

Approcci collaborativi mediati dalle tecnologie per l'insegnamento delle scienze nella scuola secondaria

Technology-mediated collaborative approaches to science teaching in secondary schools

Alice Roffi*

Abstract

Il contributo presenta una ricerca sull'utilizzo di approcci collaborativi mediati dalle tecnologie per l'insegnamento delle scienze nella scuola secondaria di secondo grado. Lo studio descrive l'implementazione di uno scenario didattico sul tema "Acidi e basi", realizzato nell'anno scolastico 2023/2024 in una classe quarta di un istituto tecnico chimico. La ricerca adotta un disegno pre-post mixed methods, finalizzato a indagare l'impatto dell'intervento su atteggiamento verso le discipline scientifiche, apprendimenti, competenze collaborative e ulteriori effetti su studenti e insegnante. Le attività hanno integrato momenti di peer review collaborativa, lezioni euristiche, laboratorio e uso di strumenti digitali quali simulazioni PhET, Mentimeter e Padlet. I risultati quantitativi mostrano un miglioramento significativo negli apprendimenti, mentre non emergono differenze statisticamente significative né nell'atteggiamento verso la scienza né nelle competenze collaborative. I dati qualitativi, tuttavia, evidenziano un buon coinvolgimento degli studenti soprattutto nelle attività contestualizzate e supportate da tecnologie che favoriscono la visualizzazione dei processi e la riflessione. Emergono inoltre benefici sul piano della mediazione didattica e dello sviluppo professionale dell'insegnante. Sebbene siano necessari ulteriori studi con campioni più ampi e in differenti contesti, lo studio fornisce utili indicazioni per la pratica didattica: l'integrazione tra collaborazione, supporto tecnologico e contestualizzazione dei contenuti sembra sostenere l'apprendimento scientifico, pur richiedendo probabilmente tempi più lunghi e una progettazione più strutturata per incidere stabilmente su atteggiamenti e competenze collaborative.

Parole chiave: Approccio collaborativo; Didattica delle STEM; Tecnologie digitali; Progettazione didattica.

* Università degli Studi di Firenze, e-mail: alice.roffi@unifi.it.

Abstract

This paper presents an educational study on technology-mediated collaborative approaches for science teaching in upper secondary education. The research describes the implementation of a learning scenario on the topic of acids and bases, carried out during the 2023/2024 school year in a fourth-year class of an Italian technical secondary school specializing in chemistry. The study adopts a pre-post mixed-methods design aimed at investigating the impact of the intervention on students' attitudes toward science, learning outcomes, collaborative skills, and further effects on both students and the teacher. The instructional design combined collaborative peer review, heuristic lessons, laboratory activities, and the use of digital tools such as PhET simulations, Mentimeter, and Padlet. Quantitative findings show a significant improvement in learning outcomes, while no statistically significant changes emerged in students' attitudes toward science or in their collaborative skills. However, qualitative data highlight students' engagement, especially during contextualized activities supported by technologies that helped visualize scientific processes and foster reflection. Additional benefits also emerged in terms of teacher mediation and professional development. Although further studies with larger samples and in different contexts are needed, the study provides useful insights for teaching practice: the integration of collaboration, technological support, and content contextualization appears to support scientific learning, although it likely requires longer timeframes and more structured planning to have a lasting impact on collaborative attitudes and skills.

Keywords: Collaborative approach; STEM education; Digital technologies; Learning Design.

Article submitted: 18/04/2026; accepted: 29/06/2026

Negli ultimi anni, la didattica delle discipline scientifiche nella scuola secondaria è stata oggetto di una ampia riflessione pedagogica, resa necessaria dalle criticità di apprendimento rilevate soprattutto nel contesto nazionale. I dati italiani provenienti dalle indagini TIMSS e PISA evidenziano difficoltà sia nella secondaria di primo grado, sia nella secondaria di secondo grado, dove i livelli di competenza scientifica risultano inferiori alla media OECD (Palmerio, Caponera, 2021; OECD, 2016; 2023). A ciò si aggiunge una bassa attrattività dei percorsi STEM (Scienze, Technology, Engineering, Mathematics), che continua a rappresentare un problema nel panorama educativo nazionale (Tocchioni, et al., 2022).

La letteratura scientifica ha evidenziato la necessità di un cambiamento nell'approccio didattico che superi i modelli trasmissivi promuovendo pratiche didattiche che coinvolgano attivamente gli studenti nei processi di indagine, nella risoluzione dei problemi, nella costruzione condivisa della conoscenza, e nell'argomentazione scientifica (Panciroli e Rivoltella, 2025; Al-Balushi, Martin-Hansen, Song, 2023; Fiorentini, 2018). Tale prospettiva è in linea con la definizione corrente di literacy scientifica promossa dall'OECD (2017), che non si compone delle sole conoscenze disciplinari, ma comprende anche le dimensioni della conoscenza procedurale, relativa ai processi dell'indagine scientifica, e della conoscenza epistemica, ossia la comprensione del modo in cui le scienze producono, giustificano e validano il sapere.

