

Progetto “Digital Education Hub: Advanced Learning Multimedia Alliance for Inclusive Academic Innovation – ALMA”; PNRR - Missione 4 - Componente 1 - Investimento 3.4 (Didattica e competenze universitarie avanzate) – Subinvestimento 3 “Digital Education Hubs (DEH)” Finanziato dall’Unione europea NextGenerationEU tramite l’Avviso pubblico MUR di cui al Decreto Direttoriale n. 2100 del 15 dicembre 2023 – CUP E68H24000430006

REPORT AMBIENTI DI APPRENDIMENTO NELL’ERA DELL’INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Giovanni Galli (Wp4)

INDICE

1. Contesto e motivazioni della ricerca
2. Framework teorico di riferimento
 - 2.1 Teorie dell'apprendimento
 - 2.1.1 Rete dell'apprendimento, metacognizione e set d'aula
 - 2.1.2 Teoria dell'*embodied cognition*
 - 2.1.3 *Activity Theory* applicata agli spazi educativi
 - 2.1.4 *Universal Design for Learning (UDL)*
 - 2.2 Teorie dell'*Interaction Design*
 - 2.2.1 *Affordance Design* negli spazi aumentati
 - 2.2.2 *Ambient Intelligence*
 - 2.3 Framework architettonico: lo spazio come terzo educatore
 - 2.3.1 La neuroarchitettura
 - 2.4 *Human-centered AI design*
3. Stato dell'arte degli ambienti di apprendimento *AI-enhanced*
 - 3.1 Verso un'epistemologia degli ambienti di apprendimento *AI-enhanced*
4. Analisi dei casi studio
 - 4.1 TU Delft – Mondai | House of AI
 - 4.1.1. Architettura dello spazio
 - 4.1.2. Approccio pedagogico e strategia AI
 - 4.1.3. Punti di forza e limiti
 - 4.2. Politecnico di Milano: NextBuild Living Lab
 - 4.2.1. Architettura tecnologica
 - 4.2.2. Approccio pedagogico e ricerca
 - 4.2.3. Punti di forza e limiti
 - 4.3. MBZUAI: Aule HyFlex
 - 4.3.1. Il processo iterativo di design

4.3.2. Approccio pedagogico

4.3.3. Punti di forza e limiti

5. Quadro sinottico degli strumenti AI per gli ambienti AI-E

6. Architettura e UI/UX design: convergenze progettuali

6.1. Consistenza cross-modale

6.2. Interfacce multi-livello

6.3. Feedback ambientale

6.4. Privacy by Design

6.5. Il concetto di spazio ibrido continuo

6.6. Flessibilità strutturale

6.7. Infrastruttura digitale invisibile

6.8. Qualità sensoriale dell'ambiente

6.9. Integrazione UI/UX nel processo architettonico

6.10. Responsive Architecture: lo spazio che risponde

7. Sistemi AI per gli spazi educativi: classificazione per funzione e livello di autonomia

7.1 AI di percezione ambientale

7.2 AI di ottimizzazione ambientale

7.3 AI di adattamento didattico

7.4 AI di gestione dello spazio

7.5. Su cognizione e realtà virtuale

8. Ambienti di apprendimento AI-enhanced e inclusione universitaria

8.1. Realtà virtuale

8.2. LLM e IA generativa

8.3. Social robotics

8.4. Framework comparativo degli ambienti inclusivi AI-enhanced

9. Conclusioni rischi e prospettive future

Bibliografia

Abstract

Il presente report analizza gli ambienti di apprendimento AI-enhanced (AI-E) nell'università contemporanea, nell'ambito del progetto PNRR Digital Education Hub – ALMA. L'obiettivo è fornire un quadro interdisciplinare per la progettazione di spazi didattici in cui architettura, tecnologie basate sull'intelligenza artificiale e pratiche pedagogiche agiscano in modo sistemico e coerente. Il lavoro si articola in tre dimensioni principali. La prima riguarda il framework teorico di riferimento, che integra teorie dell'apprendimento (embodied cognition, Activity Theory, Universal Design for Learning), teorie dell'Interaction Design (affordance design, Ambient Intelligence) e approcci architettonici fondati sulla neuroarchitettura e sul principio dello spazio come terzo educatore. La seconda dimensione concerne lo stato dell'arte della letteratura scientifica internazionale sugli ambienti AI-E, con una rassegna che evidenzia un campo in rapida espansione, ma ancora in fase esplorativa. La terza dimensione analizza dodici casi studio internazionali e nazionali, approfondendo in particolare TU Delft: Mondai | House of AI, Politecnico di Milano: NextBuild Living Lab e MBZUAI: HyFlex Classrooms. Il report sostiene che l'ambiente di apprendimento AI-E è un organismo ibrido in cui fisico e digitale si compenetrano, e in cui l'AI svolge una funzione orchestrante a supporto, e non in sostituzione, della relazione educativa docente-studente.

1. Contesto e motivazioni della ricerca

La trasformazione digitale dell'istruzione universitaria, trainata dallo sviluppo e diffusione di tecnologie basate su reti neurali artificiali che alimentano sistemi e tool di Intelligenza Artificiale (AI), non è più un fenomeno emergente, ma una realtà strutturale che investe ogni dimensione dell'università contemporanea (Luckin e Holmes, 2016; Luan et al., 2020; Ouyang, Zheng e Jiao, 2022; Pancioli e Rivoltella, 2023a; Montani, 2025). Dal 2020 in poi, accelerata dalla pandemia da Covid-19 e dalle successive politiche di innovazione didattica, la questione degli spazi di apprendimento ha assunto una centralità inedita: non si tratta più soltanto di dotare le aule di tecnologia, ma di ripensare radicalmente il rapporto tra ambiente costruito, interfacce digitali e processi cognitivi nell'era dell'intelligenza artificiale, per creare ambienti di apprendimento innovativi (Auer, Pester e May, 2022; Biagini e Gabbi, 2024). Infatti, la transizione digitale «non è soltanto una questione tecnologica: essa rappresenta un'opportunità per ripensare l'università come un ambiente di apprendimento più flessibile e inclusivo, in grado di coniugare innovazione e tradizione, preparare gli studenti a un futuro che si prospetta come sempre più digitale e valorizzare l'insegnamento come pilastro fondamentale della missione accademica» (Ranieri e Gaggioli, 2025, p. 34).

Tutto ciò che ricade sotto il termine ombrello AI, in questo contesto, non dovrebbe più essere considerato come una variabile aggiuntiva, ma un elemento sistemico. I sistemi di AI generativa, *machine learning* adattivo e *computer vision* sono già presenti in molte istituzioni universitarie, ma raramente integrati in un progetto coerente che consideri simultaneamente la dimensione architettonica, la progettazione dell'esperienza utente e la qualità pedagogica. In questo report, mi occuperò degli ambienti di apprendimento nelle Università, arricchiti con strumenti AI, *AI-enhanced*, per la didattica digitale. Un primo problema che dovremo affrontare è cosa intendiamo in questo contesto per AI e quali sono le condizioni che permettono l'applicazione di questi strumenti negli ambienti di apprendimento universitari. Un secondo problema riguarda AI literacy, intesa

l'alfabetizzazione critica dell'AI (Cuomo, Biagini, Ranieri, 2022), collegata all'urgenza di diffondere una pratica didattica dell'AI (Steinbauer et al., 2021), affinché si possano realizzare ambienti di apprendimento *AI-enhanced* (AI-E) efficaci per insegnamenti significativi. Lo scenario nel quale ci muoviamo è molto complesso, come notano Ranieri, Cuomo e Biagini (2024, p.17), «in quanto richiede competenze interdisciplinari che spaziano dalla conoscenza delle macchine alla padronanza dei dispositivi didattici più consoni a far comprendere» tutto ciò che riguarda non solo le basi teoriche e tecnologiche, ma anche il «volto culturale e sociale dei nuovi media» (Ciotti, Roncaglia, 2008, p. VII).

Dato che gli obiettivi principali legati allo sviluppo di ambienti di apprendimento AI-E sono migliorare la produzione del sapere e migliorare le modalità di apprendimento, le motivazioni di base della ricerca derivano dunque, in primo luogo, dallo statuto contemporaneo del sapere e dell'apprendimento (Panciroli e Rivoltella, 2023a). In secondo luogo, anche la frammentarietà delle discipline che, per raggiungere l'obiettivo di progettare e realizzare spazi di apprendimento *AI-enhanced*, devono lavorare di concerto, è un'ulteriore motivazione rilevante per la ricerca. Per quanto riguarda lo statuto del sapere contemporaneo, riprendo il passaggio seguente:

«Il sapere, anche nei secoli passati, non è mai stato un sistema immobile. Tuttavia, ai tempi di Francis Bacon, si poteva ancora immaginare un suo perimetro complessivo, un ordine almeno parziale che lo rendesse in qualche misura conoscibile. Oggi, invece, questa possibilità è sfumata: ci troviamo di fronte a un sistema conoscitivo privo di forma stabile, in continua espansione multidirezionale, senza confini definiti. La conoscenza cresce, si moltiplica, si ibrida, e sfugge a qualsiasi tentativo di mappatura complessiva. In questo panorama così fluido, l'accessibilità improvvisa e massiva ai Large Language Models (LLM), dei Large Reasoning Models (LRM) e dell'agent AI ha profondamente alterato il nostro rapporto con il sapere, e non solo perché queste nuove tecnologie hanno ampliato in modo esponenziale la nostra capacità di accedere alle informazioni: hanno anche introdotto una nuova logica cognitiva, un'interazione con la conoscenza che non è più solo consultazione, ma collaborazione» (Sancassani e Casiraghi 2026, p. 9).

Alla luce di ciò, dunque, occorre ripensare il rapporto tra insegnamento, apprendimento e ambiente per accogliere questa “nuova logica cognitiva” in cui strumenti AI collaborano con docenti, studenti e studentesse, al fine di migliorare l’esperienza didattica.

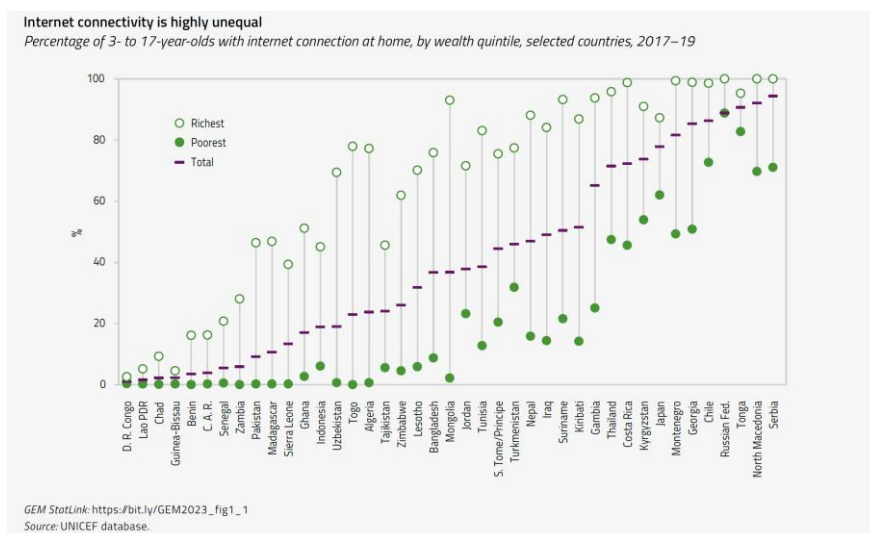
Per quanto riguarda invece lo statuto dell’apprendimento, che nel contesto di questo report riguarda il target degli spazi da ideare, progettare e realizzare nelle università, è opportuno posizionare la riflessione all’interno di un contesto più ampio, in cui l’apprendimento è da considerare un bene essenziale che ci permette di affrontare i cambiamenti con consapevolezza, lucidità e responsabilità:

«L’apprendimento [...] non è solo una risposta ai cambiamenti, ma la condizione per leggere le opportunità insite nella crisi. In un ambiente dove i sistemi possono collassare all’improvviso, apprendere diventa un gesto politico ed esistenziale. In questo senso, sapere di poter imparare è già un antidoto alla paralisi, perché genera fiducia: fiducia nella possibilità di trovare nuove risposte, di superare l’errore, di riemergere dopo lo smarrimento. [...] Comprendere il valore del sapere, oggi, significa uscire da una visione strumentale e riduttiva della conoscenza. [...] Il primo presupposto fondamentale per l’attivazione del potere di imparare è che l’individuo prenda consapevolezza del fatto che il sapere è un bene essenziale, non solo per ottenere un impiego, ma per orientarsi nella complessità, per negoziare la propria posizione nel mondo, per agire con responsabilità in contesti che cambiano in fretta, per sfuggire a quell’«analfabetismo esistenziale» che ci rende impossibile comprendere il mondo e agire su di esso. Questa consapevolezza non riguarda solo la motivazione individuale a studiare e a formarsi, ma riguarda il riconoscimento del fatto che il sapere ha valore perché ci permette di essere presenti a noi stessi e al nostro tempo» (Sancassani e Casiraghi, 2026, pp. 14-16).

