Journal of Inclusive Methodology and Technology in Learning and Teaching
ISSN 2785-5104
Anno 6 n. 1 (2026)

EDIZIONI UNIVERSITARIE ROMANE
editoria scientifica dal 1952

RoboGreen. Ambienti multispecie e tecnologie: verso un ecopedagogia digitale per la sostenibilità

Giusi Boaretto [1]*, Arianna Marras [2]*, Alessio Carmine [3], Lorena Rocca [3] and Lucio Negrini [3, 1]

[1] Facoltà di Scienze della Formazione, Università degli Studi di Bolzano-Bozen, Bolzano, Italy; giboaretto@unibz.it;
[2] Dipartimento di Lettere, Lingue e Beni Culturali, Università degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italy; arianna.marras@unica.it;
[3] Dipartimento Formazione e Apprendimento / Alta Scuola Pedagogica (DFA/ASP), Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, Locarno; alessio.carmine@supsi.ch lorena.rocca@supsi.ch; lucio.negrini@supsi.ch;
* Correspondence: giboaretto@unibz.it; arianna.marras@unica.it;

Abstract: Negli ultimi anni, la ricerca pedagogica sulla sostenibilità ha posto crescente attenzione agli ambienti di apprendimento come ecosistemi materiali e relazionali, capaci di influenzare esperienze educative, benessere e pratiche di cura. In questo quadro si colloca il progetto *RoboGreen*, che mette in dialogo educazione multispecie e tecnologia con l'obiettivo di indagare il ruolo delle presenze vegetali nella configurazione degli spazi educativi. Il presente contributo presenta uno studio esplorativo condotto in un'aula universitaria *indoor*, osservata in due condizioni: senza piante e con piante. Lo studio ha integrato il monitoraggio strumentale di variabili ambientali (temperatura, umidità relativa e concentrazione di CO_2) con una rilevazione qualitativa delle percezioni dei docenti tramite un questionario online. I risultati mostrano che la configurazione multispecie è associata a una riduzione significativa dei livelli basali di CO_2 e a una maggiore stabilità igrometrica, pur in presenza di picchi di accumulo acuto che evidenziano la necessità di pratiche di ventilazione adeguate. Sul piano percettivo, i docenti esprimono una chiara preferenza per l'aula con le piante, associandola a maggiore benessere, accoglienza e qualità dell'esperienza educativa, sottolineando al contempo l'importanza della cura del vivente. Il contributo si inserisce così nel dibattito sulla progettazione di ambienti di apprendimento sostenibili, evidenziando il potenziale dialogo tra presenze multispecie e tecnologia in chiave ecologico-digitale.

Keywords: RoboGreen; sostenibilità; ecopedagogia; tecnologia; robotica educativa.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[1] Gli autori hanno concepito congiuntamente la struttura complessiva dell'articolo. Il lavoro è il risultato di un impegno collaborativo che vede Lorena Rocca e Lucio Negrini in qualità di responsabili scientifici. Nello specifico, il paragrafo 1, 3.1 e 3.2 è stato curato da Arianna Marras; il paragrafo 2 e 4.2 da Giusi Boaretto; il paragrafo 3.3 e 4.1 da Alessio Carmine; il paragrafo 5 è attribuibile ad Arianna Marras, Giusi Boaretto e Alessio Carmine. Tutti gli autori hanno contribuito alla stesura del paragrafo 6 e hanno approvato la versione finale sottoposta alla rivista.

EDIZIONI UNIVERSITARIE ROMANE
editoria scientifica dal 1952

1. Introduzione

All'interno delle prospettive dell'ecopedagogia e dell'ecodidattica, gli ambienti educativi sono concepiti come contesti complessi, in cui elementi materiali, corporei e presenze oltre-che-umane partecipano attivamente alla costruzione dei processi di apprendimento (Mortari, 2017; Weyland & Boaretto, 2025). In tale cornice si colloca l'educazione multispecie, che invita a ripensare le relazioni educative riconoscendo il ruolo pedagogico dell'alterità oltre-che-umana nella configurazione degli spazi e dei vissuti educativi. Il presente contributo presenta una fase preliminare del progetto di ricerca *RoboGreen*, che intreccia educazione multispecie e Robotica Educativa (RE) con l'obiettivo di promuovere forme di cittadinanza ecologico-digitale orientate alla responsabilità sistemica. Il progetto si fonda sull'ipotesi che le tecnologie educative, se ripensate oltre una logica puramente strumentale, possano agire come mediatori epistemici e relazionali, rendendo visibili le dimensioni materiali ed ecologiche dell'esperienza educativa. Il progetto approfondisce la dimensione materiale dell'aula attraverso l'analisi delle condizioni microclimatiche e della qualità dell'aria indoor, integrate con un'indagine sulla percezione dei docenti rispetto all'insegnamento in ambienti con e senza piante. Nel complesso, il contributo intende esplorare come la configurazione multispecie dell'aula incida sulle condizioni ecologiche e sulle modalità di esperienza e relazione con lo spazio educativo.