Nella prospettiva quindi di innovare la didattica delle scienze, le strategie collaborative rappresentano un valido approccio, in cui la conoscenza scientifica diventa il risultato di una co-costruzione attraverso l'interazione tra pari (Vygotskij, 1978). Le tecnologie digitali possono supportare ulteriormente questo processo, come cognitive tool (Lajoie, 2000), cioè strumenti con cui apprendere possono alleggerire il carico cognitivo e permettere la realizzazione di attività difficilmente implementabili. La letteratura ha evidenziato un impatto positivo delle tecnologie nella mediazione delle attività collaborative in ambito scientifico, con un effect size di 0,51, e benefici non solo sui processi di apprendimento (Doz, 2020; Correia et al., 2019), ma anche sull'atteggiamento verso la scienza (Jeong, Hmelo-Silver, & Jo, 2019). In particolare, l'atteggiamento verso la scienza è un aspetto rilevante nell'apprendimento delle discipline scientifiche. Si tratta di un costrutto multidimensionale che può includere autoefficacia, divertimento, motivazione e l'intenzione a perseguire una carriera scientifica (Potvin, & Hasni, 2014), la cui promozione potrebbe favorire gli apprendimenti scientifici (Mao, et al., 2021).

Sulla base di queste premesse è stata condotta una ricerca nell'anno scolastico 2023/2024, oggetto del presente contributo, in una scuola secondaria di secondo grado sul tema "Acidi e Basi". Le attività didattiche progettate hanno alternato momenti collaborativi e momenti di lezione euristica, supportati dall'utilizzo di tecnologie digitali.

Le domande di ricerca (DR) che hanno guidato questo studio sono le seguenti:

DR1: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie può contribuire (e in quale misura) a migliorare l'atteggiamento degli studenti nei confronti delle discipline scientifiche?

DR2: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie può favorire (e in quale misura) l'apprendimento delle discipline scientifiche?

DR3: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie può promuovere (e in quale misura) le competenze collaborative degli studenti?

DR4: Quali ulteriori effetti può favorire un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie su studenti e insegnanti?

2. Metodologia

2.1 Disegno della Ricerca e formulazione delle Ipotesi

Il disegno della ricerca adottato è di tipo pre-post e prevede la raccolta di dati quantitativi e qualitativi secondo una strategia mixed method multilivello (Trinchero & Robasto, 2019), che consente di utilizzare approcci differenti per soggetti diversi e di far emergere prospettive complementari, valorizzando così la multidimensionalità del problema.

A partire dalle domande di ricerca, sono state formulate le seguenti ipotesi:

H1: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie contribuisce a migliorare l'atteggiamento degli studenti nei confronti delle discipline scientifiche rispetto alla condizione iniziale.

H2: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie favorisce l'apprendimento delle discipline scientifiche rispetto alla condizione iniziale.

H3: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie può promuovere le competenze collaborative degli studenti rispetto alla condizione iniziale.

H4: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie promuove ulteriori impatti positivi su studenti e insegnanti rispetto alla condizione iniziale.

2.2 Il campione e gli strumenti per la raccolta dei dati

Il campione è costituito da 15 studenti di una classe quarta di un istituto secondario ligure con indirizzo Tecnico Chimico (Genere: 7F e 8 M; Età: M = 16,8, Dev. St. 0,3). Si tratta di un campione di convenienza, dunque non probabilistico selezionato sulla base di criteri quali l'accessibilità, la prossimità geografica e la disponibilità alla partecipazione (Etikan et al., 2015).

Per la raccolta dei dati quantitativi e qualitativi, sono stati predisposti un questionario per gli studenti, diario riflessivo per l'insegnante, intervista semi-strutturata per l'insegnante.

Il questionario, somministrato agli studenti prima e dopo le attività didattiche, è articolato in 4 parti: una prima parte rileva l'atteggiamento verso la scienza, attraverso una dimensione della scala a 10 item del Test of Science Related Attitudes (TOSRA), "Attitude Toward Science" (Fraser, 1978). Tale scala indaga l'adozione di un atteggiamento scientifico, inteso come apertura mentale, disponibilità a rivedere le proprie opinioni e propensione all'investigazione scientifica, con opzioni di risposta su scala Likert. La seconda parte

valuta le competenze collaborative, attraverso l'utilizzo del Soft Skill Self-evaluation Questionnaire (3SQ), composto da 41 item su scala Likert (Lucisano & Du Mérac, 2019; Scippo, & Du Mérac, 2021) articolato in tre dimensioni: apertura a punti di vista ed esperienze differenti, collaborazione, e empatia, la capacità di comprendere pensieri e sentimenti altrui. La terza parte comprende 10 domande a risposta multipla per valutare gli esiti di apprendimento relativi allo scenario educativo. L'ultima sezione rileva invece la soddisfazione degli studenti rispetto alle attività svolte, al lavoro collaborativo e all'uso delle tecnologie, con domande chiuse e aperte.

Il diario riflessivo è stato sviluppato per documentare in itinere lo scenario educativo. Nella fase precedente all'implementazione richiede all'insegnante di riflettere sulla preparazione delle risorse e sulla loro utilità. Durante l'implementazione l'attenzione si concentra sulle situazioni di apprendimento significative, sul livello di partecipazione degli studenti, sulle dinamiche di classe e sulla gestione delle risorse tecnologiche. La fase finale introduce una valutazione complessiva ed eventuali cambiamenti. L'intervista semi-strutturata, condotta dopo l'implementazione, è stata invece sviluppata per approfondire la percezione dell'insegnante riguardo alla metodologia impiegata nella progettazione e conduzione dello scenario, agli effetti sugli studenti e ad altri aspetti positivi o critici.

2.3 Analisi dei dati

L'analisi dei dati quantitativi è stata svolta con SPSS. Dopo la verifica delle assunzioni di normalità tramite test di Shapiro-Wilk, i valori della scala TOSRA, dei risultati di apprendimento e delle dimensioni Collaborazione ed Empatia della scala 3SQ del pre e post-test sono risultati normalmente distribuiti, è stato quindi eseguito il test t per campioni appaiati. La dimensione Apertura, invece, ha mostrato una distribuzione non normale comportando l'utilizzo del test non parametrico Wilcoxon a campioni appaiati.