Riposizionare il valore dell’apprendimento, nel contesto di ambienti che ospitano tecnologia AI per la didattica, serve per sottolineare che gli obiettivi dello sviluppo di spazi didattici innovativi sono il miglioramento delle condizioni di apprendimento degli studenti e delle studentesse, il miglioramento delle condizioni di insegnamento dei docenti e il miglioramento delle condizioni per instaurare una relazione educativa docente-studenti significativa.

Inoltre, un limite ricorrente nelle trasformazioni degli spazi universitari è la frammentazione tra le discipline coinvolte, che sfocia in frammentazione progettuale: gli architetti pianificano gli spazi fisici senza una conoscenza approfondita dei sistemi digitali; i designer di *interaction design* (IxD) e di *user experience* (UX) lavorano sulle interfacce senza considerare le variabili ambientali; i tecnici AI sviluppano algoritmi senza interagire con i pedagogisti; infine i pedagogisti spesso utilizzano sistemi digitali senza aver preso parte alla loro progettazione. Il risultato è spesso un insieme di soluzioni tecnologiche in spazi fisici inadeguati, o architetture sofisticate, che non sono pensate per interagire in maniera opportuna con sistemi e tool AI.

Non si possono poi ignorare, in una riflessione sugli ambienti di apprendimento AI-E, i limiti infrastrutturali, che devono essere superati per garantire l'accesso di tutti all'ambiente di apprendimento *AI-enhanced* da remoto (Bright e Calvert, 2023). Secondo il GEM report (2023) dell'UNESCO, *Technology in education. A Tool on whose terms?*, l'accesso alla rete internet è distribuito in modo altamente ineguale in diversi paesi del mondo (Fig. 1), secondo una selezione di dati tratti dal database UNICEF dal 2017 al 2019 su una popolazione scolastica di minori tra i 3 e i 17 anni.



(Fig. 1)

I dati raccolti da UNICEF, descritti in Fig. 1, rappresentano un primo grande ostacolo che gli operatori nel settore educativo devono affrontare, per poter sviluppare ambienti di apprendimento innovativi, accessibili ed efficaci.

In conclusione, questo report propone un approccio sistemico che considera l'ambiente di apprendimento AI-E come un organismo ibrido, dove fisico e digitale si compenetrano, e dove l'AI svolge una funzione orchestrante, in quanto non sostituisce il docente, né elimina la dimensione relazionale dell'apprendimento, ma può essere usata per creare le condizioni ambientali ottimali per ciascun tipo di attività didattica.

Il report sviluppa il tema degli spazi di apprendimento AI-E da diverse prospettive e diverse discipline, viene utilizzato un approccio interdisciplinare che non vuole essere esaustivo, ma fornire alcuni elementi e indicazioni per portare avanti la riflessione sugli ambienti di apprendimento AI-E per la *digital education* e l'insegnamento nelle università. Nelle pagine che seguono non si troverà un approfondimento circa le normative di riferimento, ma si consideri che il principale quadro di riferimento per quanto riguarda le normative e i soggetti istituzionali relativi alla didattica è composto da AVA 3 (ANVUR 2023a), per quanto riguarda l'autovalutazione, la valutazione e l'accreditamento; il Teaching and Learning Center (ANVUR 2023b), per quanto riguarda la formazione, consulenza e supporto per l'innovazione metodologica e lo sviluppo professionale; la DigCompEdu (Redecker 2017), in corso di integrazione da parte del Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR), e la DigComp 3.0.

In chiusura di questa sezione, si chiarisce cosa si intende con il termine AI nel contesto degli ambienti AI-E. Si tratta dell'insieme dei sistemi, modelli e piattaforme, alimentate da reti neurali artificiali di diverso tipo, che sono alla base di tool afferenti alle categorie citate prima dei Large Language Models, dei Large Reasoning Models (Xu, Hao et al., 2025), dell'*agentic AI*, e pure della macrocategoria della AI generativa (GenAI), che comprende anche le tecniche per implementare l'esperienza di realtà virtuale tramite visori.

Prima di procedere propongo di seguito un glossario minimo per fissare i termini chiave utilizzati nel report.

Glossario minimo per il contesto italiano

Spazi didattici: insieme degli spazi fisici strutturati all'interno di contesti istituzionalizzati o formalmente riconosciuti, destinati ad accogliere docenti, studenti e studentesse durante le attività di insegnamento e apprendimento. L'analisi degli spazi didattici si concentra sulle caratteristiche architettoniche, la dotazione di arredi, la disposizione degli elementi e il setting didattico complessivo, intesi come fattori che condizionano le modalità di interazione e le possibilità di apprendimento.

Ambienti di apprendimento: termine più ampio rispetto a "spazi didattici", introdotto nelle Indicazioni Nazionali del 2012 del Ministero dell'Istruzione e ripreso nelle Indicazioni Nazionali del 2018. Designa il sistema integrato di relazioni, risorse, strumenti e contesti (fisici e simbolici) all'interno del quale si realizzano i processi di insegnamento e apprendimento. L'ambiente non coincide con il solo spazio fisico, ma include le dinamiche relazionali, i materiali, i tempi, le metodologie e la cultura organizzativa che ne caratterizzano il funzionamento.

Ambienti di apprendimento innovativi: locuzione presente nel Decreto del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca del 22 novembre 2018 (prot. n. 762), che designa un sottoinsieme degli ambienti di apprendimento orientato all'innovazione didattica. Il nucleo costitutivo è rappresentato dalle relazioni organizzative e dalle dinamiche che si instaurano tra docenti, studenti, contenuti e risorse. Secondo la definizione ministeriale, tali ambienti si fondano su principi e pratiche che pongono al

centro l'impegno attivo degli studenti, promuovono l'apprendimento cooperativo, valorizzano la capacità dei docenti di sintonizzarsi sulle motivazioni degli studenti, sono sensibili alle differenze individuali, enfatizzano il feedback formativo e favoriscono l'interconnessione orizzontale tra aree disciplinari (cfr. MIUR, Ambienti di apprendimento innovativi, [disponibile su: https://www.istruzione.it/scuola_digitale/ambienti_apprendimento_innovativi.shtml](https://www.istruzione.it/scuola_digitale/ambienti_apprendimento_innovativi.shtml)).

Ambienti di apprendimento AI-enhanced (AI-E): sottoinsieme degli ambienti di apprendimento innovativi che identifica contesti progettati e organizzati per ottimizzare la relazione docente–studenti–contenuti–risorse attraverso l'integrazione sistematica di strumenti tecnologici basati sull'intelligenza artificiale. La dimensione “AI-enhanced” non si riferisce alla semplice presenza di tecnologie AI, bensì a una progettazione intenzionale in cui tali strumenti intervengono a supporto della personalizzazione dei percorsi, dell'adattività dei contenuti, del monitoraggio formativo e del potenziamento delle interazioni didattiche.

Nella prossima sezione verrà presentato l'insieme delle teorie che compongono tre quadri teorici da tenere come riferimento per una riflessione approfondita sugli spazi e ambienti di apprendimento nell'era dell'intelligenza artificiale: il primo riguarda l'insieme delle teorie dell'apprendimento, il secondo le teorie dell'interaction design e il terzo le teorie sullo spazio architettonico.

2. Framework teorico di riferimento

La progettazione di ambienti di apprendimento *AI-enhanced* non può prescindere da una solida comprensione dei meccanismi cognitivi e relazionali che sottendono i processi di apprendimento. In questo paragrafo verranno presentate le principali teorie che fanno da sfondo a tale riflessione, con particolare attenzione al rapporto tra soggetto, strumento e

contesto, tema centrale sia nell'ergonomia cognitiva (Rizzo, 2020) sia nelle più recenti elaborazioni sull'ecosistema digitale (Montani, 2025, cap. 4). Il paragrafo procederà illustrando prima il ruolo della metacognizione e i possibili set dell'aula, per trattare poi le principali teorie dell'apprendimento coinvolte nella riflessione sugli ambienti AI-E (*embodied cognition, activity theory e universal design for learning*). Successivamente verranno trattate le principali teorie dell'interaction design (*affordance design, ambient intelligence*), inteso come disciplina capace di analizzare, sviluppare e migliorare le relazioni interattive tra esseri umani e dispositivi digitali. Infine, verrà illustrato il framework teorico a sostegno dell'architettura degli spazi, che in questi anni sta accompagnando la trasformazione degli ambienti AI-E, composto dalle idee di Loris Malaguzzi, dalla teoria della neuroarchitettura e dallo *human-centered AI design*.

2.1 Teorie dell'apprendimento

Prima di illustrare le principali teorie dell'apprendimento implicate nella riflessione sugli ambienti di apprendimento (AI-E), ricordiamo la composizione della rete dell'apprendimento a supporto dell'evento formativo, orientata a sviluppare negli studenti e studentesse il processo di metacognizione. La metacognizione, intesa come capacità di pensare alle nostre rappresentazioni mentali al fine di comprendere i processi cognitivi, saperli gestire e ottimizzare l'apprendimento (Goupil e Kouider, 2019), descrive la conoscenza e la consapevolezza di una persona rispetto alla propria percezione, ai propri ricordi, a come pensa e come agisce, sulla base di ciò che ha appreso in passato (Metcalfe e Shimamura, 1994). Non dobbiamo dimenticare che gli ambienti di apprendimento (AI-E) devono incoraggiare la metacognizione, per stimolare le abilità di auto-osservazione e di miglioramento delle strategie di apprendimento.

2.1.1 Rete dell'apprendimento, metacognizione e set dell'aula

Nel biennio 2020-2021, a causa della pandemia da Covid-19 molti paesi hanno avuto esperienza in diversi livelli di istruzione della didattica a distanza (DaD). Tale esperienza ha messo in evidenza una serie di aspetti didattici con cui dobbiamo fare i conti, come il superamento della metafora della “trasmissione del sapere”, la priorità della relazione tra pari nel processo di apprendimento e la necessità di utilizzare tutte le dimensioni dell'esperienza dell'apprendimento nella progettazione didattica in una prospettiva sistemica e sostenibile. Da questa urgenza nasce l'approccio alla progettazione di didattica chiamato “Smart Learning Design” (SLD), chiamato così per superare la distinzione tra presenza e online (Sancassani e colleghi, 2023, p. 13). A fianco dello SLD, che viene definito come strumento approccio o modello di progettazione didattica di dettaglio, che sollecita il docente a ragionare sull'insieme dell'esperienza formativa dell'alunno, Sancassani e colleghi (2023) propongono il modello della “Rete dell'Apprendimento”, uno strumento concettuale utile a destrutturare l'esperienza dell'apprendimento in ogni sua componente¹. La Rete dell'Apprendimento è uno strumento di analisi e di progettazione multiscala, per leggere il nuovo contesto educativo post-Covid, sia dal punto di vista della macro-progettazione dei percorsi formativi, sia della singola materia, di un singolo corso o di una singola lezione. La Rete dell'Apprendimento è la rappresentazione degli attori (docenti e studenti definiti da obiettivi, vincoli, risorse, valori), della tipologia dei contenuti, della loro struttura, del loro formato, delle fonti dei contenuti, delle attività di gruppo, delle attività individuali e dei canali (aule, laboratori, libri, dispense, piattaforme, altri strumenti web e AI) e, infine, il mondo esterno (virtuale: MOOC, OER, social network; e fisico: imprese, terzo settore, musei etc.). Mentre il modello SLD permette di porre attenzione sui singoli momenti del processo di apprendimento: per gli studenti l'acquisizione, l'applicazione, il consolidamento e la strutturazione delle conoscenze; gli eventi formativi, dalla raccolta di

¹ La Rete dell'apprendimento è uno strumento sviluppato e proposto dal METID del Politecnico di Milano, cfr. Sancassani (2023: p.14).

contenuti a bassa interattività alla metacognizione; per i docenti la facilitazione all'accesso alla conoscenza, guida e stimolo per la sua applicazione e il supporto al consolidamento e alla strutturazione delle conoscenze (Sancassani et al. 2023, p. 43).

Gli stessi elementi proposti da Sancassani e colleghi (2023) per definire i punti da considerare nella progettazione degli elementi della Rete dell'apprendimento a supporto dell'evento formativo, sono da considerare anche nella progettazione delle attività didattiche all'interno di ambienti di apprendimento AI-E. Tali elementi sono:

- Nodi: è necessario che il docente supporti lo sviluppo delle abilità metacognitive degli studenti e studentesse e che spinga il singolo alla riflessione, anche con feedback mirati e collaborazione con i pari.
- Contenuti: porre domande sul contenuto specifico oggetto di studio, stimolare la riflessione sui processi di studio messi in atto.
- Attività: per alimentare la riflessione sul livello di conoscenza raggiunta e sul processo di apprendimento.
- Canali: *Student Response System*, file o lavagne condivise.
- Mondo esterno: contenuti e attività condivisi da altri e rilasciati con licenza open.

Il punto di partenza per la progettazione di ambienti di apprendimento rimane il modello di Biggs (2003), che si articola in quattro fasi tra loro strettamente connesse. Si parte dall'analisi dei destinatari, per poi procedere con la formulazione coerente dei risultati di apprendimento attesi e delle corrispondenti strategie di valutazione, fino a giungere alla definizione organica delle attività di apprendimento-insegnamento nel loro complesso.

