedenti") è sempre la più scelta dagli studenti, con un ulteriore incremento nel post. Tuttavia, se ex ante alcuni studenti focalizzano la loro attenzione anche su una nuova misurazione dei dati, nel post, questa scelta tende a spostarsi più sulla costruzione del modello. Potremmo interpretare questo dato, come una maggiore familiarità nell'utilizzo del modello scientifico e quindi anche della sua modifica e revisione.

Gli studenti hanno dimostrato di comprendere il concetto di modello scientifico, ma la sperimentazione ha evidenziato difficoltà nell'applicarne i principi in contesti pratici. Queste difficoltà sottolineano una discrepanza persistente tra la teoria e la pratica nell'ambito dell'apprendimento

scientifico, suggerendo la necessità di rafforzare strategie didattiche che integrino meglio questi due aspetti.

4.2.3. Analisi dei risultati dei Docenti

L'analisi dei dati raccolti dai questionari compilati dai docenti ha rivelato un livello di soddisfazione inferiore alle aspettative iniziali, attribuibile a varie difficoltà emerse durante la sperimentazione. Queste criticità, che saranno approfondite, sembrano aver condizionato anche le valutazioni negative relative allo sviluppo delle competenze e delle capacità metacognitive degli studenti. I risultati evidenziano la necessità di apportare adattamenti metodologici e introdurre strategie di supporto per migliorare l'efficacia del percorso didattico e favorire il successo delle future esperienze.

Analizzando il primo blocco di domande relative ai materiali didattici forniti, inclusi la *Lesson Unit* e il Manuale in Fig. 13, si evince

che gli insegnanti hanno mostrato un calo nelle valutazioni una volta che questi strumenti sono stati utilizzati in classe durante la sperimentazione. Questa tendenza al peggioramento è stata ulteriormente confermata dalla domanda "Il metodo proposto per l'accompagnamento dell'utilizzo della serra idroponica le sembra utile per la sua attività didattica?", dove le risposte nel post hanno indicato un lieve deterioramento rispetto alle aspettative iniziali. Tali risultati suggeriscono che i materiali e il metodo proposto necessitano di ulteriori adattamenti per rispondere in modo più efficace alle esigenze e alle dinamiche della pratica didattica, offrendo così una base di partenza per interventi mi-

gliorativi futuri.

Nella sezione successiva consultabile in Figg. 14, 15, 16 e 17, una serie di domande è stata posta all'interno del contesto del metodo Bifocal per valutare le sue potenzialità in base a metriche ben definite. La traccia fornita per queste domande era: "Il metodo Bifocal ha l'obiettivo di accompagnare l'educazione scientifica e di promuovere l'utilizzo della modellizzazione nell'apprendimento. [Avendo letto le schede didattiche lei pensa che questo possa essere] [Dopo aver sperimentato la metodologia in aula, lei pensa che questa sia stata] utile per (usa una scala da 1 a 5)".

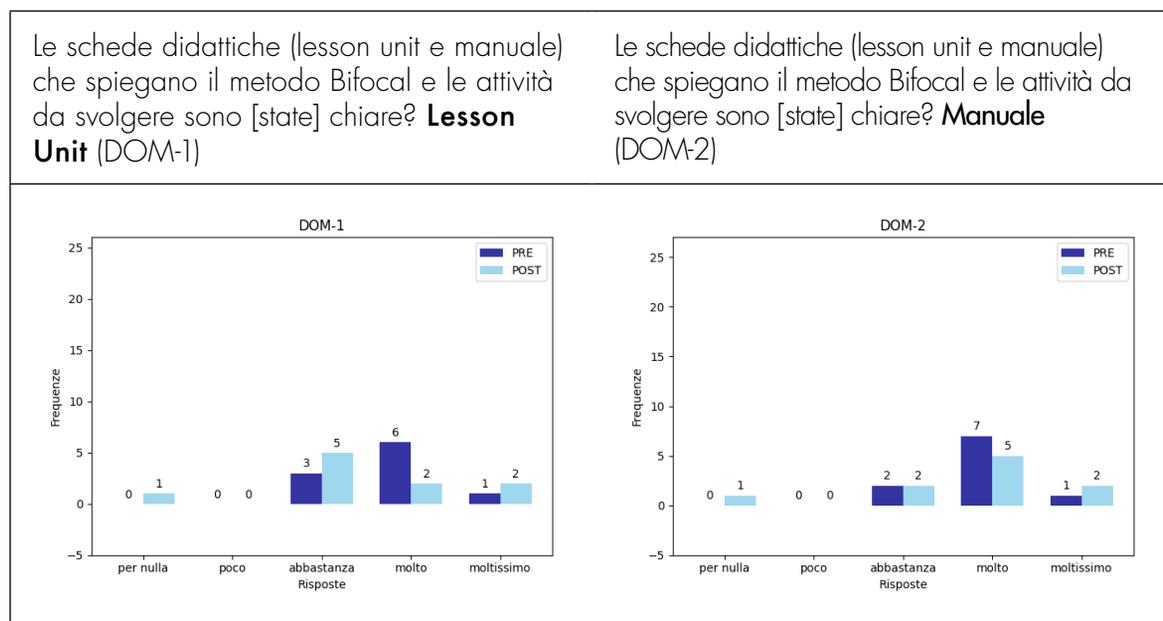
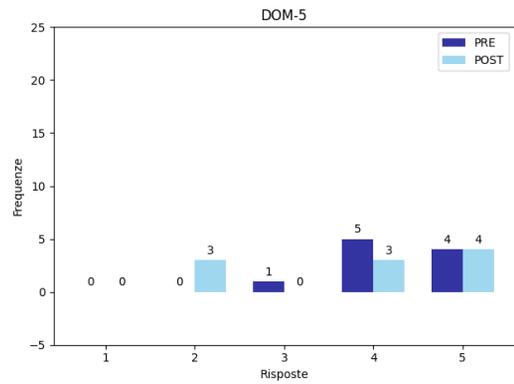
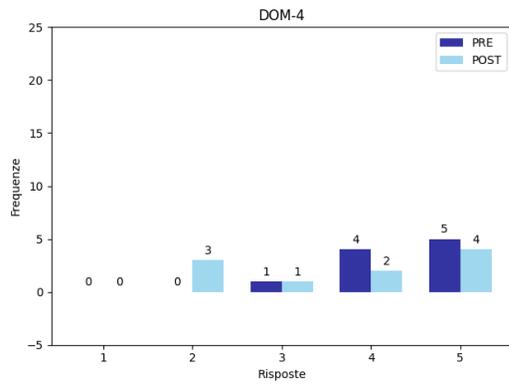