Per i dati qualitativi è stata condotta un'analisi di contenuto con il supporto della web app QCAmapp. Le risposte aperte del questionario sono state trattate mediante un processo di sintesi che comprende parafrasi del contenuto, generalizzazione e successive riduzioni, con l'obiettivo finale di costruire categorie di significato capaci di far emergere i temi principali. Per il diario riflessivo e l'intervista è stata effettuata un'analisi tematica secondo Braun e Clarke (2006): nel primo caso con approccio induttivo, nel secondo con approccio deduttivo, poiché le categorie emerse dai diari sono state utilizzate per analizzare l'intervista.

Tabella 1 - Categorie derivanti dall'analisi del diario riflessivo dell'insegnante e dell'intervista semi-strutturata. I numeri tra parentesi si riferiscono alle frequenze delle frasi o porzione di frasi codificate (DR = Diario riflessivo; I = Intervista)

Categoria ex post	Descrizione	Esempio di testo codificato del diario riflessivo	Esempio di testo codificato dell'intervista
Analisi 1			
Domanda guida: Quali elementi positivi emergono in merito all'impatto delle attività didattiche sulle variabili indagate?			
Impegno e comportamento positivo degli studenti (DR: 8; I: 4)	Riferimenti all'impegno e al comportamento degli studenti durante le attività didattiche (interesse, partecipazione e soddisfazione).	<i>Vale la pena sottolineare l'impegno del primo gruppo durante le attività di laboratorio. Hanno lavorato duramente, collaborando tra loro, ponendo domande sulla correttezza delle operazioni e superando le criticità.</i>	<i>E tra l'altro erano anche contenti gli studenti, cioè gli piaceva l'idea di contestualizzare una serie di argomenti chimici in un contesto reale.</i>
Risultati di apprendimento positivi per gli studenti (DR: 11; I: 23)	Riferimenti ai principali risultati raggiunti dagli studenti.	<i>Le metodologie utilizzate nel corso del progetto sono state sicuramente utili e hanno permesso la crescita delle competenze di coloro che avevano acquisito le conoscenze necessarie.</i>	<i>Diciamo che prendendo il campione di ragazzi (circa un terzo della classe) sono venuti fuori dei lavori veramente notevoli</i>
Analisi 2			
Domanda guida: Quali sono state le criticità durante l'implementazione delle attività didattiche e quali le soluzioni adottate?			
Criticità nei risultati di apprendimento degli studenti (DR: 13; I: 14)	Riferimenti alle criticità nel raggiungimento dei risultati dell'attività.	<i>Pochi hanno capito che per ottenere dati significativi era necessario partire da soluzioni dei due acidi alla stessa concentrazione.</i>	<i>Il problema di questi progetti, naturalmente, è che non tutti hanno questa capacità, per non dire volontà, di studiare; quindi, fanno cose come il copia e incolla e non si rendono nemmeno conto di quello che stanno dicendo.</i>

Scarso impegno e interesse degli studenti (DR: 7; I: 2)	Riferimenti alle criticità affrontate dagli insegnanti per coinvolgere e interessare gli studenti.	<i>La fase delle lezioni più convenzionali è stata la parte meno apprezzata dell'intero percorso.</i>	<i>Qualcuno mi ha detto che non ha fatto i compiti perché non sapeva cosa fossero le fonti, dopo che ho passato un'ora in classe a spiegare e a commentare tutti i siti</i>
---	--	---	---

Analisi 3

Domanda guida: Con quali modalità sono state condotte le attività e quali cambiamenti (se pertinente) sono stati effettuati alla progettazione?

Gestione delle attività (DR: 27; I: 7)	Riferimenti alla gestione dell'attività da parte dell'insegnante, supporto per gli studenti, l'uso della tecnologia.	<i>L'insegnante ha stabilito con gli studenti i punti chiave dell'argomento da sviluppare nella relazione.</i>	<i>Quindi, ho anche detto che dovete aprire i siti, dovete leggere.</i>
Organizzazione ambientale (DR:5; I: 1)	Riferimenti all'ambiente di apprendimento, come la posizione dei banchi, l'uso dei laboratori.	<i>È stata prenotata un'aula informatica. In seguito, durante i lavori di gruppo, gli studenti hanno potuto utilizzare i telefoni cellulari o i tablet per collegarsi al sito di PhetColorado.</i>	<i>Assolutamente bene e non glielo farei più fare sul cellulare, perché diventa un po' dispersivo, lo schermo è troppo piccolo, secondo me non ce la fanno, è veramente difficile.</i>
Cambiamenti nella progettazione degli scenari educativi (DR: 6; I: 7)	Riferimenti ai cambiamenti nella progettazione dello scenario educativo avvenuti durante le attività.	<i>Le relazioni sono state fatte individualmente a casa, piuttosto che in piccoli gruppi in classe.</i>	<i>A mio parere abbiamo forse dedicato troppo tempo alla discussione delle fonti.</i>
Ulteriori aspetti (I: 7)	Riferimenti a elementi non inclusi nelle categorie precedenti.	-	<i>Ho imparato che più si riesce, diciamo, a mostrare un processo [...] più è facile spiegare dopo</i>

2.4 La progettazione dello scenario educativo

La progettazione dello scenario educativo è stata realizzata come co-progettazione tra ricercatore e insegnante, in un processo articolato in due fasi (Roffi, 2024): una fase di concettualizzazione, nella quale sono stati delineati gli aspetti iniziali dello scenario – obiettivi, contenuti e strategia pedagogica – in relazione

ai vincoli del contesto (Pozzi et al., 2016). Tale fase è stata supportata da un gioco digitale, 4Ts game (Cereginì, Persico, Pozzi, Sarti, 2019), il cui modello prevede la definizione di quattro dimensioni: Task (attività da completare), Time (tempo dedicato alla attività didattica), Team (la modalità con cui gli studenti svolgono l'attività, se individualmente o in piccoli/grandi gruppi) e Technology (le risorse tecnologiche necessarie per completare l'attività). Definita la struttura macro, si è quindi proceduto a un livello micro di dettaglio mediante una scheda specifica, utile a precisare moduli, fasi, e risorse necessarie, comprese quelle digitali.