Per quanto riguarda, invece, il setting dell'aula, possiamo distinguere tre modelli. I tre modelli di set dell'aula sono sviluppati a seconda del livello e tipologia di interazione tra

docente-studenti, docente-studenti-studenti, e la co-creazione dei contenuti attraverso l'interazione tra studenti e con il docente. Vengono rappresentati nella tabella seguente²:

Set didattico	Tipo classi	Ruolo docente	Ruolo studente	Tipo spazio
Bassa interattività	Grandi e medio-piccole	Fornire contenuti, fare domande, dare stimoli	Ascoltare, domandare, rispondere a quiz e reagire se sollecitato	Rigido o semiflessibile
Media interattività	Preferibilmente medio-piccole	Fornire parte dei contenuti, progettare le interazioni	Ascoltare, fare domande, partecipare alle attività, discutere e interagire tra pari	Semiflessibile o flessibile
Alta interattività	Medio-piccole	Progettare e guidare il processo di insegnamento-apprendimento	Costruire i contenuti tramite un processo induttivo e grazie all'interazione con gli altri studenti	flessibile

2.1.2 Teoria dell'*embodied cognition*

La teoria dell'*embodied cognition* (Varela, Thompson, Rosch, 1991) sostiene che i processi cognitivi non sono confinati nel cervello ma si estendono al corpo e all'ambiente circostante, in una relazione di mutua co-stituzione. Secondo questa prospettiva, la cognizione non è un processo puramente simbolico e astratto che avviene soltanto nella testa, ma è radicata nell'esperienza sensoriale e motoria del corpo che interagisce con il mondo. Per la progettazione degli spazi di apprendimento, questo implica che la qualità dell'ambiente

² Cfr. Sancassani (2023, p. 131).

fisico, illuminazione, acustica, temperatura, disposizione del mobilio, qualità dell'aria, non è indifferente alla qualità dell'apprendimento ma la co-determina in modo profondo e misurabile. Ricerche successive hanno confermato, ad esempio, come livelli inadeguati di illuminazione naturale riducano le performance cognitive, o come temperature elevate compromettano la concentrazione e la memoria di lavoro (Barrett et al., 2015). I sistemi AI che monitorano e ottimizzano questi parametri ambientali agiscono quindi direttamente sui processi cognitivi degli studenti, trasformando lo spazio da contenitore neutro a infrastruttura attiva per l'apprendimento. In questo senso, l'*embodied cognition* fornisce una solida giustificazione teorica per investire nell'intelligenza ambientale degli spazi educativi: migliorare le condizioni fisiche non è una questione di comfort secondaria, ma una leva primaria sulla qualità dei processi mentali che in quello spazio si dispiegano.

2.1.3 Activity Theory applicata agli spazi educativi

La *Activity Theory* (Engeström, 1987) considera l'apprendimento come un'attività mediata da strumenti, soggetta a regole e orientata a obiettivi all'interno di una comunità. Il modello di Engeström identifica sei componenti fondamentali di ogni sistema di attività: il soggetto, l'oggetto, gli strumenti, la comunità, le regole e la divisione del lavoro. Le contraddizioni e le tensioni tra questi elementi sono il motore del cambiamento e dell'apprendimento. Applicata agli spazi educativi, questa teoria invita a progettare ambienti che supportino diversi tipi di attività, lezione frontale, lavoro collaborativo, ricerca individuale, presentazione, prototipazione, con configurazioni fisiche e digitali appropriate e rapidamente riconfigurabili. Uno spazio rigido, pensato per un unico tipo di attività, diventa una contraddizione strutturale che frena l'apprendimento; al contrario, uno spazio flessibile che si adatta alle diverse modalità di lavoro riduce l'attrito tra intenzione pedagogica e contesto fisico. L'AI può svolgere un ruolo di mediatore intelligente in questo sistema, riconoscendo il tipo di attività in corso, attraverso l'analisi dei pattern di movimento, dell'occupazione dello spazio o dei segnali provenienti dai dispositivi, e adattando proattivamente la configurazione dello spazio

di conseguenza: abbassando le luci per una proiezione, attivando pannelli acustici per il lavoro in piccoli gruppi, o segnalando la disponibilità di aule attrezzate per specifiche esigenze didattiche.

2.1.4 Universal Design for Learning (UDL)

Il framework *Universal Design for Learning* (UDL) (CAST, 2018) propone di progettare ambienti di apprendimento che siano accessibili e sfidanti per tutti gli studenti, indipendentemente dalle loro caratteristiche neurobiologiche, sensoriali, linguistiche o culturali. Il punto di partenza dell'UDL è il riconoscimento della variabilità umana come norma, non come eccezione: non esiste uno "studente medio" per cui progettare, ma una popolazione eterogenea con traiettorie cognitive, motivazionali e affettive profondamente diverse (Meyer, Rose e Gordon, 2014). Il framework UDL individua tre nuclei fondamentali nei molteplici mezzi di rappresentazione (il "cosa" dell'apprendimento), nell'azione ed espressione (il "come") e nel coinvolgimento (il "perché"), che trovano nella combinazione di AI e design spaziale un terreno fertile per la loro implementazione su scala, superando i limiti degli approcci tradizionali alla personalizzazione dell'intervento didattico. Un ambiente AI-E può, ad esempio, offrire automaticamente sottotitoli e trascrizioni in tempo reale per studenti con difficoltà uditive, adattare il contrasto e la dimensione dei contenuti visualizzati per studenti con dislessia, o proporre percorsi di approfondimento differenziati in base ai progressi individuali. La combinazione di flessibilità spaziale e intelligenza adattiva permette così di avvicinarsi concretamente all'ideale di un ambiente che non costringe nessuno studente a adattarsi ad esso, ma che si adatta esso stesso alla diversità di chi lo abita.

2.2 Teorie dell'Interaction Design

L'*Interaction Design* è la disciplina che si occupa della progettazione dei comportamenti interattivi tra esseri umani e sistemi digitali, con l'obiettivo di rendere tale relazione efficace, significativa e soddisfacente per l'utente. Il termine, introdotto da Bill Moggridge e Bill

Verplank³ negli anni Ottanta, supera la sola dimensione estetica dell'interfaccia per concentrarsi sulla qualità dell'esperienza che si produce nel momento dell'uso: non come appare un sistema, ma come risponde, come si comporta, come dialoga con chi lo utilizza.

L'*Interaction Design* incorpora una prospettiva ampia che tiene conto delle dimensioni cognitive, emotive e sociali dell'interazione. In questo senso, si colloca all'incrocio tra psicologia cognitiva, ergonomia, design e scienze dell'educazione, una posizione che lo rende particolarmente rilevante per la progettazione di ambienti di apprendimento *AI-enhanced*, dove la qualità dell'interazione tra studente, docente e sistema tecnologico è determinante per l'efficacia del processo educativo.

2.2.1 Affordance Design negli spazi aumentati

Il concetto di *affordance*, originariamente introdotto dallo psicologo ecologico James Gibson (Gibson, 1979) per descrivere le possibilità di azione che l'ambiente offre agli organismi, è stato successivamente rielaborato da Donald Norman (Norman, 1988) in chiave progettuale per indicare le qualità percepite di un oggetto che suggeriscono all'utente come interagirvi. Negli spazi di apprendimento *AI-enhanced*, le *affordance* si moltiplicano e si stratificano su piani distinti ma interconnessi: un tavolo ha *affordance* fisiche (posizionamento nello spazio, orientamento rispetto alla fonte di luce, altezza regolabile) e *affordance* digitali (connettività wireless, superficie touch interattiva, sensori integrati per il rilevamento della presenza). Il designer deve progettare entrambi i livelli in modo coerente e sinergico, evitando conflitti di *affordance*, situazioni in cui le suggestioni fisiche e digitali si contraddicono, che generano confusione, disorientamento e resistenza nell'utente. Un conflitto tipico si verifica quando un'interfaccia digitale proiettata su una superficie suggerisce interattività, ma la superficie stessa non risponde al tocco; oppure quando un sistema automatico modifica le condizioni

³ Moggridge, designer del primo laptop computer (il Grid Compass del 1981) sistematizza la teoria dell'interaction design, sviluppata a partire dai lavori pionieristici insieme a Verplank negli anni Ottanta, nel volume *Designing Interactions* (Moggridge, 2007).

ambientali senza che l'utente comprenda né come intervenire né come ripristinare le condizioni precedenti. Un buon *affordance* design negli spazi aumentati richiede quindi non solo competenza tecnica, ma una profonda comprensione dei modelli mentali degli utenti e una progettazione sistematica delle transizioni tra il livello fisico e quello digitale dell'esperienza.

2.2.2 *Ambient Intelligence*

Il paradigma *Ambient Intelligence* (Aml) (Aarts, Marzano, 2003) immagina ambienti in cui l'intelligenza è diffusa, incorporata negli oggetti e nelle superfici, e invisibile nella sua operatività quotidiana, capace di adattarsi proattivamente ai bisogni degli utenti senza richiedere interazioni esplicite o attenzione cognitiva dedicata. Le caratteristiche distintive di un ambiente Aml sono tipicamente identificate nella sensibilità al contesto (*context-awareness*), nella personalizzazione, nell'adattività, nell'anticipazione dei bisogni e nell'interazione naturale. Applicato agli spazi universitari, l'Aml si traduce in sistemi che percepiscono il contesto, numero di studenti presenti, tipo di attività in corso, livello di attenzione rilevato, condizioni ambientali, lo interpretano e agiscono su luce, suono, temperatura, configurazione degli schermi in modo trasparente per l'utente. Come osservano Bier et al. (2024), «*Aml refers to environments wherein computing devices are seamlessly integrated*». Da questa prospettiva, la tecnologia cessa di essere uno strumento separato da utilizzare e diventa parte costitutiva dell'ambiente stesso. È importante distinguere, tuttavia, tra ambienti semplicemente automatizzati e ambienti genuinamente intelligenti: anche senza AI tali ambienti potrebbero mostrare segni di intelligenza tramite regole predefinite e alcune semplici automazioni, ma non possono apprendere, adattarsi a situazioni nuove o prendere decisioni complesse in contesti ambigui (Gams et al., 2019). L'introduzione di sistemi AI basati su machine learning introduce una discontinuità qualitativa: il sistema non esegue più istruzioni predefinite, ma costruisce modelli del comportamento degli utenti e dell'ambiente, aggiornandoli continuamente in base

all'esperienza. Questo apre possibilità inedite per la personalizzazione degli spazi educativi, ma pone anche nuove sfide in termini di prevedibilità, trasparenza e controllo da parte degli utenti.

2.3 Framework architettonico: Lo spazio come terzo educatore

Il principio del “terzo educatore”, sviluppato da Loris Malaguzzi (2010) nel contesto delle scuole dell'infanzia di Reggio Emilia e successivamente esteso e rielaborato per l'istruzione superiore⁴, afferma che l'ambiente fisico è esso stesso un agente educativo con potere formativo pari, e in certi contesti superiore, a quello del docente e del gruppo dei pari. Secondo questa visione, gli spazi non sono sfondi neutri dell'attività educativa, ma partecipanti attivi: comunicano valori attraverso la loro organizzazione, stimolano o soffocano la curiosità attraverso la ricchezza o la povertà degli stimoli offerti, definiscono relazioni di potere attraverso la disposizione dei corpi nello spazio, supportano o indeboliscono l'identità degli studenti attraverso la presenza o l'assenza di elementi che li riconoscano come protagonisti.

A partire da questo principio, INDIRE ha sviluppato una riflessione che si è strutturata nel modello 1+4, “spazi educativi per la scuola del terzo millennio” (INDIRE, 2026). Il primo elemento, “1”, sta per lo spazio di gruppo: «l'ambiente di apprendimento polifunzionale del gruppo-classe, l'evoluzione dell'aula tradizionale che si apre alla scuola e al mondo. Un ambiente a spazi flessibili in continuità con gli altri ambienti della scuola» (INDIRE, 2026). L'elemento che segue, “4”, fa riferimento «a spazi della scuola complementari, e non più subordinati, agli ambienti della didattica quotidiana. Sono l'Agorà, lo spazio informale, l'area individuale e l'area per l'esplorazione» (INDIRE, 2026). Questo modello è diventato poi un

⁴ Dalla riflessione di Malaguzzi deriva la successiva elaborazione del modello 1+4, sviluppato da INDIRE (2026a), cfr. <https://www.indire.it/progetto/Il-modello-1-4-spazi-educativi/> (pagina consultata il 9/04/2026). Inoltre, cfr. Carro e Tosi (2023); Vanacore e Gomez Paloma (2020).

manifesto per gli spazi educativi⁵. La riflessione dei ricercatori di INDIRE su questo modello si è basata su molteplici livelli di analisi (Bronfenbrenner, 1989), si allontana dal modello di scuola come somma delle aule (Airoldi, 1978) e guarda al rapporto tra strutture, dimensione didattica e contesto sociale, riconoscendo che gli ambienti hanno la capacità (Leemans e von Ahlefeld, 2013; Lefebvre, 1991).