Fig. 13 - Domande 1, 2.

Favorire il cooperative learning. (DOM-4)

Sviluppare il pensiero critico. (DOM-5)



Sviluppare le capacità di modellizzazione degli studenti. (DOM-6)

Sviluppare le capacità di osservazione degli studenti. (DOM-7)

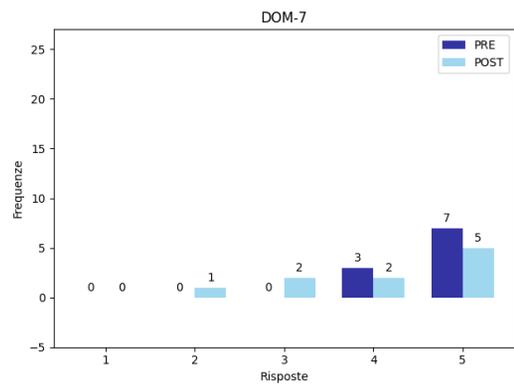
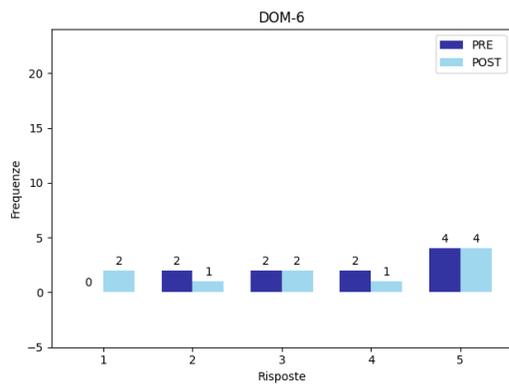


Fig. 14 - Domande 4, 5, 6, 7.

Rendere gli studenti più consapevoli dei propri progressi. (DOM-8)

Favorire il problem solving. (DOM-9)

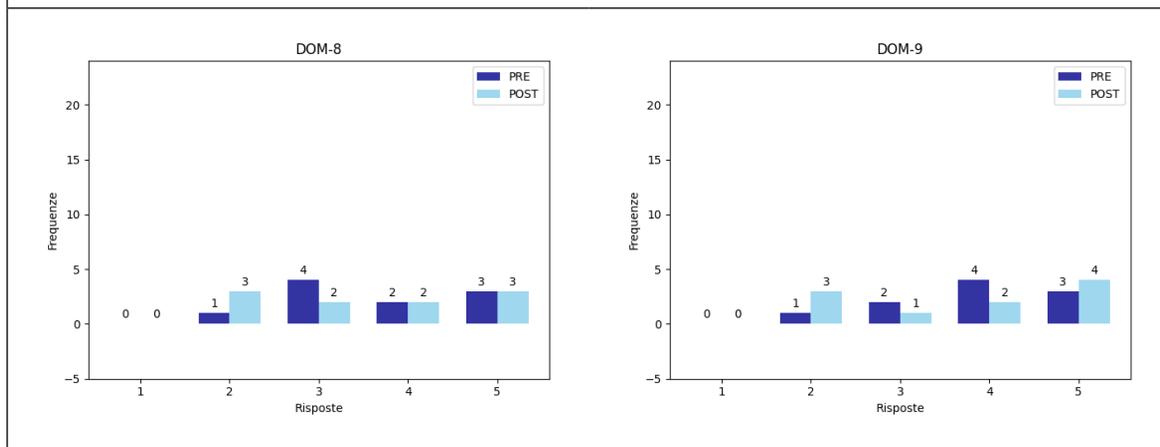


Fig. 15 - Domande 8, 9.