Lo scenario educativo progettato riguarda la chimica, in particolare l'argomento "Acidi e Basi", ed è strutturato in tre moduli che alternano attività di peer review collaborativa e lezioni euristiche. La peer review collaborativa prevede la produzione di un artefatto da parte dei gruppi – nel primo modulo una procedura di laboratorio, nel secondo un elaborato sui sistemi acido-base nel corpo umano –, la formulazione di feedback da parte di un altro gruppo mediante una griglia di valutazione con domande guida per l'analisi critica, e infine la revisione del proprio prodotto sulla base dei feedback ricevuti (Tabella 2).

Tabella 2 - Sintesi dello scenario educativo implementato

Acidi e basi	
Abstract	Una volta conosciute le leggi dell'equilibrio chimico e partendo dalle definizioni, si affrontano i concetti di acido e base forte e debole, si definisce la funzione pH e come calcolarla e determinarla sperimentalmente. Gli argomenti vengono successivamente contestualizzati nella realtà quotidiana.
Struttura dello scenario educativo	Lo scenario educativo è stato strutturato in 3 moduli: Modulo 1 – Approccio collaborativo (peer review) per lo sviluppo di una procedura di laboratorio per il riconoscimento di un elettrolita forte e un elettrolita debole, segue prova di laboratorio per testare la procedura sviluppata. Modulo 2 – Lezioni euristiche¹ e prove pratiche di laboratorio in gruppo sulle teorie di Arrhenius, Bronsted e Lowry, Lewis; sulla forza degli acidi e delle basi; costanti di dissociazione acida e basica; definizione di pH e calcolo del pH di acidi e basi forti, acidi e basi deboli. Soluzioni tampone. Idrolisi; titolazioni acido-base e teoria degli indicatori.

¹ Lezione interattiva in cui l'insegnante alterna brevi esposizioni a domande o frasi non complete, coinvolgendo lo studente nella costruzione del contenuto e nelle problematizzazioni sollevate (Bonaiuti, Calvani, Ranieri, 2016).

Modulo 3 – Approccio collaborativo (peer review) al fine di produrre un elaborato sull'importanza delle soluzioni tampone nel corpo umano, cercando informazioni online.

Supporto tecnologico	• Sviluppo di una procedura di laboratorio per riconoscere un elettrolita forte da uno debole (Simulazioni su computer, Phet Colorado). • Identificazione dei concetti chiave di un argomento (presentazione interattiva, Mentimeter) • Sintesi dei concetti (lavagna collaborativa, Padlet, e software di presentazioni)
Parole chiave	Acidi, basi, pH, apprendimento collaborativo, lavagne collaborative digitali, simulazioni
Obiettivi	Promuovere la comprensione dei concetti chiave relativi agli equilibri acido-base e alle soluzioni tampone, nonché la loro applicazione nell'interpretazione dei fenomeni chimici e nella risoluzione di problemi. Sviluppare competenze operative nell'analisi delle titolazioni e competenze trasversali di analisi, sintesi, presentazione e ricerca critica di informazioni online.
Durata (h)	30h

3. Risultati

3.1 H1: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie contribuisce a migliorare l'atteggiamento degli studenti nei confronti delle discipline scientifiche rispetto alla condizione iniziale

Per verificare l'ipotesi H1, sono stati analizzati i dati della scala TOSRA. Il valore dell'atteggiamento degli studenti è passato da 29,4 nel pre-test ad un valore nel post-test di 30,2, il cui confronto non ha evidenziato differenze significative (l'ipotesi H1 non risulta confermata). Sebbene sia stato osservato un incremento nei valori, lo scenario educativo sembra non aver prodotto un cambiamento rilevabile. Questo non esclude tuttavia la presenza di interesse o coinvolgimento, come emerge dai dati qualitativi. La scelta di considerare i dati qualitativi su coinvolgimento e interesse deriva dal fatto che l'atteggiamento verso le scienze è un concetto multidimensionale, in cui tali variabili giocano un ruolo rilevante (Haynes et al., 2023). Sono state considerate le categorie “Impegno e comportamento positivo degli studenti”, “Scarso impegno e

interesse degli studenti”, “Cambiamenti nella progettazione degli scenari educativi”

Sono state infatti documentate situazioni di partecipazione attiva, come nel Modulo 3, in cui un gruppo di studenti ha mostrato un buon livello di partecipazione e comprensione dei concetti chimici alla base dei processi fisiologici. Secondo l’insegnante, ciò è stato favorito dalla possibilità di contestualizzare i contenuti in una situazione reale (Dall’intervista: “[...] piaceva questa idea di contestualizzare una serie di argomenti chimici in un contesto, diciamo, reale”).

Accanto a questi aspetti, l’analisi tematica mette in luce anche episodi di scarso impegno e interesse. Nel Modulo 1, ad esempio, un gruppo ha lavorato con difficoltà a causa di prerequisiti deboli e studio domestico incostante, determinando una divisione della classe in due macrogruppi con ritmi differenti. Questa situazione ha comportato anche modifiche nei tempi delle attività, poiché l’insegnante ha dovuto dedicare più ore al gruppo meno coinvolto per accompagnarlo nello sviluppo della procedura di laboratorio. Una diminuzione dell’interesse è stata rilevata anche durante le lezioni euristiche, la parte di attività meno apprezzata dagli studenti e più problematica in termini di attenzione.