Pensando all'applicazione di queste riflessioni nel contesto universitario, appare evidente la necessità di progettare spazi che riflettano la cultura epistemica della comunità accademica, rendendo visibili i processi della ricerca, valorizzando la produzione intellettuale degli studenti e creando contesti che invitino all'esplorazione e alla scoperta. L'AI può amplificare la funzione dello spazio come terzo educatore rendendo lo spazio reattivo, interattivo, personalizzato e narrativamente ricco. L'idea dello spazio come terzo educatore, inoltre, non riguarda soltanto l'area della classe, ma può riguardare, per esempio, le aree comuni arricchite con superfici che mostrano dati in tempo reale sull'attività accademica del dipartimento, installazioni interattive che connettono studenti di diversi campi disciplinari attorno a problemi condivisi, sistemi di feedback visivo che rendono visibili e celebrano i processi di apprendimento collettivo. Lo spazio aumentato dall'AI diventa così non solo un luogo in cui si apprende, ma un testo che racconta una comunità, i suoi valori e le sue pratiche.

2.3.1 La neuroarchitettura

La neuroarchitettura è un campo interdisciplinare emergente che studia come le caratteristiche degli ambienti costruiti influenzino i processi neurali, le risposte emotive e i comportamenti degli esseri umani, con l'obiettivo di tradurre queste conoscenze in principi progettuali fondati empiricamente. Nata formalmente nel 2003 con la fondazione della *Academy of Neuroscience for Architecture* (ANFA), la neuroarchitettura integra

⁵ Cfr. (INDIRE, 2026b), https://www.indire.it/wp-content/uploads/2016/03/ARC-1603-Manifesto-Italiano_LOW.pdf (pagina consultata il 9/04/2026).

neuroscienze cognitive, psicologia ambientale, architettura e design per rispondere a una domanda fondamentale: come lo spazio modifica il cervello, e come possiamo progettare spazi che lo modifichino nel senso desiderato? Le ricerche in questo campo hanno dimostrato, tra l'altro, che la presenza di luce naturale riduce i livelli di cortisolo e migliora il benessere psicofisico degli occupanti; che altezze del soffitto più elevate favoriscono il pensiero astratto e creativo, mentre altezze ridotte facilitano la concentrazione su compiti analitici (Meyers-Levy e Zhu, 2007); che la complessità visiva controllata stimola l'attività esplorativa, mentre ambienti eccessivamente uniformi generano monotonia e calo dell'attenzione. Applicata agli spazi di apprendimento universitari, la neuroarchitettura fornisce una base scientifica per decisioni progettuali che vanno oltre l'estetica o la funzionalità convenzionale: la scelta dei materiali, la palette cromatica, la gestione delle viste verso l'esterno, la presenza di elementi naturali (biofilia) e la proporzione degli spazi diventano variabili con effetti misurabili sui processi cognitivi e sulla qualità dell'esperienza educativa. L'integrazione con sistemi AI apre prospettive ulteriori: se la neuroarchitettura identifica le condizioni ottimali per diversi stati cognitivi, l'AI può creare dinamicamente tali condizioni in risposta ai bisogni del momento, trasformando lo spazio in un ambiente neuralmente responsivo.

2.4 Human-centered AI design

Il framework *Human-Centered AI* (HCAI, Shneiderman, 2022) propone di progettare sistemi AI che aumentino le capacità umane piuttosto che sostituirle, mantenendo saldo il controllo umano sui processi decisionali e garantendo piena trasparenza nelle logiche di funzionamento dei sistemi automatici. Shneiderman articola questa visione attorno a due dimensioni fondamentali: il livello di controllo umano (da basso ad alto) e il livello di automazione (da basso ad alto), sostenendo che i sistemi più desiderabili siano quelli che combinano alta automazione e alto controllo umano, una combinazione che molti tendono a ritenere impossibile, ma che l'HCAI indica come obiettivo progettuale irrinunciabile. Per gli

spazi di apprendimento, questo significa che i sistemi AI devono essere comprensibili agli studenti e ai docenti nei loro meccanismi di base, modificabili nelle preferenze e nei parametri operativi, e non invasivi nella raccolta e nell'utilizzo dei dati personali. La trasparenza non riguarda solo la comunicazione di “cosa fa” il sistema, ma anche del “perché”: un ambiente che abbassa autonomamente la temperatura dovrebbe poter spiegare su quale base lo ha fatto e offrire all'utente la possibilità di intervenire. Questo principio si intreccia strettamente con le questioni etiche legate all'uso dei dati biometrici e comportamentali degli studenti, rilevamento dell'attenzione, analisi del movimento, riconoscimento delle emozioni, che sollevano interrogativi profondi su sorveglianza, privacy e autonomia. Un design genuinamente *human-centered* non si limita a rendere usabili questi sistemi, ma li progetta in modo che il loro utilizzo rafforzi, e non eroda, l'agentività e la dignità degli studenti come soggetti dell'apprendimento.

3. Stato dell'arte degli ambienti di apprendimento AI-enhanced

In questa sezione, viene presentato un resoconto degli studi e delle valutazioni sistematiche disponibili sul tema degli ambienti di apprendimento AI-enhanced.

Secondo Tillmanns et al. (2025), team che ha svolto uno studio sistematico sull'apprendimento e insegnamento con AI nell'educazione superiore, nato all'interno del progetto europeo TaLAI (Teaching and Learning with AI in Higher Education)⁶, sull'integrazione efficace ed eticamente responsabile degli strumenti di AI generativa negli spazi di insegnamento e apprendimento delle università prevede che l'AI non venga presentata come un semplice strumento aggiuntivo, ma come un fattore che modifica gli obiettivi formativi, le pratiche didattiche, l'organizzazione curricolare e le infrastrutture istituzionali. Gli autori analizzano 93 studi internazionali recenti e mostrano che l'integrazione della GenAI negli spazi universitari non può essere ridotta all'introduzione di

⁶ Cfr. TaLAI (2026), <https://tlc.uva.nl/en/article/talai-teaching-and-learning-with-artificial-intelligence-in-higher-education/?faculty=53> (pagina consultata il 14/03/2026).

nuovi strumenti digitali, ma richiede una riconfigurazione complessiva delle pratiche didattiche, dei ruoli del docente e delle forme di supporto istituzionale. Questa prospettiva è coerente con quanto emerge dalla letteratura più ampia: le meta-review disponibili concordano sul fatto che il campo è ancora in piena formazione. Hong, Tung e Thanh (2025) mostrano che la ricerca sull'AI nell'educazione superiore si articola in tre fasi: 2007–2018, 2019–2022 e 2023–2025. Con la fase più recente che conta 527 articoli, pari all'82,9% del corpus totale analizzato, a conferma che gran parte delle evidenze disponibili è recentissima e dunque si tratta di un campo di ricerca ancora in fase esplorativa. A conferma di questo risultato, Bond et al. (2024), in una revisione analitica di 155 studi empirici, segnalano un aumento significativo dell'attività di ricerca a partire dal 2022, correlato all'impatto degli strumenti di GenAI, e identificano come benefici principali il miglioramento dei risultati di apprendimento, l'istruzione personalizzata e l'aumento della motivazione, ma anche sfide persistenti legate all'uso etico dell'AI da parte degli studenti, alla resistenza dei docenti e alla dipendenza digitale che questi sistemi possono generare.

Dal punto di vista degli strumenti AI per gli ambienti di apprendimento AI-E, emerge anzitutto che gli strumenti GenAI funzionano bene solo quando sono subordinati a obiettivi didattici chiaramente definiti: prima si stabiliscono gli obiettivi dell'apprendimento (Lo, 2023), livelli di competenza attesi e attività cognitive da sviluppare, poi si sceglie il tipo di AI da integrare (Bobula, 2024). In questa prospettiva, l'AI non deve guidare il processo formativo, ma essere progettata come supporto intenzionale alla costruzione dell'apprendimento (Garzón, Patiño e Marulanda, 2025). Infatti, Tillmanns et al. (2025) insistono sul fatto che le università devono privilegiare ambienti nei quali la tecnologia favorisca pensiero critico, creatività, metacognizione e autonomia, evitando che l'interazione con i sistemi generativi produca dipendenza cognitiva o semplice delega di compiti intellettuali. Questa indicazione trova riscontro nella letteratura sugli *Intelligent Tutoring Systems* (ITS), che sono ambienti di apprendimento digitali progettati per simulare l'interazione tra docente e studente. Lin, Huang e Lu (2023), in una revisione analitica sugli ITS per l'educazione sostenibile,

mostrano che i sistemi AI-embedded hanno una capacità adattiva superiore per rispondere allo stato di apprendimento in tempo reale e una maggiore capacità di intervenire tempestivamente, ma richiedono architetture progettate con attenzione per non sottrarre agency cognitiva agli studenti. Analogamente, Lan e Zhou (2025), in una revisione analitica qualitativa sull'AI e il *self-regulated learning* nell'educazione superiore, evidenziano che le applicazioni AI, come chatbot, sistemi di feedback adattivo, *serious games* ed *e-textbook* arricchiti (Hussein et al., 2023), dimostrano potenziale nel facilitare le fasi di pianificazione, esecuzione e riflessione dell'apprendimento autoregolato, ma che il rischio è che l'AI, se posizionata come agente centrale, riduca invece di ampliare l'auto-efficacia degli studenti. Una delle indicazioni più rilevanti per la progettazione degli ambienti AI-*enhanced* riguarda il rapporto tra didattica tradizionale e AI: la letteratura converge sull'idea che la GenAI debba essere integrata come complemento, non come sostituzione dell'insegnamento umano. Questo implica la progettazione di spazi universitari flessibili, nei quali lezioni frontali, attività seminariali, lavoro collaborativo e interazione con strumenti AI possano coesistere. In particolare, il docente assume sempre più il ruolo di mentor, facilitatore e guida critica: l'AI può generare materiali, feedback, simulazioni o quiz, ma resta il docente a governare il significato pedagogico dell'esperienza formativa. Long, Wang, Rashid e Lu (2026), in una systematic review sull'impatto dell'AI sull'engagement degli studenti, identificano tre meccanismi ricorrenti attraverso i quali l'AI media il coinvolgimento:

- il feedback strutturato, che migliora la consapevolezza metacognitiva;
- lo scaffolding interattivo, che promuove l'interazione tra pari e con il docente;
- e la personalizzazione, che adatta ritmo e contenuto al profilo del singolo studente.

Gli stessi autori, tuttavia, segnalano che l'integrazione tra scaffolding guidato dal docente e feedback generato dall'AI rimane empiricamente poco esplorata, e che i modelli blended mostrano promesse, ma richiedono ulteriori verifiche empiriche. Per questo gli ambienti di

apprendimento più efficaci sono quelli che mantengono una forte dimensione dialogica e relazionale, con momenti di confronto in presenza che compensano il carattere automatico delle risposte prodotte dai sistemi generativi.

L'innovazione che gli ambienti AI-E devono guidare riguarda una terza relazione educativa che si instaura tra studenti-docenti e macchine. Secondo Tillmanns et al. (2025), la GenAI può arricchire concretamente gli ambienti universitari, in questo senso, attraverso attività specifiche: generazione di domande di discussione, casi studio, feedback personalizzati, tutoraggio conversazionale, supporto alla scrittura, simulazioni linguistiche e assistenza nei lavori di gruppo. In questo senso, l'aula *AI-enhanced* tende a diventare uno spazio dove si intrecciano produzione individuale, collaborazione e interazione umano-macchina. Questa configurazione trova riscontro nella letteratura sull'apprendimento collaborativo. Kovari (2025), in una systematic review di 163 studi sull'AI-powered collaborative learning nell'educazione superiore, rilevano che le principali applicazioni includono sistemi di feedback AI, percorsi di apprendimento personalizzati, analytics predittiva, assistenti virtuali, chatbot e ambienti basati su giochi o progetti, con miglioramenti del 12-15% nei risultati di scrittura collaborativa grazie a loop di feedback strutturati. Tuttavia, sia Tillmanns et al. (2025) che Kovari (2025) sottolineano che ciò richiede scaffolding didattico: attività progressive, istruzioni esplicite, controllo della qualità delle fonti e momenti di verifica critica dei contenuti generati dall'AI. La semplice disponibilità di strumenti non garantisce dunque un apprendimento significativo.

Sul piano degli spazi fisici e degli ambienti ibridi, la letteratura evidenzia che il concetto di *smart classroom* non si riduce all'aggiunta di tecnologia, ma implica una riconfigurazione del controllo e del monitoraggio dello spazio didattico. Dimitriadou e Lanitis (2023), in una literature review critica sull'AI nelle *smart classroom*, mostrano che le tecnologie chiave riguardano la gestione dell'aula tramite computer vision per il riconoscimento delle presenze e dei comportamenti, l'uso di strumenti didattici intelligenti e l'impiego di sistemi di valutazione automatizzata della performance, sollevando tuttavia

questioni aperte sulla raccolta dei dati e sulla privacy degli studenti. Un filone emergente riguarda l'integrazione tra ITS, realtà aumentata e realtà virtuale (Koti, 2023; Rangel-de Lázaro e Duart, 2023). Lampropoulos (2025), in un resoconto sistematico di 32 studi pubblicati tra il 2015 e il 2024, mostra che la combinazione di queste tecnologie consente la creazione di ambienti di apprendimento immersivi capaci di adattare i contenuti agli stati cognitivi, motivazionali e psicologici degli studenti, con un tasso di crescita annuale del 25% nel settore, anche se la maggior parte degli studi rimane a livello sperimentale con campioni limitati.