2. Framework teorico: Ambienti multispecie e tecnologie

La riflessione pedagogica contemporanea ha progressivamente messo in discussione modelli educativi che concepiscono l'ambiente di apprendimento come sfondo neutro dell'azione didattica (Orr, 1997; Weyland, 2014). Gli spazi educativi vengono così interpretati come ecosistemi materiali e relazionali, nei quali elementi fisici, biologici, tecnologici e sociali concorrono alla costruzione dei processi di apprendimento. All'interno di tale cornice si collocano l'ecopedagogia e l'ecodidattica, che propongono una lettura sistemica dell'educazione, attenta alle interdipendenze tra soggetti, ambienti e pratiche (Mortari, 2017). In continuità con questi approcci, l'educazione multispecie invita a riconoscere il contributo pedagogico delle presenze oltre-che-umane, in particolare del mondo vegetale, nella configurazione degli spazi educativi e dei vissuti che in essi prendono forma (Boaretto, in press; Kimmerer, 2013). Le piante vengono dunque considerate come componenti attive dell'ambiente educativo capaci di influenzare il benessere, l'attenzione e le posture di cura. Numerosi studi in ambito psico-pedagogico mostrano come la qualità ecologica, estetica e relazionale degli ambienti educativi incida sul benessere percepito, sull'attaccamento ai luoghi e sulla partecipazione attiva di studenti e docenti (Barrett et al., 2015; Rocca, 2019). Tali evidenze suggeriscono che la progettazione degli spazi possa contribuire a sostenere processi educativi orientati alla sostenibilità.

A tal proposito, i documenti di *policy* internazionali sottolineano l'urgenza di una trasformazione dei sistemi educativi in chiave sostenibile e digitale. L'UNESCO (2022), infatti, richiama la necessità di sviluppare competenze capaci di integrare

dimensioni ecologiche, sociali e tecnologiche, orientando l'educazione verso la responsabilità planetaria e la cittadinanza globale. In modo analogo, Kraftl e colleghi (2022) evidenziano come le trasformazioni digitali debbano essere pensate in relazione ai contesti materiali e ambientali, evitando approcci tecnocentrici e valorizzando invece pratiche educative situate e sensibili ai luoghi. All'interno di tale cornice di senso, il progetto *RoboGreen* si ispira agli esiti di un percorso dottorale dedicato allo studio degli ambienti educativi multispecie in contesti universitari *indoor*, indagando la relazione tra la presenza delle piante negli spazi di apprendimento e tre aspetti principali: il benessere percepito, l'attaccamento al luogo e lo sviluppo delle *GreenComp 2022* (European Commission, 2022). L'aula multispecie emerge, infatti, come ecosistema pedagogico capace di attivare processi di cura dello spazio e di sostenere posture di responsabilità, attenzione e coinvolgimento (Boaretto, 2025). Su questa base si innesta *RoboGreen* il cui obiettivo teorico-empirio è l'integrazione all'educazione multispecie della tecnologia, concepita come dispositivo ecologico-digitale e relazionale, capace di rendere visibili dinamiche materiali altrimenti invisibili, quali, ad esempio, la qualità dell'aria, la temperatura e l'umidità. In linea con approcci che intrecciano in particolare RE e sostenibilità (García-Holgado et al., 2020; Lu et al., 2025), la tecnologia viene interpretata non come strumento neutro, ma come mediatore cognitivo ed epistemico, in grado di sostenere letture sistemiche delle interdipendenze tra presenze vegetali, condizioni ambientali e benessere umano. *RoboGreen* integra educazione multispecie, evidenze empiriche sul benessere e sull'attaccamento ai luoghi e tecnologia in una prospettiva di ecopedagogia digitale, orientata alla formazione di soggettività ecologiche, critiche e corresponsabili, capaci di abitare consapevolmente le reti socio-ecologiche e tecnologiche che caratterizzano i contesti educativi contemporanei.