Dal punto di vista degli studenti, l’argomento è stato giudicato interessante da 7 studenti su 15, soprattutto per la possibilità di acquisire nuove conoscenze ($N = 4$), per il collegamento con contesti reali ($N = 2$) e, in un caso, per la sua utilità; 6 studenti lo hanno ritenuto “abbastanza” interessante, attribuendo questo giudizio più alle caratteristiche di alcune attività che all’argomento in sé, mentre 2 studenti non lo hanno apprezzato affatto.

3.2 H2: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie favorisce l’apprendimento delle discipline scientifiche rispetto alla condizione iniziale

Per quanto riguarda l’ipotesi H2, i dati relativi all’apprendimento mostrano che il punteggio del post-test è significativamente superiore a quello del pre-test, con un effetto moderato (D di Coehen = 0,7), indicando quindi che l’approccio proposto sembra favorire l’apprendimento degli studenti.

Questo risultato trova conferma anche nei dati qualitativi, che riportano diverse situazioni significative di apprendimento, in particolare nelle categorie “Risultati di apprendimento positivi per gli studenti”, “Gestione delle attività” e “Criticità nei risultati di apprendimento degli studenti”.

Durante lo sviluppo della procedura di laboratorio, uno studente ha scelto spontaneamente di riutilizzare la piattaforma Phet Colorado (già impiegata nelle fasi precedenti), mostrando di aver compreso la necessità di collegare i fenomeni microscopici agli effetti macroscopici per risolvere il problema (Dal

diario riflessivo: “[...] Questa azione è indicativa del fatto che lo studente ha capito che, per risolvere il problema, è necessario comprendere i fenomeni microscopici e quali sono gli effetti macroscopici”). Anche l'utilizzo di PhET Colorado ha sostenuto in modo efficace la comprensione del concetto di acido forte e debole, poiché ha reso possibile il collegamento tra effetti macroscopici ed effetti microscopici (Dall'intervista: “La difficoltà è che la chimica è una triangolazione [...]. Quindi, li avevano, diciamo, l'effetto macroscopico (la misura del pH o della conducibilità), e avevano l'effetto microscopico (vedevano l'atomo che si staccava) [...] poi l'equazione era scritta sotto”). Coerentemente con ciò, la maggior parte degli studenti (11/15) ha valutato positivamente il supporto delle tecnologie digitali, considerandole utili nello svolgimento dei compiti assegnati (12/15), mentre solo 3 studenti hanno assunto una posizione intermedia, dichiarando che esse non li hanno né aiutati né ostacolati.

Un altro elemento che potrebbe aver inciso sugli apprendimenti è stato lo scaffolding fornito dall'insegnante, che ha sostenuto il processo cognitivo degli studenti guidandoli al raggiungimento dell'obiettivo finale (Dal diario: “I. non era in grado di completare il compito. L'insegnante suggerisce di rivedere attentamente la simulazione, concentrandosi sulle differenze tra acidi deboli e forti. Questa osservazione guidata ha permesso allo studente di capire il passaggio chiave per risolvere il problema”).

Più in generale, l'insegnante ha evidenziato che le attività hanno contribuito non solo al miglioramento degli apprendimenti disciplinari, ma anche allo sviluppo di ulteriori competenze, quali la scrittura di relazioni in linguaggio scientifico, l'applicazione delle conoscenze in nuovi contesti e la selezione delle informazioni in base alla loro affidabilità. Resta tuttavia una criticità relativa alla costruzione della stringa di ricerca, poiché gli studenti hanno talvolta formulato ricerche scollegate dal contesto, ottenendo risultati non pertinenti all'argomento richiesto.

3.3 H3: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie può promuovere le competenze collaborative degli studenti rispetto alla condizione iniziale

Per verificare l'ipotesi H3 sono stati esaminati i dati della scala 3SQ relativi alle abilità collaborative. Non sono emerse differenze significative tra pre e post-test nelle dimensioni Apertura, Collaborazione ed Empatia, per cui l'ipotesi non risulta confermata. Sembra quindi che l'approccio utilizzato non abbia avuto un impatto sulle competenze collaborative degli studenti.

I dati qualitativi consentono però di contestualizzare questo risultato attraverso le categorie relative “Gestione delle attività”, “Organizzazione dell'ambiente”, “Cambiamenti nella progettazione dello scenario educativo”.

Le attività collaborative sono state gestite dall'insegnante secondo le seguenti modalità: nel primo modulo gli studenti sono stati divisi in coppie per lo sviluppo della procedura di laboratorio, mentre nella fase di peer review, l'insegnante ha creato gruppi di 4 studenti, invitando anche al confronto tra la propria procedura e quelle degli altri in una prospettiva di autovalutazione. In tutte le attività collaborative l'insegnante ha guidato la composizione dei gruppi cercando di accostare studenti con capacità simili e ha fornito maggiore supporto ai gruppi più fragili, soprattutto nel ragionamento deduttivo. Anche l'organizzazione dell'ambiente ha inciso positivamente, come mostra la prenotazione dell'aula computer per il primo utilizzo della piattaforma di simulazione, ritenuta utile per sostenere il lavoro collaborativo.