Sviluppare il metodo scientifico. (DOM-10)

Sviluppare le capacità di progettazione degli studenti. (DOM-11)

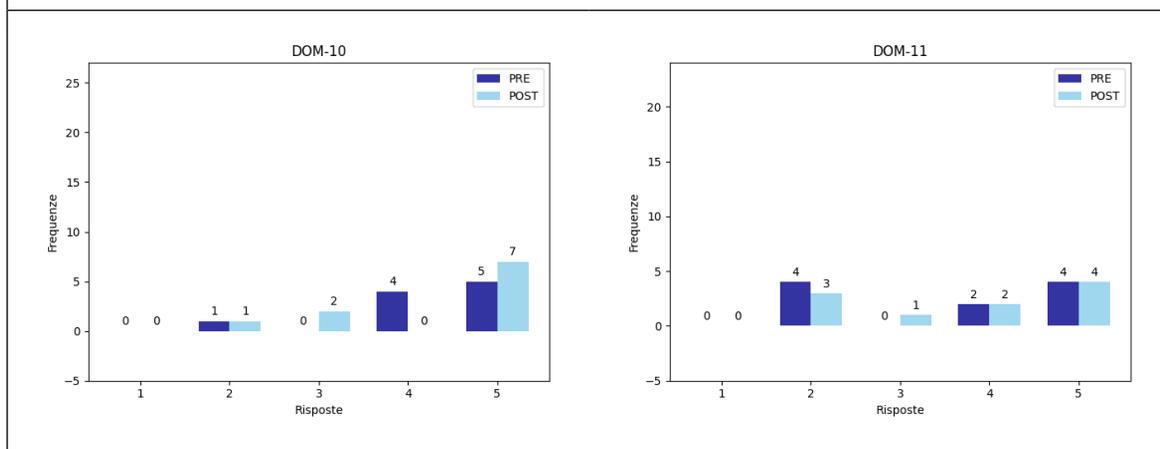


Fig. 16 - Domande 10, 11.

Percepire meglio l'apprendimento degli studenti. (DOM-12)

Aiutare i docenti nella didattica. (DOM-13)

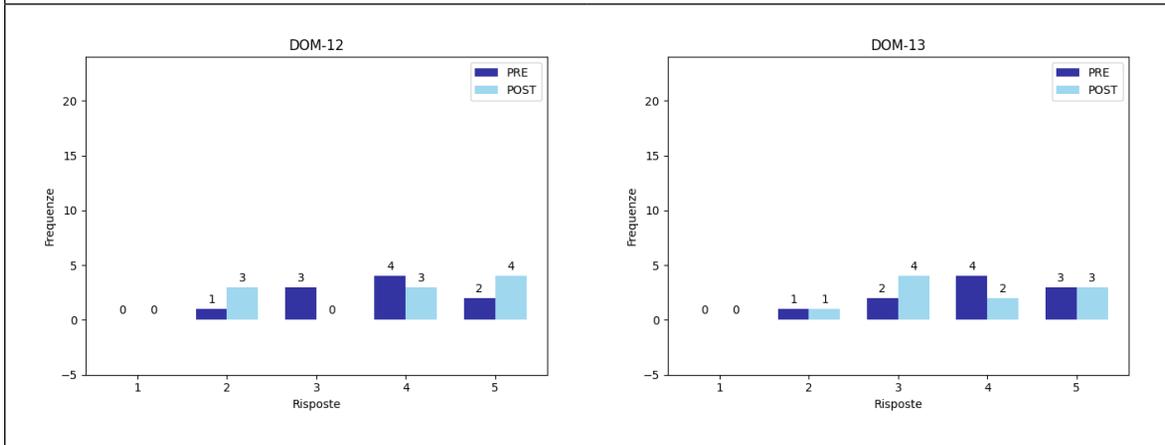


Fig. 17 - Domande 12, 13.

Nessuna delle domande ha mostrato un netto miglioramento nelle valutazioni, tuttavia, due domande meritano una riflessione più accurata.

La domanda DOM-6 in Fig. 14 sulla modellizzazione denota un leggero spostamento peggiorativo nelle risposte del questionario post, con due docenti che indicano “per niente”. Questo potrebbe essere interpretato come una riflessione negativa sull'utilità del metodo Bifocal per comprendere la modellizzazione ma non possiamo sapere se le specifiche risposte provengono da insegnanti che hanno riscontrato particolari problemi nella classe in cui hanno svolto la sperimentazione.

Infatti, anche dalla domanda DOM-7 in Fig. 14 si evidenziano risultati che contrastano con l'analisi effettuata sui questionari degli studenti del primo e del secondo ciclo: indica, infatti, un peggioramento nella capacità di osservazione degli studenti, un risultato che sembra contraddire quanto emerso

dall'analisi dei questionari, dove tali capacità invece risultano essersi rafforzate specialmente per quei fenomeni che sono stati simulati e gestiti dalla serra idroponica. Questa discrepanza solleva interrogativi riguardo alla coerenza delle risposte o alle differenze nella percezione delle competenze osservative tra gli studenti e gli osservatori esterni. Oppure, potrebbe riflettere aspettative eccessivamente elevate da parte dei docenti riguardo l'esito della sperimentazione, influenzando così la valutazione delle capacità degli studenti.

Anche per la metodologia Bifocal abbiamo una tendenza al peggioramento tra i dati del questionario ex ante e quello ex post. In questo caso le metriche analizzate sono state introdotte dal contesto “[Dopo aver sperimentato il metodo in classe,] esprima il suo grado di accordo sui seguenti aspetti relativi alla proposta del metodo Bifocal e alla sperimentazione [che sta per svolgere] [svolta]”.