3. Metodologia di ricerca

3.1. Contesto e disegno di ricerca

Il progetto *RoboGreen* si configura come uno studio esplorativo a disegno comparativo, condotto in un'aula universitaria *indoor* del DFA/ASP della SUPSI, trasformata in aula multispecie attrezzata ed esplorata per un periodo di circa tre mesi. Il disegno di ricerca prevede due condizioni (Figura 1):

- A (controllo): aula senza piante (39 giorni, dall'8 gennaio al 17 febbraio);
- B (sperimentale): aula con piante (39 giorni, dal 17 febbraio al 28 marzo).

Figura 1. Contesto di ricerca nelle condizioni A (a sinistra) e B (a destra)



(**a**) (**b**)

Lo studio analizza l'effetto della presenza del mondo vegetale sulle condizioni ambientali dell'aula (temperatura, umidità relativa e concentrazione di CO_2) e sulla qualità percepita dello spazio educativo da parte dei docenti, assumendo la configurazione multispecie come variabile indipendente. Da un lato è stata condotta l'analisi delle variabili ambientali dell'aula, ipotizzando che l'introduzione delle piante contribuisca a migliorare le condizioni ambientali dello spazio educativo in termini di riduzione dei livelli basali di CO_2 e maggiore stabilità del *comfort* termoigrometrico. Dall'altro è stata indagata la percezione dell'esperienza educativa, analizzando se e in che modo la presenza delle piante influenzi la qualità percepita dello spazio di apprendimento. In tal senso, l'ipotesi sottesa è che i docenti manifestino una preferenza per l'aula multispecie, associandola a una maggiore qualità dell'ambiente e a condizioni più favorevoli allo svolgimento delle attività didattiche.

3.2. Strumenti di ricerca

Il monitoraggio ambientale ha preso in considerazione variabili utili a descrivere le condizioni microclimatiche dell'aula e la qualità dell'aria *indoor*, in particolare la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la concentrazione di anidride carbonica (CO_2). La rilevazione di tali parametri è stata effettuata mediante il dispositivo *Extech SD800*, un registratore progettato per la misurazione continua della concentrazione di CO_2, della temperatura e dell'umidità relativa in ambienti *indoor*. Il dispositivo utilizza un sensore NDIR (*Non-Dispersive Infrared*) a doppia lunghezza d'onda, che consente una rilevazione stabile della concentrazione di CO_2 senza necessità di manutenzione frequente. La frequenza di campionamento dei dati è stata impostata a un minuto, permettendo di catturare le rapide variazioni microclimatiche tipiche degli ambienti educativi. I valori rilevati sono visualizzabili in tempo reale tramite display e registrati su supporto digitale per le successive fasi di analisi. L'impiego di tale strumentazione ha consentito di raccogliere i dati ambientali in modo continuo e sistematico nelle due condizioni (A e B), garantendo la comparabilità delle

misurazioni e la tracciabilità delle variazioni microclimatiche nel tempo. Il sistema ha registrato tre variabili: temperatura dell'aria (T, risoluzione 0.1°C), umidità relativa (RH, risoluzione 0.1%) e concentrazione della CO_2, (risoluzione 1 ppm). La raccolta dati ha coperto l'intervallo temporale dall'8 Gennaio al 28 Marzo 2024, generando un *dataset* grezzo complessivo di 111.031 osservazioni.

Lo studio ha inoltre previsto la rilevazione della percezione di 28 docenti che frequentavano abitualmente l'aula, in relazione alle due configurazioni, mediante un questionario online *"Che fine ha fatto l'aula green?"*, somministrato tramite Google Moduli. Lo strumento è stato progettato per raccogliere valutazioni comparative tra l'aula nelle condizioni A e B ed era strutturato in una domanda chiusa sulla preferenza tra le due configurazioni e in domande aperte di approfondimento. Il questionario includeva immagini dell'aula nelle due condizioni, al fine di favorire una riflessione situata. Tale strumento è stato impiegato in modo complementare al monitoraggio ambientale, consentendo l'integrazione tra dati strumentali e dati percettivi.

3.3. Procedura di analisi dei dati

Prima dell'analisi statistica, i dati grezzi sono stati sottoposti a una procedura di validazione (*data cleansing*). Sono stati rimossi i valori di CO_2 inferiori a 350 ppm, considerati non fisiologici (inferiori al *background* atmosferico) e attribuibili ad artefatti strumentali. Successivamente, per focalizzare lo studio sull'effettiva esposizione degli studenti, è stato applicato un filtro temporale selettivo. L'analisi ha incluso esclusivamente i giorni feriali (lunedì-venerdì) e la fascia oraria di attività didattica (08:15 – 17:30), escludendo le rilevazioni notturne, i giorni festivi e i fine settimana. L'analisi ha previsto il calcolo delle statistiche descrittive e l'applicazione del test di *Mann-Whitney U* per verificare la significatività delle differenze nelle distribuzioni di CO_2, oltre all'analisi della correlazione di *Pearson* per lo studio delle dinamiche termoigrometriche.