Nel Modulo 3, tuttavia, l'attività inizialmente prevista come collaborativa è stata trasformata in individuale a causa della non omogeneità degli studenti sul piano dell'impegno e dello studio, nel tentativo di evitare situazioni in cui il lavoro fosse svolto solo da uno o due membri del gruppo. Nell'intervista, l'insegnante dichiara di aver preferito il lavoro individuale sia per poter valutare meglio la comprensione di ciascuno, sia perché in alcuni casi appare più adatto allo sviluppo della capacità di sintesi e di applicazione delle conoscenze a contesti reali.

Dal lato degli studenti, la percezione del lavoro collaborativo è prevalentemente positiva: hanno infatti affermato di aver lavorato attivamente (11/15) o molto attivamente (1/15) in gruppo. Le ragioni di ciò sono da ricercarsi nell'apprezzamento del metodo collaborativo ($N = 5$) come sostegno all'apprendimento e come aiuto nei momenti di difficoltà, oppure la partecipazione attiva resa possibile dalla distribuzione dei ruoli ($N = 4$). Un caso segnala però una partecipazione molto attiva dovuta al fatto di aver svolto la maggior parte del lavoro, mentre un altro studente dichiara una partecipazione minore per una propria abituale tendenza a intervenire poco.

3.4 H4: Un approccio collaborativo mediato dalle tecnologie promuove ulteriori impatti positivi su studenti e insegnanti rispetto alla condizione iniziale

Per l'ipotesi H4 sono stati considerati gli "Ulteriori aspetti" emersi dal diario riflessivo, dall'intervista dell'insegnante e dalle risposte aperte degli studenti sui possibili miglioramenti dello scenario educativo. Dall'intervista emerge che l'approccio adottato ha avuto un impatto positivo sulle competenze dell'insegnante secondo due prospettive. Sul piano delle strategie didattiche l'insegnante ha rilevato che la spiegazione dei concetti scientifici risulta più facile da comprendere quando è preceduta dalla visualizzazione di un modello, fisico o

simulativo, e ha dichiarato l'intenzione di utilizzare questa modalità anche nella pratica futura.

Sul piano della progettazione didattica, è stata particolarmente apprezzata la struttura dettagliata con cui è stata pianificata l'attività, giudicata molto utile e applicabile anche ad altri argomenti, sebbene sia dispendioso in termini temporali.

Per quanto riguarda gli studenti, la maggioranza ha espresso una valutazione complessivamente positiva dello scenario: 9/15 hanno affermato che non avrebbero cambiato nulla, mentre 4 hanno suggerito alcune modifiche, in particolare la necessità di più spiegazioni o di un diverso linguaggio espositivo ($N = 2$) e l'introduzione di un numero maggiore di attività collaborative ($N = 2$).

Tabella 3 - Statistiche descrittive e confronto tra medie dei valori delle scale TOSRA, 3SQ e valori apprendimento

	PRE-TEST (N = 15)	POST-TEST (N = 15)	Confronto
TOSRA	M = 29,4 St Dev = 3,7	M = 30,2 St Dev = 2,2	$t = -0,773$, $p > 0,05$, ns
Apprendimento	M = 3,1 St Dev = 1,3	M = 4,3 St Dev = 1,3	$t = -2,869$, $p < 0,05$
Apertura	M = 16,6 St Dev = 3,01	M = 16,1 St Dev = 2,4	$W = 35$, $z = 0,77$, $p > 0,05$, ns
3SQ Collaborazione	M = 16,6 St Dev = 3,01	M = 16,1 St Dev = 2,4	$t = 0,888$, $p > 0,05$, ns
Empatia	M = 14,4 St Dev = 3,8	M = 13,7 St Dev = 3,8	$t = 0,685$, $p > 0,05$, ns

4. Discussione

I risultati della ricerca mostrano un quadro articolato, in cui si evidenzia risultati positivi sugli apprendimenti degli studenti, situazione che non è stata verificata per l'atteggiamento verso le scienze e le competenze collaborative. L'analisi qualitativa ha avuto un ruolo importante nell'interpretazione dei risultati, consentendo di comprendere i dati quantitativi alla luce delle condizioni in cui l'intervento è stato realizzato. In questa prospettiva, il diario riflessivo ha permesso la documentazione in itinere dell'implementazione delle attività

educative, attraverso la registrazione puntuale degli eventi significativi, mentre l'intervista ha avuto la funzione di approfondire quanto già rilevato.

Nel caso dell'atteggiamento nei confronti della scienza, i dati quantitativi non hanno dimostrato valori significativamente più alti rispetto alla condizione iniziale, per questa ragione si è reso necessario comprendere eventuali effetti sul piano dell'esperienza complessiva derivante dai dati qualitativi raccolti, nell'ottica di interpretare le dinamiche di classe avvenute durante l'implementazione delle attività. In questo caso, sono state documentate situazioni importanti dal punto di vista dell'interesse e coinvolgimento degli studenti soprattutto durante le attività di contestualizzazione dell'argomento. Probabilmente, l'apprezzamento per il trasferimento della conoscenza nel contesto reale, tramite un elaborato sui sistemi acido-base nel corpo umano, ha permesso agli studenti di essere maggiormente coinvolti nelle attività, come ha riportato l'insegnante durante l'intervista. Tuttavia, sono stati descritti anche episodi di scarso interesse, impegno e coinvolgimento, riconducibili sia alle caratteristiche degli studenti, specialmente coloro con uno studio incostante, sia alla tipologia dell'attività, dal momento che le lezioni euristiche sono risultate le meno apprezzate. L'insieme di questi elementi unitamente alla complessità del concetto di atteggiamento (Haynes, 2023) potrebbero suggerire la necessità di attività continuate nel tempo per avere degli effetti tangibili, escludendo quindi un beneficio nel breve termine.