In questa sezione, analizzabile con i grafici

di Figg. 18 e 19 emergono alcuni fattori che potrebbero aver influenzato negativamente l'esito della sperimentazione. In particolare, la domanda DOM-14 ha evidenziato che i compiti assegnati non sono stati percepiti come fattibili dagli studenti e sono risultati poco chiari. Inoltre, è stata segnalata una discrepanza tra il carico di lavoro richiesto e il tem-

po a disposizione dei docenti. Nonostante questi ostacoli, un riscontro positivo emerge dalla domanda DOM-17 in Fig. 19, attraverso la quale i docenti hanno riconosciuto la proposta come innovativa, indicando apprezzamento per il tentativo di rinnovamento didattico introdotto dalla sperimentazione.

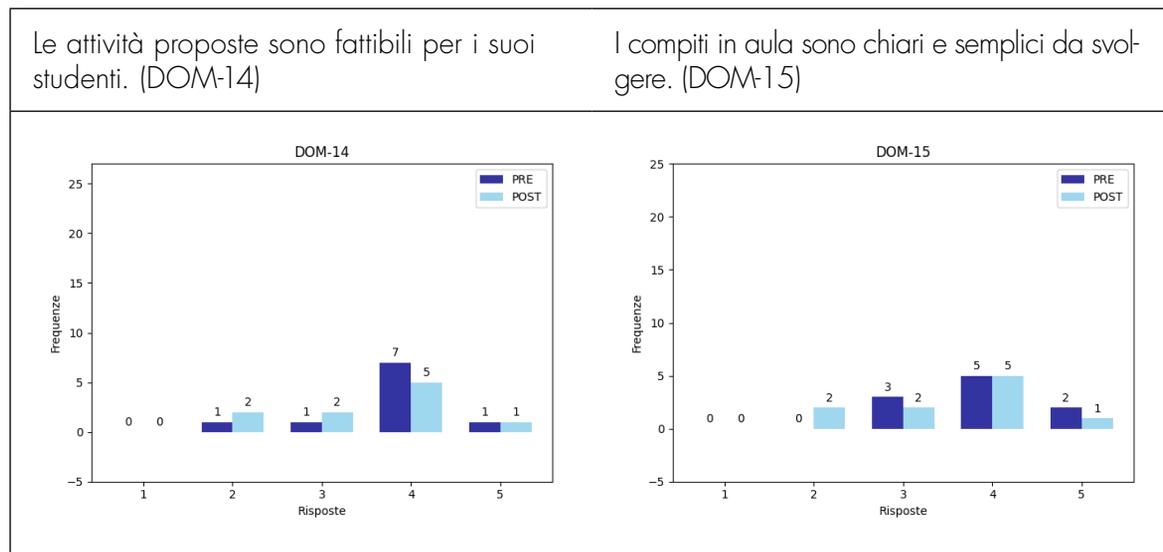


Fig. 18 - Domande 14, 15.

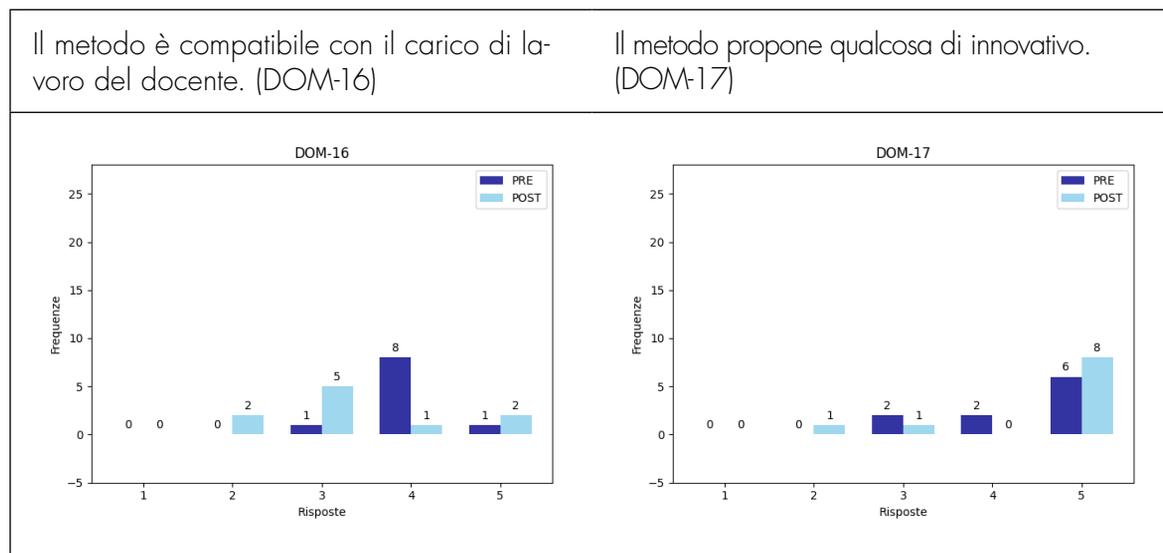


Fig. 19 - Domande 16, 17.