4. Risultati

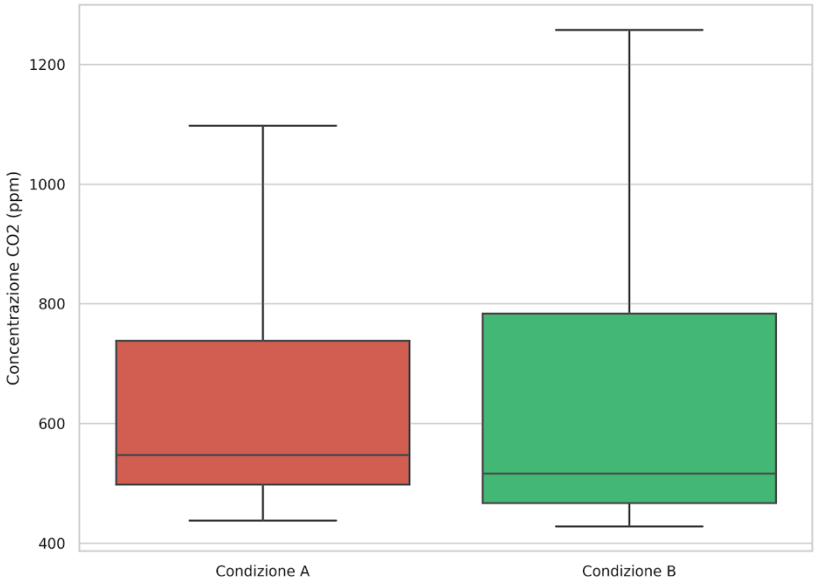
4.1. Risultati parametri ambientali

Variazioni nella concentrazione di CO_2. Il confronto tra le due fasi di monitoraggio mostra una chiara riduzione della concentrazione "basale" di anidride carbonica nel passaggio alla configurazione con piante. L'analisi della mediana ha rilevato un calo statisticamente significativo da 547 ppm (Condizione A) a 516 ppm (Condizione B). Tale decremento, pari al 5.7%, indica che, per la maggior parte del tempo di lezione, la presenza delle piante ha contribuito a mantenere l'aria di fondo più pulita. La significatività di tale variazione è stata confermata dal test di *Mann-Whitney U* (valore p 5.82×10^{-110}, $p<0.001$). Tuttavia, come evidenziato dalla distribuzione in Figura 2, l'analisi dei valori estremi mostra un *trend* differente per i fenomeni acuti. Nella condizione B (verde), nonostante la mediana più bassa, si

EDIZIONI UNIVERSITARIE ROMANE
editoria scientifica dal 1952

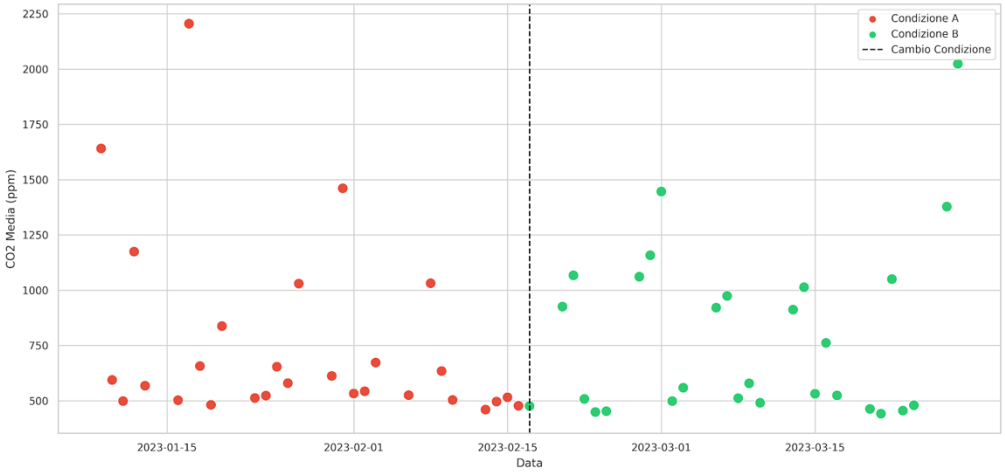
osserva una maggiore estensione verso l'alto del "baffo" superiore e dei valori anomali (*outliers*), con un aumento dei valori massimi assoluti fino a 4173 ppm.