Molto importante, per la progettazione degli ambienti universitari, è anche la dimensione istituzionale: la revisione analitica di Tillmanns et al. (2025) evidenzia che università realmente *AI-enhanced* devono investire in infrastrutture digitali, formazione dei docenti, policy etiche e governance dell'uso dell'AI. Gli ambienti di apprendimento non sono quindi solo spazi fisici attrezzati, ma ecosistemi organizzativi in cui piattaforme, linee guida, supporto tecnico e alfabetizzazione AI diventano parte integrante della qualità educativa. Mosha et al. (2026), in un resoconto sistematico sulle funzionalità dell'AI nelle istituzioni scolastiche e universitarie, confermano che le preoccupazioni etiche e di governance, bias algoritmici, privacy, trasparenza, responsabilità e accesso equo, stanno sempre più orientando il dibattito, mentre il divario digitale continua a penalizzare in modo sproporzionato gli studenti provenienti da contesti economicamente svantaggiati. Liang, Stephens e Brown (2025), in un resoconto sistematico sull'impatto dell'AI su curriculum, didattica e valutazione, segnalano come gap critico la quasi totale assenza di studi sull'esperienza reale nelle aule universitarie e sulla progettazione curricolare concreta, indicando la necessità di una collaborazione interdisciplinare tra informatici e scienze sociali. La presenza di interfacce semplici, toolkit adattabili, piattaforme open-source e supporti personalizzati per docenti e studenti viene considerata decisiva per evitare esclusione e uso improprio delle tecnologie. Inoltre, Bond et al. (2024) confermano che nonostante l'ampio consenso sull'importanza di integrare il GenAI nelle università, poche

istituzioni hanno tradotto le raccomandazioni teoriche in pratiche concrete, e che il divario tra comprensione teorica e applicazione pratica rimane una sfida urgente.

Il contributo forse più rilevante dell'intera letteratura rassegnata è che essa insiste su una visione *human-centred*: nonostante la potenza della GenAI, le categorie che ricorrono maggiormente sono *mentorship*, *emotional intelligence*, *social interaction* e *higher-order thinking* (Tillmanns et al., 2025). Questo significa che il futuro degli ambienti universitari AI-E non coincide con spazi più automatizzati, ma con spazi in cui la tecnologia amplifica la qualità dell'interazione educativa, lasciando centrale la relazione docente-studente e la costruzione condivisa del sapere. In questo senso, l'*AI-enhanced learning environment* emerge come ambiente ibrido: tecnologicamente avanzato, ma pedagogicamente fondato su presenza, interpretazione critica e responsabilità educativa.

3.1 Verso un'epistemologia degli ambienti di apprendimento *AI-enhanced*

Il rapporto tra tecnologie digitali, ambienti di apprendimento e trasformazione dello spazio educativo va pensato come un processo culturale profondo (Hashim et al., 2022), che non riguarda semplicemente l'introduzione di nuovi strumenti, ma la ridefinizione stessa dell'idea di aula, di sapere e di relazione didattica. In questa prospettiva, l'attuale riflessione sugli ambienti universitari *AI-enhanced* trova un fondamento teorico importante: l'intelligenza artificiale non si aggiunge semplicemente allo spazio educativo esistente, ma ne modifica l'epistemologia, le forme di cooperazione e le condizioni di accesso alla conoscenza.

Già prima dell'arrivo della GenAI sui dispositivi che usiamo quotidianamente, Ferri e Moriggi (2016) mostrano come l'aula tradizionale sia il risultato storico di una precisa configurazione tecnologica centrata sul libro stampato. La disposizione frontale di banchi e cattedra, la centralità del docente come mediatore del sapere e il silenzio come condizione dell'ascolto derivano infatti da un modello di trasmissione lineare della conoscenza, consolidatosi con la cultura tipografica moderna. L'avvento del Web produce invece una

nuova fase di esternalizzazione del sapere: il sapere non è più contenuto in un supporto stabile e gerarchicamente organizzato, ma distribuito in una pluralità di fonti, reti, archivi e ambienti dinamici, accessibili simultaneamente da studenti e docenti. Questo mutamento rende insufficiente il modello dell'aula tradizionale e richiede spazi capaci di sostenere pratiche di orientamento critico, selezione delle fonti, cooperazione cognitiva e produzione condivisa di contenuti.

In questo quadro, gli autori insistono sul fatto che la trasformazione tecnologica non possa essere affrontata in modo puramente strumentale. Non basta introdurre dispositivi digitali o piattaforme: occorre ripensare la struttura metodologica e architettonica dell'apprendimento. Per questo la didattica aumentata dalle tecnologie viene associata a modelli come il *cooperative learning* e la *flipped classroom*, che richiedono ambienti modulari, riconfigurabili e plurifunzionali. Le nuove scuole e, per estensione, i nuovi spazi universitari dovrebbero essere organizzati non più attorno all'aula unica, ma intorno a laboratori, aree di lavoro collaborativo, spazi per il *tutoring* (Limo et al., 2023), ambienti informali di studio e infrastrutture digitali pervasive ma invisibili: connettività continua, ambienti virtuali di apprendimento, dispositivi mobili e accesso diffuso alle risorse digitali. L'architettura segue dunque la metodologia: se la didattica è orientata alla risoluzione di problemi, alla costruzione di progetti e alla discussione critica, anche lo spazio deve diventare flessibile e capace di supportare differenti intensità relazionali

Questa impostazione è particolarmente rilevante oggi nel contesto universitario AI-E, perché l'intelligenza artificiale amplia ulteriormente il carattere distribuito della conoscenza. Sistemi basati su modelli linguistici, strumenti di tutoring intelligente, ambienti adattivi e piattaforme generative producono una condizione in cui lo studente non riceve semplicemente contenuti, ma interagisce con sistemi capaci di restituire informazioni, simulazioni, suggerimenti e feedback in tempo reale. Ciò rafforza la necessità di spazi in cui l'interazione docente-studente non sia sostituita dalla macchina, ma ridefinita come mediazione critica, interpretativa e dialogica.

A questo proposito, Moriggi (2019) approfondisce il problema delle dinamiche relazionali negli ambienti digitali. L'autore mostra come i contesti virtuali, pur aumentando le possibilità di collaborazione, generino anche rischi specifici: polarizzazione, rafforzamento delle idee preconcepite, formazione di sottogruppi e riduzione del confronto critico. L'esperimento di Hightower e Sayeed, richiamato nel saggio, dimostra che nei gruppi che lavorano online aumenta significativamente la tendenza al conformismo e alla riduzione del dissenso, rendendo più difficile una cooperazione realmente razionale.

Per questo Moriggi introduce il concetto di tolleranza epistemologica, intesa non come semplice rispetto passivo dell'altro, ma come capacità metodologica di riconoscere il conflitto cognitivo come risorsa per la costruzione della conoscenza. In ambienti digitali, e oggi ancor più in ambienti supportati da AI, la tolleranza deve essere pensata come capacità di valorizzare prospettive differenti, dati divergenti e interpretazioni contrastanti, evitando che l'interazione tecnologica si traduca in mera conferma reciproca. La cooperazione efficace richiede quindi una progettazione didattica intenzionale, in cui il docente organizza attività che rendano necessario il confronto tra informazioni distribuite, il controllo delle fonti, la verifica argomentativa e la discussione strutturata.

Applicata all'università contemporanea, questa prospettiva suggerisce che gli ambienti *AI-enhanced* non possano essere progettati soltanto come spazi tecnologicamente avanzati, ma debbano essere concepiti come ecosistemi cognitivi e relazionali. L'intelligenza artificiale, infatti, aumenta la disponibilità di contenuti e la rapidità di accesso, ma rende ancora più decisiva la qualità delle pratiche di orientamento epistemico: distinguere ciò che è affidabile da ciò che è plausibile solo in apparenza, valutare la qualità delle risposte generate, integrare output automatici con discussione critica.

Ne deriva una indicazione importante per la progettazione degli spazi universitari: accanto a infrastrutture digitali avanzate, servono ambienti che favoriscano il lavoro in piccoli gruppi, il confronto orale, la co-costruzione di elaborati, la supervisione docente e momenti

di riflessione collettiva. In questo senso, l'AI non elimina la centralità dello spazio fisico, ma ne aumenta il valore come luogo di regolazione critica dell'interazione con il digitale.

4. Analisi dei casi studio

In questo paragrafo ci occuperemo di descrivere le caratteristiche principali degli ambienti di apprendimento *AI-enhanced*, tratte dall'analisi di survey e casi studio del panorama nazionale e internazionale. Sono stati analizzati dodici casi studio selezionati tra le esperienze più significative a livello internazionale e nazionale per l'integrazione di AI, architettura e design digitale negli spazi universitari. I criteri di selezione hanno incluso: grado di integrazione sistemica tra AI e spazio fisico, disponibilità di dati documentati sull'impatto didattico, innovatività della soluzione architettonica, replicabilità del modello.

Università	Sistema AI	Tipo di Spazio	Risultati Chiave	Fonte / Riferimento
Georgia Institute of Technology, USA	Jill Watson (AI-ALOE / Design Intelligence Lab)	Corso online OMSCS – AI, 600+ studenti	Accuratezza risposte: 75–97%; +4 p.p. voti A (66% vs 62%); prima dimostrazione documentata di chatbot che migliora la presenza del docente in modalità online per adulti	research.gatech.edu
Arizona State University, USA	AI Innovation Challenge + ChatGPT Edu (OpenAI)	Campus integrale (181.000 studenti, 800+ corsi di laurea)	Prima università al mondo a collaborare con OpenAI (gen. 2024); 500+ progetti attivati in 80%+ dei dipartimenti; AI per scrittura accademica, simulazione pazienti, ricerca	openai.com/index/asu
Carnegie Mellon University, USA	Learnvia (AI tutoring platform, nonprofit)	Corsi gateway matematica (online/campus), 38 atenei partner	\$55M Gates Foundation (2026); tutoring AI adattivo per pre-calcolo e calcolo I–III; riduzione del ~30% abbandono nei corsi gateway; tutoraggi 24/7	cmu.edu – Learnvia
MBZUAI, Abu Dhabi	HyFlex Classrooms (design thinking + EDUCAUSE LSRS-V3)	Aule ibride flessibili per didattica mista in-person/online	Design iterativo documentato con EDUCAUSE LSRS-V3; studio peer-reviewed su Cogent Education (2023); flessibilità totale per studenti da 36+ Paesi	Cogent Education (2023)
Politecnico di Milano, Italia	NextBuild Living Lab (digital twin + sensori ambientali)	Edificio-laboratorio Dipartimento ABC, Campus Leonardo	Monitoraggio real-time di qualità aria, temperatura, umidità e consumo energetico; coinvolge	polimi.it – NextBuild

Università	Sistema AI	Tipo di Spazio	Risultati Chiave	Fonte / Riferimento
			15+ laboratori ABCLab; inaugurato luglio 2025	
ETH Zurich, Svizzera	AI in Education – Rettorato ETH (AI grading + GenAI tools)	Aule universitarie e laboratori (esami scritti, accessibilità)	AI grading con R ² =0.91 per il 50% di esami scritti matematici; GenAI per ALT-tag automatici, trascrizioni lavagna, valutazioni aperte; policy GenAI aggiornata dic. 2024	ethz.ch – AI in Education
NUS Singapore	ScholAIstic LLM (AICET / AI Singapore) + ALSET	Aule di diritto, infermieristica e social work	Roleplay AI (RAG + LLM) per pratica professionale scalabile; studenti di legge allenano cross-examination; ALSET Education Data Lake per learning analytics; AI-KNOW Award 2025	GovInsider – NUS ScholAIstic
TU Delft, Paesi Bassi	Mondai House of AI (24 AI Labs interdisciplinari)	Campus AI innovation hub, South Holland Ecosystem	24 AI Labs trasversali su 8 facoltà; collaborazioni con ING, KPN, Elsevier, Ahold Delhaize; SME Data Clinic per PMI; South Holland AI ecosystem	mondai.tudelftcampus.nl
University College London (UCL), UK	Co-Creator AI Project (GenAI in assessment, BSc AMS)	Corsi BSc Applied Medical Sciences (anni 1 e 2)	Pilot documentato: sondaggi studenti e focus group su GenAI nelle valutazioni; temi emergenti su benefici (scaffolding critico) e preoccupazioni etiche (dipendenza, accuracy)	UCL Education Conference 2024
Aalto University, Finlandia	House of AI + Design.AI (tool per progettisti UI)	Campus multidisciplinare (6 scuole: Science, Arts, Business, Engineering)	EUR 3,2M finanziamento (2024); integra FCAI e ELLIS Unit Helsinki; Design.AI salva fino al 40% del tempo dei progettisti UI; collegato all'ecosistema AI nazionale finlandese	aalto.fi – House of AI
University of Melbourne, Australia	Smart Spaces (HCI Lab) + GenAI in Teaching Community of Practice	Spazi interattivi HCI e aule universitarie (campus Parkville)	Ricerca su ML per adattare interfacce al progresso degli studenti; survey 2024 su 8.000 studenti australiani (67% usa GenAI); Community of Practice con policy istituzionale GenAI	unimelb.edu.au – Smart Spaces
Tecnológico de Monterrey, Messico	TECgpt (Azure OpenAI GPT-4o) + Tec21 educational model	25 campus, 90.000 studenti, 1.300 aule tecnologicamente attrezzate	43% degli studenti con almeno 1 materia AI-supported (2024); 606 progetti didattici attivi; AI Summit con 180 docenti (2024); +2,8% student retention con Tec21	Microsoft Source – TECgpt

Tra questi casi studio, sono stati selezionati i tre più significativi dal punto di vista dell'impatto della progettazione sulla didattica digitale, suddivisi per tipologia: un Campus AI hub (TU Delft – Mondai | House of AI); un edificio senziente (POLIMI – NextBuild); e un'aula ibrida flessibile (MBZUAI – HyFlex), che vengono descritti nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

4.1. TU Delft: Mondai | House of AI

La Delft University of Technology (TU Delft) è il più grande ateneo tecnico dei Paesi Bassi, con 8 facoltà che spaziano dall'ingegneria civile al design industriale. Dal 2021, l'università ha istituito una strategia trasversale denominata "AI, Data & Digitalisation" articolata su 24 AI Labs interdisciplinari, che impiegano docenti e dottorandi in collaborazione con l'industria e le istituzioni pubbliche.