Un altro aspetto positivo emerso riguarda l'incoraggiamento alla collaborazione tra i docenti, come indicato dalle risposte alla domanda DOM-22 in Fig. 20. Tuttavia, sembra che la facilitazione del lavoro tra classi parallele non abbia ottenuto lo stesso successo, suggerendo che, mentre l'interazione tra insegnanti è stata stimolata, la cooperazione tra diverse classi non è stata altrettanto efficace. L'ultimo blocco di domande, visibile nei grafici di Figg. 21 e 22 si è concentrato su metriche più generali della sperimentazione, valutando aspetti come la capacità di osservazione dei fenomeni, la gestione della serra idroponica,

l'impiego del dSerra e la capacità di sviluppare modelli che rappresentino efficacemente i dati raccolti durante la crescita delle piante. Queste domande hanno misurato la profondità della comprensione e l'efficacia dell'applicazione pratica delle conoscenze acquisite dagli studenti nel contesto della sperimentazione. Le domande sono state introdotte da queste indicazioni: “[Dopo una prima lettura] [Nel corso del lavoro in aula] come [le sembrano] [sono risultate] le seguenti attività, considerando l’età dei suoi studenti: (usare una scala da 1 a 5, dove 1 = per niente adeguata; 5 = completamente adeguata)”.

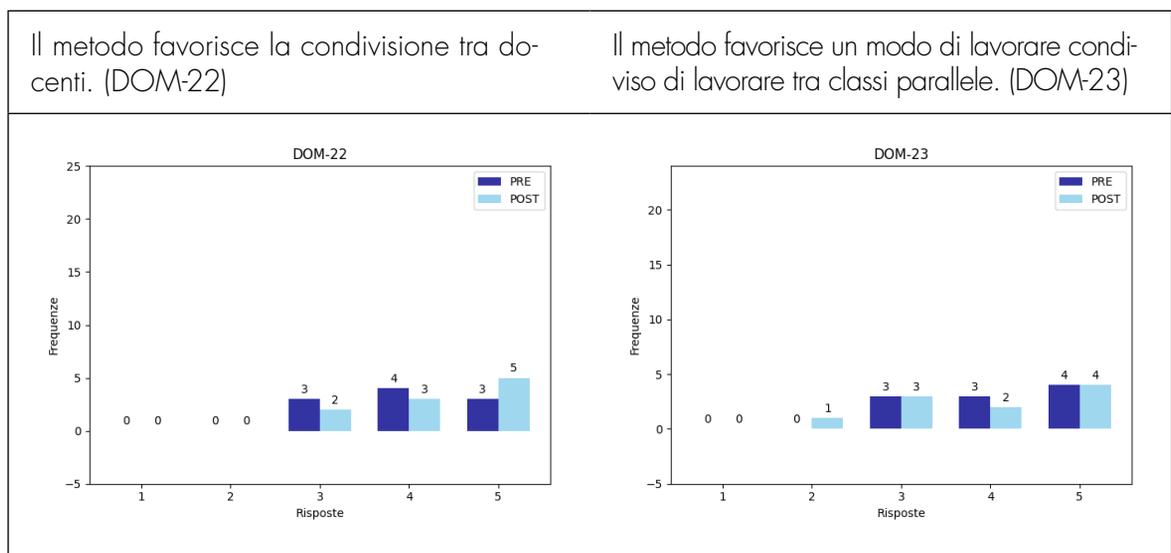


Fig. 20 - Domande 22, 23.

Osservazione della crescita della pianta.
(DOM-25)

Gestione della serra idroponica. (DOM-26)

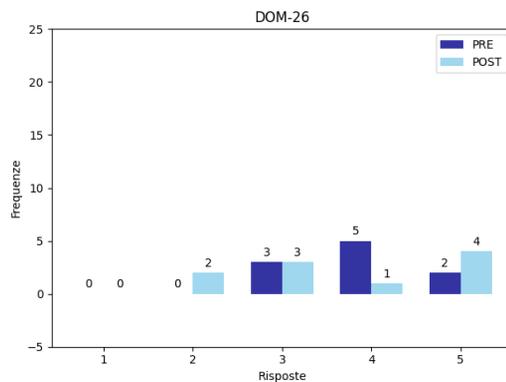
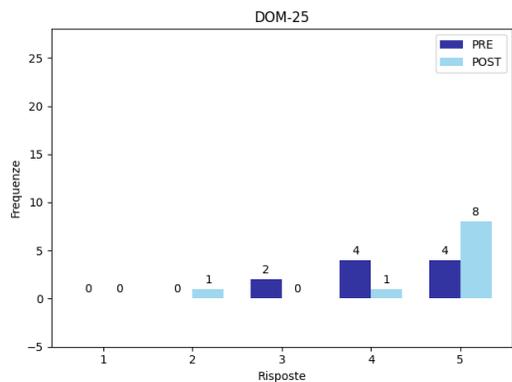


Fig. 21 - Domande 25, 26.