Figura 2. Distribuzione statistica (Box-plot) delle concentrazioni di CO_2 rilevate nelle due condizioni (A e B). La linea interna al box rappresenta la mediana; i limiti del box indicano il 25°e 75° percentile (interquartile range).



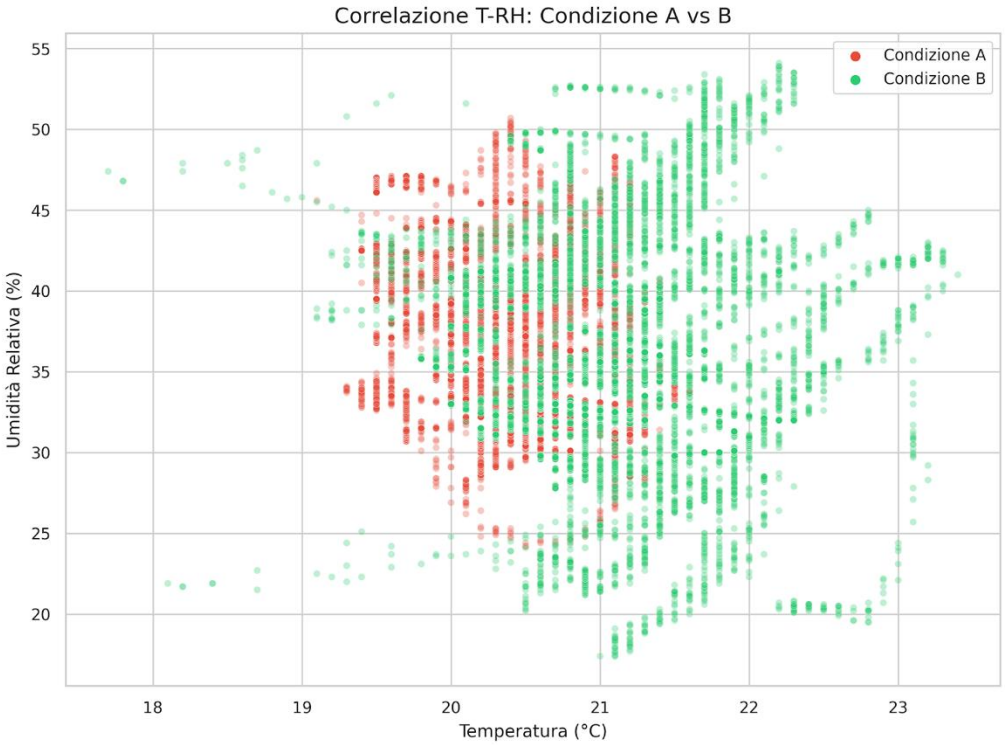
L'andamento temporale delle medie giornaliere (Figura 3) conferma tale dinamica. Mentre nella prima fase della Condizione B i valori medi si mantengono stabili o inferiori rispetto al controllo, verso la fine di marzo si registrano giornate con medie giornaliere significativamente più alte, che alzano la media complessiva del periodo.

Figura 3. Andamento cronologico delle medie giornaliere di CO_2 durante l'intero periodo di sperimentazione. La linea verticale tratteggiata indica il cambio di condizione: dalla A alla B.



Comfort Termoigrometrico e Disaccoppiamento. L'analisi dei parametri fisici ha evidenziato un cambiamento nelle relazioni termodinamiche dell'ambiente. Per quanto concerne la temperatura si è registrato un naturale incremento stagionale della temperatura media, passata da 20.4°C (condizione A) a 21.0°C (condizione B). Per l'umidità relativa, nonostante il riscaldamento dell'aria, la media di questo parametro ha mostrato una notevole stabilità, subendo solo una flessione marginale (dal 37.2% al 35.2%). Il dato più rilevante è il crollo della correlazione inversa tra Temperatura e Umidità, visibile chiaramente nello *scatterplot* di Figura 4. Mentre nella Condizione A (punti rossi) si osserva la tipica correlazione negativa ($r=-0.29$), indicativa di un'aria che si secca al salire della temperatura, nella condizione B (punti verdi) la nuvola di punti appare dispersa orizzontalmente con una correlazione quasi nulla ($r\approx-0.03$).

Figura 4. Relazione tra Temperatura e Umidità Relativa nelle condizioni A e B.