Mondai | House of AI è il centro di innovazione istituzionale che dà forma fisica a questa strategia. Il nome "Mondai" deriva dal giapponese per "domanda" o "problema", riflettendo la vocazione del centro a connettere domande reali della società con soluzioni emergenti dalla ricerca. È stato inaugurato nel giugno 2022 grazie a un finanziamento della Provincia di Zuid-Holland e a inizio 2025 si è trasferito in una nuova sede: un edificio cilindrico futuristico affacciato sull'autostrada A13, a Molengraaffsingel 29.

4.1.1. Architettura dello spazio

La nuova sede di Mondai riunisce fisicamente in un unico edificio un ecosistema intero: oltre al centro di innovazione vero e proprio, ospitano Robohouse (fieldlab di robotica), AI-hub Zuid-Holland, Do IoT fieldlab (Internet of Things), Digitalzh e diverse startup AI. Questa collocazione non è casuale: risponde a una precisa scelta strategica di ibridare ricerca accademica, sviluppo applicato e imprenditorialità in un unico spazio fisico ad alta permeabilità.

La struttura interna di Mondai comprende:

- Uno spazio eventi e presentazioni accessibile a studenti, professionisti e pubblico generico.
- Un content studio per la produzione di materiali formativi e comunicativi.
- Aree di coworking per team di ricerca e startup in residenza.
- La Convergence Square, punto d'incontro per i ricercatori che collaborano nel programma Convergence con EUR, Erasmus MC, Leiden University e LUMC.

4.1.2. Approccio pedagogico e strategia AI

TU Delft struttura la propria strategia AI attorno a due assi principali: la ricerca “in” AI (sviluppo di fondamenti algoritmici) e la ricerca “with” AI (applicazione dell’AI come strumento nelle discipline ingegneristiche, progettuali e sociali). I 24 AI Labs operano esattamente a questo crocevia.

Sul versante educativo, nel 2024/2025 il TU Delft AI Initiative ha avviato 7 progetti specifici per stimolare lo sviluppo di curricula su “*AI-augmented science, design and engineering*”. Mondai funge da incubatore per queste iniziative, ospitando i meeting mensili degli AI Labs e le sessioni del programma DeepDive su Human Centred AI.

I 7 domini strategici in cui Mondai concentra lo sviluppo di applicazioni sono: energia e sostenibilità, salute e tecnologia, mobilità, smart industry, fintech, porto e settore marittimo, pace/giustizia/governance. Questo orientamento tematico riflette le priorità economiche e sociali della regione Sud-Olanda, rendendo Mondai un caso di campus-community AI hub profondamente radicato nel territorio.

Nel caso di Mondai, didattica digitale e ricerca si fondono insieme in un ecosistema che tiene insieme educazione, formazione, ricerca e sviluppo.

4.1.3. Punti di forza e limiti

Punti di forza	<ul style="list-style-type: none"> - Modello di campus AI hub che connette ricerca, industria, governo e pubblico in un unico spazio fisico. - Forte integrazione regionale: il centro è parte dell'ecosistema AI della Zuid-Holland, con partner pubblici e privati che finanziano progetti specifici. - Approccio "human-centred" coerente con la tradizione di design di TU Delft. - Presenza di infrastrutture complementari (Robohouse, fieldlab IoT) nella stessa sede.
Limiti e questioni aperte	<ul style="list-style-type: none"> - Mondai è principalmente un hub di connessione e innovazione, non un sistema AI integrato nelle aule o nei processi didattici: non ci sono metriche pubblicate su impatti sull'apprendimento degli studenti. - La valutazione del modello è principalmente qualitativa; mancano pubblicazioni peer-reviewed su efficacia didattica. - Il modello dipende fortemente da finanziamenti pubblici regionali, con rischi di sostenibilità nel lungo periodo.

4.2. Politecnico di Milano: NextBuild Living Lab

Il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC) del Politecnico di Milano gestisce una rete di oltre 15 laboratori (il sistema ABCLab) specializzati in rilevamento 3D, *comfort indoor*, ergonomia, *digital building management* e altri ambiti afferenti all'ambiente costruito. Il NextBuild Living Lab nasce come infrastruttura di ricerca integrata che porta a sintesi le competenze di questo sistema.

Il progetto è stato presentato dal Rettore Donatella Sciuto come «un modello per affrontare le grandi questioni di sostenibilità urbana, efficienza energetica, sicurezza degli edifici e resilienza sociale», segnalando un posizionamento strategico non solo sul piano scientifico ma anche su quello della missione pubblica dell'ateneo.

4.2.1. Architettura tecnologica

Il Living Lab è articolato su più livelli tecnologici integrati. Al primo livello troviamo il sistema sensoriale distribuito: sensori ambientali installati sia all'interno che all'esterno dell'edificio rilevano in continuo cinque parametri principali.

Parametri monitorati in real-time	
Qualità dell'aria	CO ₂ , VOC (composti organici volatili), particolato
Temperatura e umidità	Monitoraggio per comfort termico e prevenzione muffe
Occupazione degli spazi	Sensori di presenza per gestione energetica adattiva
Consumo energetico	Contatori smart per singolo locale e sotto-sistema
Parametri outdoor	Confronto indoor/outdoor per ventilazione e microclima

Il secondo livello è il *digital twin* dell'edificio: una replica virtuale in tempo reale che integra i dati dei sensori e consente simulazioni avanzate per ottimizzare comfort, sicurezza, benessere e sostenibilità. Il *digital twin* permette di testare scenari ipotetici (es. "cosa succede al comfort termico se riduco il riscaldamento del 20%?") senza intervenire fisicamente sull'edificio.

Al terzo livello opera il sistema di feedback partecipativo, denominato "smart pop-up": quando i sensori rilevano concentrazioni anomale di CO₂, il sistema invia automaticamente una notifica agli occupanti dello spazio invitandoli ad aprire le finestre. Questo meccanismo trasforma gli utenti da soggetti passivi di monitoraggio a partecipanti attivi nel miglioramento ambientale.

Il quarto livello, situato al primo piano, è lo UX Lab: un ambiente dedicato allo studio della relazione tra spazio fisico e risposta psicofisiologica degli individui. Qui si impiegano dispositivi biometrici (es. sensori galvanici per risposta elettrodermica), sensori smart di tracciamento del movimento e ambienti di realtà virtuale per valutare come variabili ambientali (luce, temperatura, layout) influenzano lo stato cognitivo e affettivo degli utenti.

4.2.2. Approccio pedagogico e ricerca

Il modello concettuale del NextBuild Living Lab si basa sulla nozione di “*participatory research*”: gli utenti dell’edificio (studenti, ricercatori, personale tecnico) non sono solo soggetti di studio ma generano attivamente i dati che alimentano la ricerca. Questo approccio è dichiaratamente ispirato ai principi del co-design e della “utente come agente di cambiamento”.

Sul piano didattico, il laboratorio offre agli studenti di architettura, ingegneria edile e design degli ambienti un caso studio “vivente” in cui sperimentare direttamente gli strumenti del *digital twin*, della sensoristica ambientale e dell’analisi dei dati su edifici reali. Questo contrasta con il tradizionale insegnamento basato su casi studio statici o simulazioni semplificate. La struttura modulare mobile prevista (da costruire a fianco dell’Edificio 15) estenderà il modello a contesti urbani e ambientali diversi, con l’obiettivo esplicito di replicabilità del paradigma in altri atenei e contesti istituzionali.

4.2.3. Punti di forza e limiti

Punti di forza	<ul style="list-style-type: none">- Integrazione verticale unica: dalla sensoristica al digital twin, fino alla risposta partecipativa degli utenti, in un unico ecosistema- Approccio metodologico rigoroso (UX Lab con misure biometriche) per la ricerca sull’impatto dell’ambiente costruito sul benessere- Modello progettato per la replicabilità, con una unità mobile che può essere esportata in altri contesti- Forte radicamento istituzionale: coinvolge la governance di ateneo (Rettore e Direttore di Dipartimento) come sponsor
----------------	---

Limiti e questioni aperte	<ul style="list-style-type: none"> - Inaugurato nel luglio 2025: non sono ancora disponibili dati sull'impatto didattico o su miglioramenti misurati del comfort/consumo energetico post-intervento - Il focus principale è sull'ambiente costruito e la sostenibilità, non sull'apprendimento in senso stretto; la componente didattica è implicita nel modello ma non ancora formalizzata in curricula specifici - La complessità tecnica del sistema (15+ laboratori integrati) pone sfide di governance e coordinamento
---------------------------	--

4.3. MBZUAI: Aule HyFlex

La Mohamed bin Zayed University of Artificial Intelligence (MBZUAI) è la prima università al mondo a livello di laurea magistrale interamente dedicata all'intelligenza artificiale. Fondata nel 2020 e accreditata dal Ministero dell'Istruzione degli Emirati Arabi Uniti, ha avviato le attività didattiche nella primavera del 2021, in piena pandemia, con le prime classi interamente in modalità online.

Questa circostanza, essere nati come istituzione nel momento di massima disruption dell'istruzione in presenza, ha spinto MBZUAI a ripensare radicalmente i propri spazi didattici non come adattamento emergenziale, ma come opportunità di progettazione da zero di ambienti pienamente HyFlex. Con studenti da più di 36 paesi, la flessibilità modale è una necessità strutturale.

4.3.1. Il processo iterativo di design

Il tratto più documentato e distintivo del caso MBZUAI è il metodo di progettazione: non un intervento unico, ma un processo iterativo fondato sul design thinking e sulla valutazione quantitativa tramite l'EDUCAUSE Learning Space Rating System (LSRS), versione 3.

Iterazione 1: il punto di partenza

La prima configurazione adottata utilizzava Cisco WebEx come piattaforma e una tecnologia audio-video di base. La valutazione con LSRS-V3 assegnò un punteggio del 39%, segnalando deficit significativi in termini di qualità audio/video, engagement degli studenti remoti e qualità delle interazioni ibride. I feedback degli studenti confermarono le criticità: qualità video e audio scadente, difficoltà di connessione e risposta tecnica negativa.

Iterazione 2: la soluzione consolidata

La seconda configurazione, quella attualmente in uso e documentata nella pubblicazione peer-reviewed, ha raggiunto un punteggio LSRS-V3 dell'85%. Si tratta di un miglioramento di 46 punti percentuali rispetto alla prima iterazione, ottenuto attraverso un redesign completo dell'hardware e del layout. Le principali innovazioni tecnologiche dell'Iterazione 2 comprendono:

- Zoom come piattaforma di collegamento tra le tre aule HyFlex (con possibilità di broadcast multi-room)
- *Smart whiteboards* interattive per annotazioni in tempo reale visibili a studenti remoti e in presenza
- *Sensor cameras* per tracking automatico di movimento e voce (seguono il docente o lo studente che parla)
- Doppi schermi laterali per il docente: uno per visualizzare gli studenti remoti, uno per la presentazione
- Legio personalizzato ILS Synergy Smart Lectern con specifiche MBZUAI: HDMI/USB-C/VGA su entrambi i lati (per mancini e destrimani), monitor touchscreen da 24" con meccanismo tilt elettrico, Poly TC8 con Poly G7500.