Risultati significativi sono invece stati ottenuti negli apprendimenti degli studenti, i cui valori risultano maggiori rispetto alla condizione iniziale. I dati qualitativi confermano questo esito positivo sull'apprendimento, documentando inoltre ulteriori benefici sulle competenze scientifiche (utilizzo del linguaggio scientifico nelle relazioni) e trasversali (applicazione delle conoscenze in contesti nuovi e la selezione di informazioni). Anche l'utilizzo delle tecnologie digitali è stato descritto come un supporto all'apprendimento: nell'intervista è emerso che la piattaforma simulativa ha reso osservabili le relazioni (altrimenti astratte) tra livello macroscopico e microscopico, facilitando la comprensione. L'utilizzo di PhetColorado in diversi ambiti scientifici è stato associato ad un effetto positivo sugli apprendimenti (Doz, 2020; Correia et al., 2019), poiché permette la visualizzazione dei processi e di affrontare gli argomenti in ordine di complessità crescente. Anche lo scaffolding strutturato dall'insegnante è stato un altro fattore rilevante, che ha incluso azioni mirate a guidare l'attenzione degli studenti più fragili nell'utilizzo della piattaforma digitale, permettendo di considerarlo come uno strumento con cui apprendere, in accordo con la definizione di cognitive tool (LaJoie, 2000).

Passando alle competenze collaborative e all'assenza di miglioramenti è necessario considerare due prospettive. Da un lato, vi è una percezione sostanzialmente positiva dell'attività collaborativa da parte degli studenti e la mediazione

accurata di tali attività da parte dell'insegnante. Dall'altro lato, le differenze di impegno, partecipazione e studio individuale hanno reso in alcuni casi la collaborazione difficile, fino a indurre l'insegnante a trasformare una delle attività previste in forma collaborativa in un compito individuale. Queste evidenze mostrano come le attività collaborative richiedano una progettazione strutturata, in cui composizione dei gruppi, ruoli, obiettivi devono essere definiti a priori, e deve essere previsto un monitoraggio continuo, per evitare situazioni di ineguale distribuzione dei carichi di lavoro (Ranieri, 2022). Le e collaboratori (2018) hanno infatti sottolineato la necessità di prestare particolare attenzione agli aspetti progettuali e di gestione della collaborazione che, se non pianificati correttamente, possono rappresentare ostacoli all'esecuzione delle stesse. Grande rilevanza viene pertanto data alla mediazione del processo da parte dell'insegnante, che deve supervisionare la composizione dei gruppi, la graduale confidenza con la tecnica, la suddivisione dei ruoli, e la definizione di tempi e responsabilità. I dati qualitativi mostrano che l'insegnante ha predisposto condizioni favorevoli alla collaborazione, attraverso la composizione dei gruppi, l'organizzazione degli spazi e il supporto durante le attività. Tuttavia, la trasformazione di alcune attività collaborative in compiti individuali, motivata dalla disomogeneità dell'impegno e dalla necessità di valutare la comprensione dei singoli studenti ha ridotto le occasioni effettive di collaborazione. Alla luce di queste evidenze, il mancato miglioramento delle competenze collaborative potrebbe essere dovuto alla necessità di tempi più lunghi e di attività più prolungate nel tempo per arrivare a situazione collaborative ottimali.

Per concludere è interessante esaminare le percezioni dell'insegnante sugli effetti dell'intervento sul piano dello sviluppo professionale: in tal senso l'intervista descrive un incremento delle capacità sia a livello di progettazione didattica sia a livello di conduzione. Questo aspetto è particolarmente rilevante perché sottolinea come l'approccio di co-progettazione che coinvolge ricercatore e insegnante possa essere considerato una pratica utile per lo sviluppo professionale.

I limiti della ricerca portano ad essere più cauti nell'interpretazione dei dati, per cui saranno necessari ulteriori studi per approfondire quanto emerso. Il campione di convenienza è infatti ridotto dal punto di vista numerico e riferito a un solo contesto scolastico, quindi non rappresentativo della popolazione degli studenti italiani della secondaria. Questa limitazione non consente quindi generalizzazioni, pur offrendo interessanti indicazioni per le pratiche didattiche. Un'altra limitazione si può riferire alla misurazione della variabile apprendimento, valutata nella sola dimensione di apprendimento dei contenuti, non considerando ulteriori competenze scientifiche (come quelle epistemiche e procedurali), che sarebbe necessario approfondire in futuro con altri disegni di ricerca.

5. Conclusione

In conclusione, da un punto di vista delle implicazioni didattiche, i risultati di questa ricerca sembrano quindi indicare dei miglioramenti sugli apprendimenti degli studenti in attività didattiche centrate sulla contestualizzazione dei contenuti, visualizzazione dei processi (soprattutto quelli astratti) e supporto cognitivo degli studenti, accompagnandoli in un ragionamento riflessivo (tramite ad esempio guida verbale). In questo quadro l'utilizzo di tecnologie digitali come cognitive tool potrebbero avere contribuito a supportare gli studenti. Studi futuri dovranno far luce su campioni più ampi e in contesti differenziati, approfondendo il rapporto tra mediazione tecnologica, strutturazione della collaborazione e sviluppo delle conoscenze e competenze scientifiche.