Utilizzo dSerra. (DOM-27)

Modellizzazione (dai dati al modello).
(DOM-28)

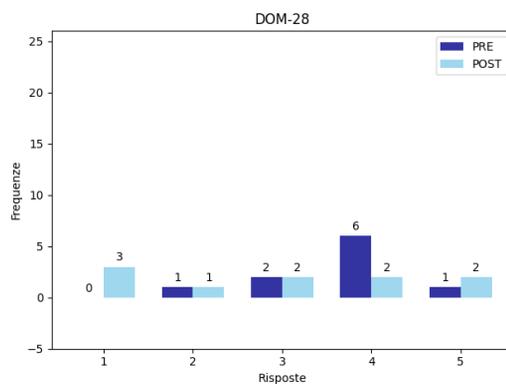
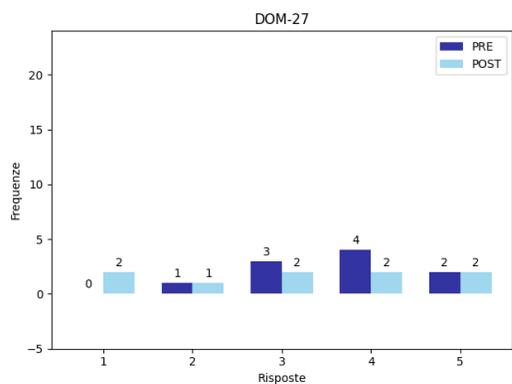


Fig. 22 - Domande 27, 28.

Anche in questo caso viene indicato un miglioramento per quanto riguarda la capacità di osservazione di fenomeni scientifici, come la crescita della pianta, mentre sono state segnalate difficoltà nella gestione della serra idroponica, del dSerra e nella capacità di realizzare modelli a partire dai dati raccolti.

In particolare, nella domanda 28 in Fig. 22, si nota un aumento dei giudizi negativi, che non può essere neppure ricondotto a una particolare fascia d'età: i 3 docenti che indicano "per niente adeguata" appartengono ai tre gradi scolastici coinvolti nella ricerca (primaria, sec di I grado e sec di II grado).

Analizzando complessivamente i dati raccolti, probabilmente si evidenzia una difficoltà generale nell'acquisizione delle competenze specifiche necessarie per una comprensione approfondita degli argomenti trattati nella sperimentazione. Questo ostacolo può essere attribuito al limitato tempo a disposizione dei docenti, il quale non ha permesso di ottimizzare i potenziali benefici educativi del percorso. Le metriche che hanno mostrato risultati generalmente positivi riguardano principalmente l'osservazione diretta delle variabili gestite dalla serra idroponica, la collaborazione tra i docenti e la percezione di partecipare a un'iniziativa innovativa, metriche che non sono direttamente dipendenti dall'acquisizione di competenze.

Questa situazione potrebbe anche spiegare la scarsa soddisfazione delle aspettative dei docenti, i quali potrebbero aver anticipato un cambiamento significativo rispetto alla routine quotidiana, richiedendo però l'acquisizione di competenze che non sono state pienamente sviluppate a causa delle restrizioni temporali.

4.3. Analisi critica dei questionari

In questa sezione saranno analizzati in modo critico e aggregato i risultati dell'indagine precedentemente illustrati.

4.3.1. Analisi dei dati relativamente alla capacità di modellizzazione e raccolta dati

Il progetto Maker@Scuola di INDIRE ha implementato una didattica laboratoriale basata sull'osservazione delle piante in serre idroponiche, integrando il Bifocal Modeling per combinare misurazioni analogiche e digitali. L'utilizzo del dSerra ha consentito il monitoraggio real-time delle variabili ambientali, supportando la costruzione di modelli dinamici per l'analisi delle relazioni causa-effetto.

Le sperimentazioni hanno rivelato un miglioramento nelle competenze scientifiche, principalmente per le variabili direttamente osservabili, mentre sono emerse difficoltà nella comprensione di fenomeni non misurabili direttamente. I docenti hanno evidenziato criticità nella gestione strumentale e nei tempi di implementazione, sebbene i questionari post-attività indichino un maggiore coinvolgimento degli studenti e un miglioramento nelle capacità osservative, particolarmente attraverso l'uso di video time-lapse, strumento disponibile nel dSerra.

L'analisi dei dati ha evidenziato risultati differenziati tra i cicli scolastici. Gli studenti più giovani hanno mostrato progressi significativi nella comprensione e applicazione della modellizzazione scientifica. Gli studenti più grandi, nonostante una solida base teorica, hanno manifestato difficoltà nel trasferimen-

to pratico delle conoscenze. I docenti hanno espresso la necessità di maggior supporto nel processo di modellizzazione, richiedendo materiali didattici più strutturati per la transizione dai dati al modello.

La sperimentazione ha anche messo in evidenza un potenziale significativo per l'integrazione della modellizzazione scientifica nella didattica, evidenziando progressi nella comprensione di cosa sia un modello scientifico e delle sue applicazioni pratiche, benché le difficoltà nell'applicazione dei concetti teorici rimangano una sfida.

Inoltre, mentre gli studenti hanno riportato un aumento delle competenze osservative e analitiche, i docenti hanno valutato con più scetticismo lo sviluppo delle capacità di modellizzazione, indicando una possibile discrepanza tra aspettative e risultati percepiti. Questo potrebbe riflettere una necessità di maggiore formazione per i docenti nel metodo Bifocal Modeling e nell'uso del dSerra.

Se andiamo a leggere le risposte aperte sulle criticità della sperimentazione troviamo maggiori indicazioni sull'opinione dei docenti nei confronti della modellizzazione. Un docente risponde: *“Il passaggio dai dati al modello, è stato difficoltoso perché, per me, è stato impossibile prendere le misure giorno per giorno (causa mancanza di tempo), quindi i dati sono radi e non si è in grado di determinare una curva che li approssima. Quello che si può fare è avere una indicazione qualitativa di come la variabile analizzata influenzi la crescita”*. Un altro indica, invece, come punto di forza *“Utilizzare la modellizzazione del fenomeno osservato predisponendo grafici in 2D”*.