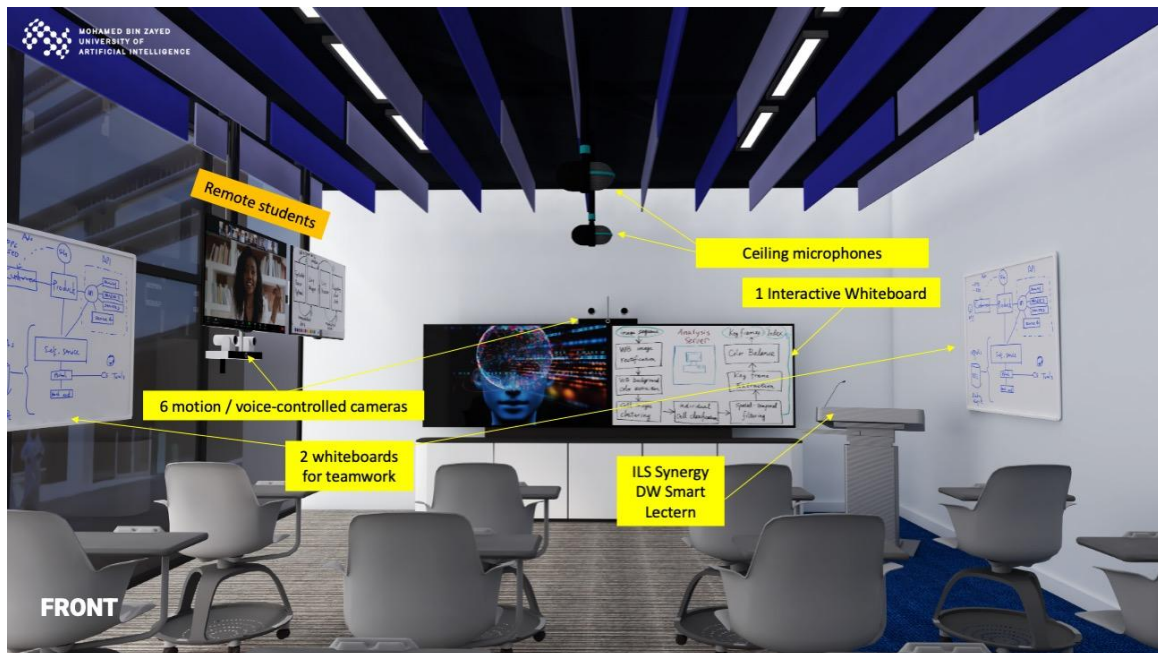
4.3.2. Approccio pedagogico

Il modello HyFlex adottato da MBZUAI si basa sul framework teorico della “*Community of Inquiry*” (CoI) di Dewey (1902) e Lipman (2003), che identifica tre presenze fondamentali nell'apprendimento online efficace: la presenza dell'insegnante, la presenza sociale e la presenza cognitiva. L'obiettivo dichiarato del progetto è garantire che queste tre presenze siano equivalenti per gli studenti in presenza e per quelli remoti. Ogni studente può scegliere, lezione per lezione, se partecipare fisicamente in aula, sincrono da remoto (in diretta Zoom) o asincrono (visione differita della registrazione). Questa flessibilità granulare è particolarmente rilevante per la popolazione studentesca di MBZUAI, composta da studenti con impegni lavorativi e familiari provenienti da più di 36 paesi con fusi orari diversi. Il collegamento tra le tre aule via Zoom consente inoltre un modello innovativo di *large-group teaching*: un docente può fare lezione in un'aula mentre la lezione viene ripresa in diretta nelle altre due, permettendo sessioni con più gruppi in ambienti fisicamente separati ma pedagogicamente uniti.

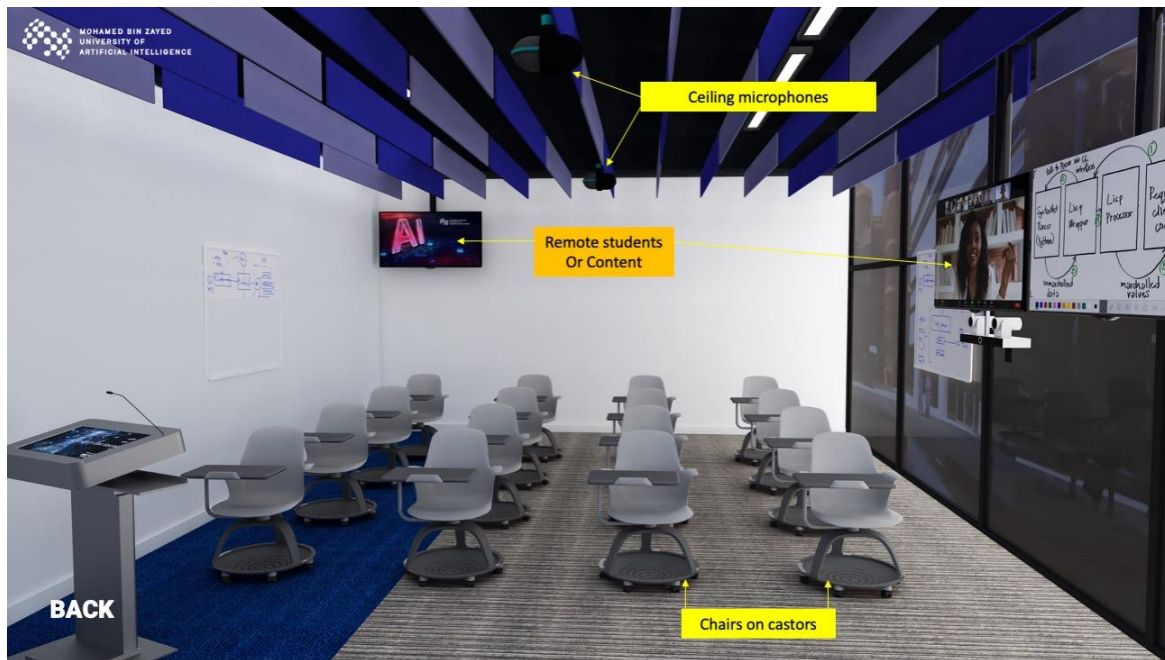
4.3.3. Punti di forza e limiti

Punti di forza	<ul style="list-style-type: none"> - Metodologia di progettazione rigorosa e replicabile: l'uso del LSRS-V3 come strumento di valutazione quantitativa e il processo iterativo di design thinking sono modelli trasferibili ad altri atenei - Caso documentato con pubblicazione peer-reviewed su rivista indicizzata (Cogent Education, 2023), garantendo verificabilità e trasparenza metodologica - Risposta a una necessità reale e documentata della popolazione studentesca (internazionalità, fusi orari, impegni extra-accademici) - Benchmark esplicito con atenei d'eccellenza (Harvard, Leuven, King's College) con obiettivo dichiarato di superarli
Limiti e questioni aperte	<ul style="list-style-type: none"> - Il case study è esplorativo: non include esperimenti controllati sull'impatto sull'apprendimento (es. confronti A/B tra studenti HyFlex e studenti in modalità tradizionale)

- La generalizzabilità è limitata dal contesto molto specifico di MBZUAI (istituzione graduate-level, piccola, in un Paese con risorse significative per infrastrutture tecnologiche)
- Il LSRS-V3 misura la qualità dello spazio di apprendimento, non gli esiti di apprendimento degli studenti: rimane aperta la domanda su come il miglioramento dello spazio si traduca in migliori outcome formativi
- L'elevata complessità tecnologica richiede formazione continua del personale tecnico e docente e un budget di manutenzione significativo



(Fig. 2, rendering del fronte aula HyFlex (2026). Fonte: <https://mbzuai.ac.ae/news/hybrid-flexible-classrooms-link-up-for-greater-learning/>)



(Fig. 3 rendering del retro aula HyFlex (2026). Fonte: <https://mbzuai.ac.ae/news/hybrid-flexible-classrooms-link-up-for-greater-learning/>)

Nei tre casi studio appena analizzati, vediamo come alcune Università hanno interpretato i bisogni formativi ed educativi e hanno progettato e realizzato nuovi spazi per ospitare nuovi ambienti di apprendimento mediati e arricchiti da strumenti AI, per promuovere la didattica digitale e dare agli studenti e ai docenti strumenti all'avanguardia, sia nell'ottica di abbattere le barriere fisiche e trovare un luogo ibrido, digitale e mediato dall'AI in cui studenti e docenti si incontrano e svolgono la lezione, sia nell'ottica di legare didattica e ricerca per lo sviluppo. Al fine di approfondire le tipologie e le differenze tra gli strumenti AI utilizzati come mediatori cognitivi all'interno degli ambienti AI-E, nella prossima sezione presenterò le caratteristiche principali di alcune categorie di strumenti AI, come Gen-AI, piattaforme per l'engagement, sistemi di tutoraggio, visori, social robotics e strumenti per la progettazione di materiali didattici e per la valutazione.

5. Quadro sinottico degli strumenti AI per gli ambienti AI-E

Il resoconto analitico di Tillmanns et al. (2025) consente di ricostruire una tassonomia articolata degli strumenti di intelligenza artificiale oggi coinvolti negli ambienti universitari AI-*enhanced*, cioè in quei contesti di apprendimento in cui tecnologie digitali avanzate non agiscono come semplice supporto esterno alla didattica, ma partecipano alla ridefinizione delle forme dell'insegnamento, delle interazioni cognitive e della configurazione stessa degli spazi educativi. Pur concentrandosi principalmente sulla Generative AI, Tillmanns e colleghi (2025) mostrano infatti come l'integrazione dell'intelligenza artificiale nell'università contemporanea non possa essere compresa soltanto a partire dalla diffusione degli LLMs, ma richieda una visione più ampia che comprenda piattaforme didattiche intelligenti, strumenti per l'engagement, ambienti immersivi e, in prospettiva, dispositivi di social robotics. Ciò che emerge con chiarezza è che ogni tipologia di strumento produce effetti diversi non soltanto sul piano pedagogico, ma anche sulla morfologia degli ambienti di apprendimento, imponendo una progressiva trasformazione degli spazi universitari tradizionali.

La prima categoria, inevitabilmente centrale, è costituita dagli strumenti di Generative Artificial Intelligence (GenAI). L'articolo definisce questa famiglia di tecnologie come l'insieme dei sistemi capaci di generare contenuti nuovi, testi, immagini, codice, simulazioni linguistiche, a partire da modelli addestrati su grandi quantità di dati. In questa categoria rientrano soprattutto LLMs, che il testo cita esplicitamente attraverso esempi ormai divenuti familiari nell'università contemporanea, come ChatGPT, Claude e Gemini, ma anche generatori visuali come DALL-E e Midjourney. Lo studio in questione mostra come questi strumenti siano ormai impiegati in modo sistematico dagli studenti per attività di brainstorming, chiarificazione concettuale, produzione di bozze argomentative, generazione di esempi, simulazione di casi studio e costruzione di percorsi di studio personalizzati. Parallelamente, i docenti li utilizzano per preparare materiali didattici, elaborare domande di verifica, produrre feedback adattivi e organizzare attività di scaffolding cognitivo. Tuttavia, il

contributo teorico più rilevante dell'articolo consiste nell'insistere sul fatto che la GenAI non debba mai essere trattata come sostituto del lavoro cognitivo umano, bensì come dispositivo che richiede una continua mediazione critica. Proprio per questo motivo la presenza di strumenti generativi implica una trasformazione spaziale dell'ambiente universitario: non basta che gli studenti abbiano accesso individuale a un chatbot, ma occorre che l'aula diventi un luogo in cui gli output generati possano essere confrontati, discussi, verificati e reinterpretati collettivamente. L'uso efficace della GenAI richiede dunque tavoli collaborativi, schermi condivisi, superfici di scrittura, ambienti nei quali il prompt non rimanga gesto individuale ma diventi oggetto di riflessione collettiva e comparazione critica. In questo senso la GenAI non modifica solo i processi cognitivi, ma introduce una nuova esigenza di visibilità epistemica: vedere come l'AI produce un contenuto, confrontare versioni differenti, discutere errori e bias diventa parte integrante della didattica universitaria AI-E.

Accanto alla GenAI, una seconda famiglia di strumenti è costituita dalle piattaforme intelligenti, cioè dagli ambienti software che integrano funzioni di adattamento, supporto didattico e organizzazione dell'apprendimento. Anche se Tillmanns et al. (2025) non propongono una categoria autonoma rigidamente definita, numerosi passaggi permettono di identificare questa tipologia come un asse fondamentale dell'ecosistema AI-E. Si tratta in primo luogo di piattaforme *adaptive learning*, capaci di modificare progressivamente contenuti, esercizi e percorsi in base ai comportamenti dello studente; in secondo luogo di ambienti di *instructional design*, nei quali il docente può costruire sequenze didattiche integrate con moduli AI; infine di sistemi *database-based*, che l'articolo richiama quando parla della necessità di sviluppare piattaforme specializzate in grado di ridurre bias, garantire neutralità e migliorare il controllo delle fonti. Qui emerge un elemento molto importante per la progettazione degli ambienti universitari: la piattaforma non è soltanto un'infrastruttura digitale, ma un'estensione dello spazio didattico. Quando il paper insiste sulla necessità di interoperabilità, accesso simultaneo, personalizzazione e trasparenza, sta implicitamente descrivendo ambienti universitari in cui il dispositivo fisico dell'aula deve

essere ripensato per accogliere l'uso stabile di tali sistemi. Un ambiente AI-E che utilizzi piattaforme intelligenti richiede quindi connettività robusta, alimentazione distribuita, accessibilità multi-device e possibilità di lavoro simultaneo da parte di gruppi diversi. La piattaforma entra così nella definizione stessa dell'architettura educativa contemporanea: non più semplice supporto tecnico, ma struttura cognitiva dell'ambiente di apprendimento.