4.2. Risultati analisi percezione docenti

I risultati del questionario somministrato ai docenti evidenziano una valutazione ampiamente positiva degli ambienti educativi multispecie e, più in generale, della presenza del mondo vegetale negli spazi del DFA/ASP. La quasi totalità dei rispondenti (98,2%) esprime una preferenza per ambienti arricchiti da elementi naturali rispetto a configurazioni tradizionali, percepite come più spoglie, asettiche e meno accoglienti. La presenza delle piante è associata a un miglioramento della qualità complessiva dell'ambiente, con effetti positivi su: benessere percepito; disponibilità a permanere negli spazi; clima relazionale. Il mondo vegetale non viene concepito come elemento decorativo accessorio, ma come componente significativa dell'esperienza educativa. Dall'analisi delle risposte aperte emergono quattro macro-categorie tematiche che delineano una rappresentazione condivisa degli ambienti educativi multispecie:

- *Accoglienza e qualità dell'ambiente*: le piante sono associate a spazi più accoglienti, meno frontali e più "vivi", contribuendo a rendere l'aula più abitabile e a generare nuovi immaginari pedagogici dello spazio educativo.
- *Benessere emotivo e affettivo:* la presenza del verde è connessa a rilassamento, calma, armonia ed energia positiva, configurando gli ambienti multispecie come contesti che incidono sul clima emotivo e rendono l'esperienza educativa più piacevole.

- *Cura e gestione del vivente:* emerge una riflessione critica sulla manutenzione delle piante e sulla loro collocazione, che richiama la necessità di un equilibrio progettuale e di una responsabilità etica e pedagogica nei confronti del vivente.
- *Dimensione comunitaria e diffusione del verde*: i docenti auspicano l'estensione del verde a tutti gli spazi e forme di coinvolgimento della comunità accademica nella cura delle piante, intese come bene condiviso.

Queste categorie trovano una sintesi nella nuvola di parole (Figura 5), in cui termini quali *accogliente*, *piante*, *verde*, *vita*, *ambiente*, *piacevole* e *rilassante* risultano centrali. La prevalenza di lemmi afferenti alla dimensione emotiva e relazionale conferma che l'aula green è concepita non solo come spazio fisico, ma come ambiente educativo relazionale, capace di incidere sui vissuti, sulle pratiche e sulle rappresentazioni dell'apprendimento.

Figura 5. Nuvola di parole relativa percezione dei docenti sull'ambiente con e senza piante



5. Discussione

I risultati dello studio confermano che la configurazione multispecie dell'aula è associata a variazioni misurabili dell'ecologia materiale dello spazio e a una trasformazione delle modalità con cui tale spazio viene percepito e abitato dai docenti. Sul piano ambientale, la condizione con piante mostra una riduzione della CO_2 "basale" (mediana) rispetto alla condizione senza piante, accompagnata tuttavia dalla presenza di episodi di accumulo acuto più marcati. Sul piano percettivo, i docenti associano la presenza vegetale a maggiore accoglienza e benessere, introducendo al contempo una riflessione critica sulla responsabilità di cura e sulla gestione del vivente. Nel loro insieme, questi risultati delineano l'aula

come un ecosistema pedagogico complesso, in cui dimensioni biologiche, materiali e comportamentali risultano strettamente interdipendenti.

Qualità dell'aria indoor: efficacia sul "carico basale" e limiti nei picchi. La riduzione statisticamente significativa del 5,7% della mediana della CO_2 (da 547 a 516 ppm) osservata nella configurazione con piante indica che la biomassa vegetale ha esercitato un'azione costante di mitigazione del carico di fondo di anidride carbonica, risultato confermato anche da Torpy e colleghi (Torpy et al., 2014). È particolarmente rilevante osservare come tale riduzione della mediana si sia verificata nonostante l'aumento della temperatura media (+0,6 °C) registrato nella fase sperimentale, incremento che comporta fisiologicamente un aumento del tasso metabolico degli occupanti e, conseguentemente, della produzione endogena di CO_2. Il fatto che il livello di fondo risulti comunque inferiore rafforza l'ipotesi che la presenza vegetale abbia agito come *buffer* ambientale, migliorando la qualità dell'aria di base anche in condizioni potenzialmente più gravose dal punto di vista emissivo. Accanto a questo beneficio, emerge tuttavia un elemento critico: nella configurazione multispecie sono stati rilevati valori di picco superiori a 4000 ppm, significativamente più elevati rispetto alla condizione senza piante e in linea con le osservazioni di Stabile et al. (2016). Questo "paradosso dei picchi" evidenzia i limiti cinetici della fitodepurazione: la velocità di fissazione fogliare della CO_2 risulta nettamente inferiore rispetto al tasso di emissione antropica in condizioni di elevata densità di occupazione. Come sottolineato dalla letteratura (Cincinelli & Martellini, 2017) sulla qualità dell'aria *indoor*, le strategie di ventilazione naturale o meccanica rimangono imprescindibili per la gestione degli eventi acuti di accumulo. Una chiave interpretativa, in tale direzione, riguarda il possibile ruolo dei comportamenti adattivi degli occupanti. Il miglioramento del *comfort* termoigrometrico associato alla presenza delle piante potrebbe aver ridotto la percezione soggettiva di "aria viziata", disincentivando l'apertura delle finestre e contribuendo indirettamente all'emergere di picchi elevati.