Infine, laddove si chiede ai docenti dei suggerimenti per migliorare l'attività, tre docenti chiedono maggior supporto (ad esempio con delle schede guidate o degli esempi) nel passaggio tra la raccolta dati e lo sviluppo del modello.

È necessario ottimizzare i materiali didattici e le attività per garantire che i benefici del metodo siano percepiti e sfruttati appieno, sia dagli studenti che dai docenti. In sintesi, sebbene vi siano stati miglioramenti nella capacità di modellizzazione, il livello di progresso è strettamente correlato alla possibilità di osservare e manipolare le variabili durante la sperimentazione.

4.3.2 Analisi dei dati relativamente alla motivazione e sull'apprendimento degli studenti

L'implementazione delle serre idroponiche in ambito scolastico ha dimostrato in passato significativa efficacia nel promuovere consapevolezza alimentare e sostenibilità ambientale tra gli studenti (Guasti & Bei, 2022), adesso l'analisi integrata dei dati quantitativi e qualitativi rivela impatti differenziati sulla motivazione e l'apprendimento nei diversi cicli scolastici.

Nel primo ciclo, le risposte evidenziano un incremento dell'entusiasmo verso le attività laboratoriali e una maggiore consapevolezza ambientale, sebbene emergano difficoltà nella comprensione di fenomeni complessi come la funzione radicale in sistemi idroponici. Gli studenti del secondo ciclo hanno mostrato una valutazione più critica dell'esperienza, apprezzando l'approccio pratico

ma rilevando difficoltà nel collegamento teoria-pratica e nella gestione temporale delle attività. Sempre nel secondo ciclo, le risposte aperte hanno evidenziato una maggiore maturità nel valutare l'attività e una percezione critica più marcata. Gli studenti hanno apprezzato l'approccio pratico, descrivendolo come un'esperienza utile per "vedere come funziona davvero la scienza" e per "lavorare insieme su un progetto reale".

Un elemento significativo emerso trasversalmente riguarda il valore della collaborazione e lo sviluppo di competenze comunicative. La dimensione sociale dell'apprendimento STEM ha influenzato positivamente sia la motivazione che l'efficacia didattica. Si è inoltre osservato un incremento nella capacità di formulare domande e ipotesi, particolarmente evidente nel secondo ciclo.

L'analisi delle risposte dei docenti ha evidenziato l'efficacia dell'approccio nell'autonomia e partecipazione attiva degli studenti, pur segnalando criticità operative nella gestione tecnica e nell'integrazione teoria-pratica.

Molti docenti hanno sottolineato come l'osservazione diretta dei fenomeni e la raccolta dati abbiano aiutato gli studenti a comprendere meglio concetti scientifici spesso astratti. Tuttavia, alcuni hanno evidenziato una mancanza di preparazione iniziale che ha reso complessa l'introduzione del progetto in classe: è stato notato che una formazione più strutturata per i docenti potrebbe migliorare significativamente l'efficacia dell'attività, specialmente per integrare al meglio la dimensione teorica con quella pratica. Un aspetto particolarmente rilevante emerso dalle risposte aperte è la riflessione sull'impatto del pro-

getto sulla sostenibilità e sull'educazione civica: diversi docenti hanno sottolineato come le attività abbiano stimolato negli studenti una maggiore consapevolezza delle tematiche ambientali e dell'importanza di adottare comportamenti responsabili, non solo in ambito agricolo ma anche nella vita quotidiana. Questo risultato è stato percepito come un valore educativo di ampio respiro, capace di andare oltre le singole discipline.

I risultati complessivi confermano il potenziale educativo del progetto, evidenziando però aree di miglioramento nell'implementazione. L'esperienza ha dimostrato particolare efficacia nello sviluppo di competenze trasversali e nella promozione di una cultura della sostenibilità, configurandosi come strumento formativo significativo nel contesto educativo italiano.

5. Conclusioni e prospettive future

L'approccio sperimentale ha confermato l'efficacia di queste metodologie nel migliorare la comprensione dei fenomeni scientifici e nel valorizzare la modellizzazione come strumento di analisi, fornendo opportunità di apprendimento attivo e interdisciplinare. La ricerca ha tuttavia evidenziato criticità in tutte le fasi della sperimentazione, inclusa una limitata percezione dell'acquisizione di competenze da parte degli studenti. I risultati sottolineano l'importanza di integrare esperienze pratiche e approfondimenti teorici per potenziare l'educazione scientifica, offrendo indicazioni significative per ottimizzare il metodo e la sua applicazione didattica.

Un aspetto rilevante emerso dall'analisi riguarda le competenze degli studenti nello studio delle variabili ambientali. Sebbene si sia registrato un lieve miglioramento nella comprensione delle variabili legate ad acqua e luce, è stato osservato un lieve peggioramento nella comprensione della variabile 'aria'. Tale risultato può essere attribuito all'assenza di un controllo sperimentale diretto su questa variabile, reso complesso da limitazioni tecniche nella creazione di un ambiente adeguato. Questi dati indicano che, senza un approccio sperimentale pratico, l'apprendimento di concetti complessi risulta meno efficace, evidenziando i limiti di un approccio esclusivamente teorico.