Riferimenti bibliografici

- Al-Balushi S. M., Martin-Hansen L., & Song Y. (Eds.) (2023). *Reforming science teacher education programs in the STEM era: International and comparative perspectives*. Springer Nature.
- Bonaiuti G., Calvani A., & Ranieri M. (2016). *Fondamenti di didattica: Teoria e prassi dei dispositivi formativi*. Carocci.
- Braun V., & Clarke V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2): 77-101. Doi: 10.1191/1478088706qp063oa.
- Cereginì D., Persico F., Pozzi L., & Sarti L. (2019). The 4Ts game to develop teachers' competences for the design of collaborative learning. In: D. Burgos et al. (Eds.). *HELMETO 2019* (CCIS 1091, pp. 192-205). Doi: 10.1007/978-3-030-31284-8_15.
- Correia A. P., Koehler N., Thompson A., & Phye G. (2019). The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: Secondary school students' perceptions. *Research in Science & Technological Education*, 37(2): 193-217. Doi: 10.1080/02635143.2018.1487834.
- Day S. P., & Bryce T. G. K. (2013). The benefits of cooperative learning to socio-scientific discussion in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 35(9): 1533-1560. Doi: 10.1080/09500693.2011.642324.
- Doz D. (2020). L'insegnamento della conservazione dell'energia meccanica tramite le simulazioni online PhET. *Italian Journal of Educational Technology*, 28(1): 91-98. Doi: 10.17471/2499-4324/1131.
- Etikan I., Musa S. A., & Alkassim R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1. doi: 10.11648/j.ajtas.20160501.11.
- Fiorentini C. (2018). *Rinnovare l'insegnamento delle scienze: Aspetti storici, epistemologici, psicologici, pedagogici e didattici*. Aracne.
- Fraser B. J. (1978). Development of a test of science related attitudes. *Science Education*, 62(4): 509-515. Doi: 10.1002/sce.3730620411.

- Haynes M., Brown A., Nichols K., & Musofer R. P. (2023). Measurement of student attitudes to science and association with inquiry-based learning in regional schools. *International Journal of Science Education*, 45(8): 593-612. Doi: 10.1080/09500693.2023.2168138.
- Jeong H., Hmelo-Silver C. E., & Jo K. (2019). Ten years of computer-supported collaborative learning: A meta-analysis of CSCL in STEM education during 2005-2014. *Educational Research Review*, 28, 100284. Doi: 10.1016/j.edurev.2019.100284.
- Lajoie S. P. (2000). *Breaking camp to find new summits. Computers as cognitive tools*, 2.
- Le H., Janssen J., & Wubbels T. (2018). Collaborative learning practices: Teacher and student perceived obstacles to effective student collaboration. *Cambridge Journal of Education*, 48(1): 103-122. Doi: 10.1080/0305764X.2016.1259389.
- Lucisano P., & Rubat Du Merac E. E. M. (2019). Soft skills self-evaluation questionnaire (3SQ): Caratteristiche e proprietà psichometriche / Soft skills self-evaluation questionnaire (3SQ): Characteristics and psychometric properties. In: *Training actions and evaluation processes. Atti del Convegno Internazionale SIRD* (pp. 609-622). Pensa MultiMedia.
- Mao P., Cai Z., He J., Chen X., & Fan X. (2021). The relationship between attitude toward science and academic achievement in science: A three-level meta-analysis. *Frontiers in psychology*, 12, 784068. Doi: 10.3389/fpsyg.2021.784068.
- OECD (2016). *PISA 2015 results* (Vol. 1): *Excellence and equity in education*. Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Publishing. Doi: 10.1787/9789264266490-en.
- OECD (2017). *PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics, financial literacy and collaborative problem solving* (Revised ed.). OECD Publishing. Doi: 10.1787/9789264281820-en.
- OECD (2023). *PISA 2022 results* (Vol. 1): *The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. Doi: 10.1787/53f23881-en.
- Palmerio L., & Caponera E. (2021). *IEA TIMSS 2019. I risultati degli studenti italiani in matematica e scienze*. FrancoAngeli.
- Panciroli C., & Rivoltella P. C. (2025). *Didattica delle STEAM con gli EAS*. Morcelliana.
- Potvin P., Hasni A. (2014). Interest, motivation and attitudes toward science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research. *Stud. Sci. Educ.*, 50: 85-129. Doi: 10.1080/03057267.2014.881626.
- Pozzi F., Asensio-Pérez J. I., & Persico D. (2016). The case for multiple representations in the learning design life cycle. In: B. Gros, Kinshuk, & M. Maina (Eds.). *The future of ubiquitous learning: Learning designs for emerging pedagogies* (pp. 171-196). Springer.
- Ranieri M. (2022). *Competenze digitali per insegnare: Modelli e proposte operative*. Carocci.
- Roffi A. (2024). Attività collaborative e tecnologie digitali per le discipline scientifiche: un approccio alla co-progettazione didattica nella scuola secondaria superiore. In: V. Boffo, F. Togni (edited by). *La formazione alla ricerca. Il dottorato fra qualità*

- e prospettive future*, pp. 229-237, Firenze University Press. Doi: 10.36253/979-12-215-0504-7.24.
- Ranieri M., Sangrà A. (Eds.). *Exploring self-regulated learning in digital education: Learning design, technology and practice* (pp. 59-90). Pensa MultiMedia.
- Scippo S., & Rubat Du Mérac E. (2021). Criterion validation of the scales of autonomy, collaboration, empathy, problem-solving and self-confidence of the 3SQ: Soft Skills Self-evaluation Questionnaire adapted for lower secondary school. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies (ECPS Journal)*, 24, 9.
- Tocchioni V., Galluccio C., Morabito M. F., & Petrucci A. (2022). Students enrolled in STEM discipline in Italy: Patterns of retention, dropout and switch. In: *Book of the short paper SIS 2022* (pp. 0-0). Pearson.
- Trinchero R., & Robasto D. (2019). *I mixed methods nella ricerca educativa*. Mondadori Università.
- Vygotskij L. S. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard University Press. Doi: 10.2307/j.ctvjf9vz4.