Disaccoppiamento termoigrometrico e qualità ecologica dell'esperienza. Un risultato particolarmente significativo riguarda il disaccoppiamento osservato tra temperatura e umidità relativa nella configurazione con piante. Mentre nella condizione senza piante l'aula segue le consuete dinamiche psicrometriche (aumento della temperatura associato a una riduzione dell'umidità relativa), nella configurazione multispecie l'evapotraspirazione ha contribuito a stabilizzare l'umidità attorno a valori prossimi al 35%. Dal punto di vista della salute ambientale, questo dato assume un rilievo specifico: il mantenimento dell'umidità relativa in un range moderato è infatti associato a una riduzione della persistenza degli aerosol virali (Fjeld, 2000) e a una maggiore efficienza dei meccanismi di difesa delle vie respiratorie. In questa prospettiva, l'azione di bioclimatizzazione esercitata dalle piante ha contribuito a rendere l'ambiente dell'aula potenzialmente più resiliente rispetto alla trasmissione di patogeni aerotrasportati. Al di là delle

EDIZIONI UNIVERSITARIE ROMANE
editoria scientifica dal 1952

implicazioni sanitarie, la stabilità microclimatica osservata rafforza una lettura pedagogica dell'aula come ambiente ecologicamente regolato, in cui le condizioni materiali concorrono alla costruzione dell'esperienza educativa. La qualità termoigrometrica diventa così parte integrante dell'abitare didattico, incidendo su benessere, attenzione e disponibilità alla permanenza nello spazio di apprendimento.

Percezioni dei docenti: dall'accoglienza alla cura come dimensione pedagogica. I risultati del questionario di percezione mostrano una preferenza diffusa per la configurazione con piante e una rappresentazione dell'aula multispecie come spazio più vivo, accogliente e favorevole al benessere. Le quattro macro-categorie emerse (accoglienza e qualità dello spazio; benessere emotivo; gestione e cura; dimensione comunitaria) indicano che la presenza vegetale non viene interpretata esclusivamente in termini estetici, ma come elemento capace di incidere sulle posture emotive, sul clima relazionale e sul senso di abitabilità dell'ambiente educativo.

Considerati nel loro insieme, i risultati ambientali e percettivi rafforzano l'idea dell'aula come ecosistema pedagogico interdipendente. La presenza vegetale incide sia sulle condizioni microclimatiche sia sulle modalità di esperienza dello spazio, mentre le pratiche di utilizzo e di cura contribuiscono a modellarne gli esiti. È in questo intreccio che il progetto *RoboGreen* colloca i sistemi di monitoraggio ambientale (compresi gli strumenti propri della RE): non come strumenti puramente tecnici, bensì come mediatori epistemici capaci di trasformare il dato ambientale in occasione di lettura sistemica e di riflessione critica sull'abitare educativo. In questa prospettiva, la tecnologia contribuisce a sostenere lo sviluppo congiunto di competenze ecologiche e digitali, sia negli studenti sia nei docenti.

6. Conclusioni tra limiti e prospettive future

I risultati ottenuti consentono di rispondere in modo articolato alle ipotesi sottese allo studio. Sul piano ambientale, la configurazione con piante ha mostrato un miglioramento significativo della qualità dell'aria di fondo, evidenziato dalla riduzione della CO_2 mediana e da una maggiore stabilità dell'umidità relativa. Al contempo, l'emergere di picchi elevati di CO_2 conferma che la presenza vegetale non può essere intesa come soluzione sostitutiva delle pratiche di ventilazione, ma come fattore di regolazione lenta che agisce in sinergia con comportamenti e scelte organizzative. Sul piano percettivo, i docenti hanno espresso una chiara preferenza per l'aula multispecie, associandola a maggiore benessere, accoglienza e qualità dell'esperienza educativa, ma hanno anche evidenziato come la valenza pedagogica del vivente sia strettamente connessa alla continuità delle pratiche di cura. Tali evidenze rafforzano l'idea dell'aula multispecie come possibile laboratorio di cittadinanza ecologico-digitale, in cui dimensioni ecologiche, relazionali e tecnologiche si intrecciano. In questa cornice, la RE potrebbe emergere come