Inoltre, un'analisi comparativa tra le risposte degli studenti di diversi cicli di istruzione ha evidenziato una maggiore capacità di astrazione nei ragazzi del secondo ciclo rispetto a quelli del primo ciclo; gli studenti più grandi hanno mostrato una migliore comprensione della modellizzazione scientifica e della relazione tra variabili.

Per quanto riguarda i docenti si rileva che le aspettative nei confronti della sperimentazione non sono state completamente soddisfatte, sia dal punto di vista dei materiali didattici di riferimento che da quello della strumentazione consegnata, ritenuta troppo complicata e con tempi di gestione non sempre compatibili con l'orario a disposizione per questo genere di attività. Alla luce di queste evidenze, sarà necessario riflettere sul miglioramento dei materiali didattici e sull'ottimizzazione delle dinamiche temporali della sperimentazione in classe, al fine di garantire un'attività didattica più efficace e sostenibile

per i docenti e gli studenti.

Nonostante le criticità, il progetto ha dimostrato l'efficacia dell'apprendimento laboratoriale nel migliorare la comprensione del ciclo vitale vegetale e nello sviluppo di competenze trasversali. I risultati confermano che l'osservazione diretta e la modellizzazione stimolano il pensiero critico e il problem solving. È fondamentale mantenere un equilibrio tra innovazione e sostenibilità della sperimentazione, potenziando la formazione docenti nell'uso delle tecnologie didattiche avanzate.

In futuro, al fine di migliorare l'attività didattica, sarà fondamentale:

- **ampliare l'integrazione curricolare:** estendere l'uso della serra idroponica ad altre discipline, promuovendo una didattica interdisciplinare e contestualizzata che rinforzi i collegamenti tra scienze, tecnologia, matematica, e anche competenze umanistiche;
- **personalizzare gli strumenti didattici:** sviluppare materiali più accessibili e adattabili alle esigenze delle diverse scuole e classi, fornendo risorse che favoriscano un'applicazione scalabile e sostenibile;
- **potenziare la formazione docenti:** rafforzare le competenze degli insegnanti nell'uso di strumenti tecnologici e metodologie innovative, per migliorare l'efficacia delle esperienze di apprendimento.

Dal punto di vista della ricerca, sarà interessante intraprendere uno studio longitudinale di lungo periodo, finalizzato a monitorare l'impatto delle attività proposte, con un'attenzione specifica al miglioramento delle com-

petenze scientifiche, metacognitive e relazionali degli studenti.

In conclusione, la sperimentazione con la serra idroponica ha rappresentato un'opportunità significativa per innovare la didattica laboratoriale e introdurre pratiche innovative nell'insegnamento delle scienze in ambito scolastico. L'importanza dell'osservazione scientifica e della modellizzazione dei fenomeni si pone come elemento centrale del percorso di indagine e ricerca, fornendo agli studenti gli strumenti necessari per acquisire una comprensione approfondita dei concetti complessi legati ai fenomeni che caratterizzano il mondo che li circonda.

Bibliografia

- Blikstein, P.** (2010, June). Connecting the science classroom and tangible interfaces: The bifocal modeling framework. In *Proceedings of the 9th International Conference of the Learning Sciences* (Vol. 2, 128-130).
- Blikstein, P.** (2014). Bifocal modeling: Promoting authentic scientific inquiry through exploring and comparing real and ideal systems linked in real-time. In S. Bakker *et al.* (Eds.), *Playful User Interfaces: Interfaces That Invite Social and Physical Interaction* (317-352). Springer.
- Blikstein, P., Fuhrmann, T., & Salehi, S.** (2016). Using the bifocal modeling framework to resolve “Discrepant Events” between physical experiments and virtual models in biology. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 513-526.
- DeBoer, G.E.** (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Dewey, J.** (1938). *Experience and education*. New York: Macmillan.
- Freudenthal, H.** (1991). *Revisiting Mathematics Education: China Lectures*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Fuhrmann, T., Guasti, L., Niewint-Gori, J., Macedo, L., Betti, M., D’Arco, R., & Blikstein, P.** (2021). Learning disabilities meet Bifocal Modeling: Experimenting with an innovative approach to inquiry in STEM education. Teachers College, Columbia University & INDIRE.
- Gardner, H.** (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic Books.
- Guasti, L., & Rosa, A.** (2017). *Maker@ Scuola. Stampanti 3D nella scuola dell’infanzia*. Firenze: Assopiù Editore, 91-106.
- Guasti, L., & Bei, G.** (2022). Survey on the use of hydroponic greenhouses in the classroom: Effects on students' eating habits. *Journal of Behavior and Feeding*, 2(2), 28-32.
- Guasti, L., Bassani, L., Sacco, M., Chiarantini, M., & Messini, L.** (2023). DSERRA: Pilot survey on the introduction of a new device to improve laboratory teaching, in a primary and secondary school. In *INTED2023 Proceedings*.
- Johnson-Laird, P.N.** (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Montessori, M.** (1912). *The Montessori Method*. New York: Frederick A. Stokes Company.
- Papert, S.** (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Vygotsky, L.S.** (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (Vol. 86). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wenger, E.** (1999). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wilensky, U., & Reisman, K.** (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—an embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171-209.
- Yakman, G., & Lee, H.** (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072-1086.
-