ponte tra la dimensione ecologica e quella digitale. I limiti dello studio sono legati alla mancanza di dati sul tasso di ricambio d'aria, alla possibile influenza di un *bias* stagionale e all'assenza di una caratterizzazione quantitativa della biomassa vegetale. In prospettiva, il progetto *RoboGreen* prevede l'analisi integrata dei dati ambientali in contesti più controllati, la progettazione e l'implementazione di un'unità di apprendimento eco-robotica con i docenti e lo sviluppo di linee guida, orientate alla progettazione consapevole di ambienti educativi multispecie e mediati dalla tecnologia.

References

ANSI/ASHRAE. (2022). *Standard 62.1-2022: Ventilation for acceptable indoor air quality*. ASHRAE.

Barrett, P., Zhang, Y., Davies, F., & Barrett, L. (2015). *Clever Classrooms. Summary Report of the HEAD Project (Holistic Evidence and Design*). University of Saltford.

Bianchi, G., Pisiotis, U., & Cabrera, M. (2022*). GreenComp: the European sustainability competence framework*, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/greencomp-european-sustainability-competence-framework_en

Boaretto, G. (in press). Per un'educazione multispecie: abitare il confine e superare il concetto di natura nella pratica pedagogica. In C. Birbes & S. Bornatici, *Educare e imparare Outdoor. Sapere pedagogico, buone pratiche, traiettorie future* (pp. 147-164). PensaMultimedia.

Cincinelli, A., & Martellini, T. (2017). Indoor air quality and health. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 14*(11), 1286. https://doi.org/10.3390/ijerph14111286

Fjeld, T. (2000). The effect of interior planting on health and discomfort among workers and school children. *HortTechnology, 10*(1), 46–52. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.10.1.46

García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., Bello, A., Crecente, F., & Soto-Rodríguez, E. (2020). *Sustainable City: A STEAM Project Using Robotics to Bring Climate Change Closer to Primary Students*. Sustainability, 12(22), 9696. https://doi.org/10.3390/su12229696

Kimmerer, R. W. (2020). *Braiding Sweetgrass: Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge and the Teachings of Plants*. Penguin. 160, 30-47. http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.12.005

Kraftl, P., McKenzie, M., Gulson, K., Accioly, I., Blackmore, J., Burke, C., Clarke, D., Daniels, H., Fregoso Bailon, R. O., Goodyear, P., Goodyear, V., Gunasekara, I., Hartong, S., Hickman Dunne, J., Howard, S., Lupinacci, J., Mcphie, J., Mannion, G., Nxumalo, F., Wood, A. (2022). Learning spaces: built, natural and digital considerations for learning and learners. In S. Bugden, & G. Borst (Eds.), *Education and the learning experience in Reimagining education: The International Science and Evidence-based Education Assessment* (pp. 452-547). Mahatma Gandhi Institute of Education for Peace and Sustainable Development, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Lu, S., Nuryana, Z., Ni, X., Xu, W., & Alias, M. N. (2025). A decade of educational robotics: trends and SDG contributions. *Humanities and Social Sciences Communications*, *12*(1), 1356. https://doi.org/10.1057/s41599-025-05663-5

Mortari, L. (2015). *Filosofia della cura*. RaffalloCrotina.

Mortari, L. (2017). *La materia vivente e il pensare sensibile. Per una filosofia ecologica dell'educazione*. Mimesis.

Rocca, L. (2019). *I suoni dei luoghi. Percorsi di geografie degli ascolti*. Carocci.

Stabile, L., Massimo, A., Canepari, S., & Russi, A. (2016). The effect of natural ventilation strategy on indoor air quality in schools. *Science of The Total Environment, 595*, 894–902. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.048

Tang, J. W. (2009). The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of the Royal Society Interface, 6*(Suppl 6), S737–S746. https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0227.focus

Torpy, F. R., Irga, P. J., & Burchett, M. D. (2014). Profiling indoor plants for the amelioration of high CO2 concentrations. *Urban Forestry & Urban Greening, 13*(2), 227–233. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.12.004

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2022). *Knowledge-driven actions: Transforming higher education for global sustainability Independent Expert Group on the Universities and the 2030 Agenda*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380519

Weyland, B. (2014). *Fare scuola. Un corpo da reinventare*. Guerini.

Weyland, B., & Boaretto, G. (2025). *Nuovi paesaggi educanti. Tra natura e cultura*. Edizioni Junior.