Una terza categoria molto rilevante è quella degli strumenti orientati all'engagement, cioè al coinvolgimento attivo dello studente nel processo di apprendimento. In questo caso il contributo dell'articolo è particolarmente ricco, perché mostra come molti usi didattici della GenAI siano in realtà finalizzati non alla mera automazione ma alla costruzione di una maggiore partecipazione cognitiva. Tra gli strumenti più ricorrenti compaiono i generatori automatici di quiz, i sistemi di feedback immediato, i generatori di *discussion prompts*, i sistemi di produzione di casi studio e i tutor conversazionali capaci di mantenere un dialogo continuo con lo studente. La review sottolinea che questi strumenti possono aumentare l'autonomia, stimolare la curiosità, sostenere il problem solving e mantenere elevato il livello di attenzione, purché siano integrati in pratiche didattiche che restano umanamente guidate. Il punto decisivo è che l'engagement prodotto dall'AI non coincide con una maggiore individualizzazione isolata, ma con la possibilità di generare nuove forme di interazione didattica. Per questo motivo gli ambienti AI-*enhanced* devono prevedere spazi nei quali il feedback possa essere immediatamente discusso, reinterpretato e integrato nel lavoro collettivo. L'articolo insiste infatti sul fatto che il docente rimane essenziale come mentore, e che l'AI produce vero engagement solo quando viene incorporata in un contesto relazionale. Ne deriva che gli spazi più coerenti con questa tipologia di strumenti sono ambienti a micro-gruppi, con schermi condivisi, possibilità di lavoro simultaneo e rapida riconfigurazione tra momenti individuali e collettivi.

Una quarta area riguarda visori, realtà virtuale e realtà aumentata, categoria che nel paper compare meno esplicitamente ma emerge in modo significativo quando gli autori discutono l'uso di laboratori virtuali e ambienti simulativi come supporto alle pedagogie

attive. Il riferimento ai virtual labs è particolarmente importante perché mostra come la GenAI possa integrarsi con ambienti immersivi generando esperienze educative ad alta intensità cognitiva. Qui l'AI non produce semplicemente testi o feedback, ma contribuisce a costruire scenari dinamici nei quali lo studente può esplorare contenuti complessi in forma immersiva. La realtà virtuale permette simulazioni avanzate, la realtà aumentata consente sovrapposizioni informative su oggetti e processi, mentre l'AI può intervenire rendendo adattivo il contenuto immersivo. Dal punto di vista spaziale, questa tipologia di strumenti ha conseguenze ancora più radicali: richiede ambienti fisici liberi da ostacoli, zone dedicate, sicurezza dei movimenti, possibilità di alternare immersione individuale e discussione collettiva. La presenza di visori e ambienti immersivi modifica, dunque, la morfologia dell'aula in modo molto più evidente rispetto ai semplici strumenti conversazionali. L'università *AI-enhanced*, in questa prospettiva, non coincide più con un'aula arricchita tecnologicamente, ma con un ambiente architettonicamente predisposto a supportare diverse intensità di immersione cognitiva.

Infine, anche se l'articolo non sviluppa in modo diretto una sezione specifica sulla *social robotics*, diversi elementi permettono di collocarla all'interno della tassonomia degli strumenti AI rilevanti per gli ambienti universitari futuri. La robotica sociale è uno degli ambiti in grande espansione per quanto riguarda l'utilizzo di tecnologie di AI⁷. Il resoconto di Tillmans e colleghi (2025) insiste infatti in modo costante sulla *mentorship*, tutoring personalizzato, supporto continuo, regolazione emotiva e accompagnamento del processo di apprendimento, tutti elementi che nella ricerca internazionale sulla robotica educativa vengono spesso associati ai robot sociali. In prospettiva, i robot sociali possono assumere diverse funzioni: tutor di supporto, facilitatori di gruppo, dispositivi per attività collaborative, mediatori nelle situazioni di apprendimento distribuito. Tuttavia, il lavoro di Tillmans e colleghi (2025) chiarisce anche un principio fondamentale, che intelligenza emotiva,

⁷ Cfr. di Lehmann (2020, *Social robots for enactive didactics*).

capacità di giudizio e relazione educativa restano dimensioni eminentemente umane. Questo significa che la *social robotics*, in un ambiente universitario *AI-enhanced*, può svolgere solo una funzione complementare e non sostitutiva. Anche qui la conseguenza spaziale è rilevante: la presenza di robot sociali richiede ambienti non rigidamente frontali, zone di prossimità controllata, layout aperti e relazionali, capaci di accogliere interazioni distribuite tra studenti, docente e dispositivi intelligenti.

Nel loro insieme, queste cinque categorie mostrano che gli strumenti AI non possono essere classificati soltanto in base alla loro natura tecnica, ma soprattutto in relazione al tipo di trasformazione educativa e spaziale che producono. La GenAI modifica il lavoro cognitivo e argomentativo; le piattaforme ridefiniscono l'infrastruttura dell'apprendimento; gli strumenti di engagement trasformano il ritmo della partecipazione; VR e AR modificano la relazione tra corpo, spazio e contenuto; la *social robotics* introduce nuove forme di presenza tecnologica relazionale. Il contributo teorico più importante dell'articolo consiste proprio nel suggerire implicitamente che l'università *AI-enhanced* non sarà definita dalla presenza di singoli strumenti, ma dalla capacità di integrare queste tecnologie dentro una nuova ecologia dell'apprendimento, nella quale architettura, pedagogia, infrastruttura digitale e governance istituzionale siano pensate come parti di un unico sistema educativo.

Di seguito si trova una tabella che riassume in un quadro sinottico comparativo gli strumenti AI, le caratteristiche dell'aula universitaria, la funzione didattica, il ruolo del docente, i rischi principali e le potenzialità pedagogiche.

Strumento AI	Funzione didattica principale	Tipologia di aula più adatta	Caratteristiche spaziali richieste	Ruolo del docente	Rischi principali	Potenzialità pedagogiche
GenAI (LLM, text & image generation)	Produzione di contenuti, supporto argomentativo, brainstorming, feedback	Aula seminariale flessibile / collaborativa	Tavoli modulari, schermi condivisi, pareti scrivibili, connessione stabile	<i>Mentore epistemico, guida critica, regolatore dei prompt</i>	Dipendenza cognitiva Superficialità argomentativa Accettazione acritica degli output	Pensiero critico Confronto tra versioni Metacognizione

Strumento AI	Funzione didattica principale	Tipologia di aula più adatta	Caratteristiche spaziali richieste	Ruolo del docente	Rischi principali	Potenzialità pedagogiche
Piattaforme adattive e LMS con AI	Personalizzazione del percorso di apprendimento, adattamento dei contenuti	Aula digitale integrata / blended classroom	Postazioni individuali, accesso multi-device simultaneo, alimentazione diffusa	<i>Supervisore dei percorsi, interprete dei dati di apprendimento</i>	Eccessiva automatizzazione Standardizzazione dei percorsi	Personalizzazione Monitoraggio progressivo Supporto differenziato
AI per engagement (quiz, feedback, tutor conversazionali)	Attivazione cognitiva, feedback immediato, coinvolgimento continuo	Aula interattiva a micro-gruppi	Schermi multipli, dispositivi mobili, configurazione rapida in gruppi	<i>Facilitatore del dialogo, moderatore dell'interazione</i>	Frammentazione dell'attenzione Eccesso di stimolazione	Partecipazione continua Rapidità di risposta Apprendimento attivo
Visori VR / Realtà Virtuale	Simulazione immersiva, laboratorio esperienziale	Aula immersiva / laboratorio VR	Spazio libero, sicurezza dei movimenti, zone dedicate	<i>Regista dell'esperienza immersiva</i>	Isolamento individuale Sovraccarico cognitivo	Esperienza ad alta intensità Simulazione complessa Apprendimento situato
Realtà Aumentata (AR)	Sovrapposizione informativa su oggetti e processi	Aula laboratoriale aumentata	Superfici operative, visibilità degli oggetti, interazione fisico-digitale	<i>Mediatore tra contenuto fisico e layer digitale</i>	Distrazione Eccessiva complessità visiva	Connessione immediata teoria-pratica
Social Robotics	Supporto tutoriale, mediazione relazionale, facilitazione collaborativa	Aula relazionale non frontale	Layout aperto, prossimità controllata, mobilità interna	<i>Coordinatore relazionale, supervisore dell'interazione</i>	Antropomorfizzazione eccessiva Delega relazionale impropria	Supporto motivazionale Tutoring continuo
AI per produzione didattica docente	Generazione materiali, esercizi, lesson plan	Studio di progettazione didattica / aula docente avanzata	Accesso software dedicato, editing collaborativo	<i>Designer didattico</i>	Omologazione dei materiali	Accelerazione progettuale Diversificazione dei materiali
AI per peer review e collaborative learning	Revisione reciproca, confronto tra elaborati	Aula seminariale collaborativa	Tavoli mobili, display condivisi, lavoro sincrono	<i>Moderatore della revisione critica</i>	Uniformazione dei giudizi	Rafforzamento della capacità valutativa

Da questa tabella possiamo inferire che un punto teorico centrale nella riflessione sugli ambienti di apprendimento AI-E è che non esiste uno strumento AI neutro rispetto allo spazio, ma ogni tecnologia genera una diversa richiesta morfologica. Infatti, la GenAI richiede visibilità del processo, confronto tra output, discussione critica, e per questo funziona meglio in un'aula seminariale flessibile e meno in un'aula frontale tradizionale. La VR invece funziona bene solo se lo spazio consente di muoversi, l'immersione e la sicurezza degli utenti. Inoltre, le piattaforme AI richiedono infrastrutture invisibili, ma forti e resilienti.

6. Architettura e UI/UX design: convergenze progettuali

La crescente integrazione di sistemi AI negli spazi educativi ha reso obsoleta la separazione tradizionale tra progettazione architettonica e design dell'interfaccia digitale⁸. Queste due discipline, storicamente sviluppate in ambiti professionali distinti, condividono oggi un oggetto progettuale comune, cioè l'esperienza dell'utente nello spazio aumentato (Masveta e Manyangara, 2025). L'architettura definisce il contenitore fisico, le proporzioni, i materiali, la luce; il design *User Interface* (UI) e *User Experience* (UX) definisce i flussi di interazione, la gerarchia delle informazioni, le logiche di feedback. Negli spazi AI-E, tuttavia, questi due livelli si sovrappongono in modo inestricabile: una superficie può essere contemporaneamente elemento architettonico e interfaccia digitale, una variazione luminosa può essere sia scelta estetica che segnale di sistema. Questa convergenza richiede non solo nuovi strumenti progettuali, ma una profonda revisione dei processi di collaborazione interdisciplinare e dei criteri con cui si valuta la qualità di uno spazio educativo.

⁸ Per un confronto su, invece, gli ambienti di apprendimento pensati come spazi iper-ibridi, cfr. Borgognon, Moccozet e Molinari (2025).

6.1. Consistenza cross-modale

Le interfacce digitali dei sistemi AI, sviluppate e applicate in ambito didattico, devono essere coerenti con il linguaggio architettonico dello spazio fisico, creando un sistema di significati unificato che l'utente possa apprendere una volta sola e trasferire tra i diversi livelli dell'esperienza. Un'aula aperta e collaborativa richiede UI aperte, senza gerarchie rigide e facilmente condivisibili, così come uno spazio fisico che invita alla collaborazione attraverso tavoli rotondi e pareti trasparenti si contraddice se poi le sue interfacce digitali sono strutturate attorno a logiche individuali e autorizzazioni verticali. La consistenza cross-modale riduce il carico cognitivo degli utenti (Sweller et al. 2011; Sweller, 2019), poiché i pattern appresi in un dominio, fisico o digitale, si trasferiscono automaticamente all'altro. Viceversa, la sua assenza genera un senso persistente di disorientamento che, anche quando non viene esplicitamente riconosciuto dagli utenti, si traduce in resistenza all'uso degli strumenti e in una riduzione della qualità dell'esperienza complessiva.

6.2. Interfacce multi-livello

Progettare interfacce con livelli di interazione differenziati risponde a una delle sfide più ricorrenti nella progettazione di sistemi complessi destinati a popolazioni di utenti eterogenee: come garantire accessibilità immediata agli utenti comuni senza rinunciare alla profondità funzionale necessaria agli esperti. La soluzione proposta prevede uno strato base sempre visibile e accessibile, che mostri lo stato essenziale del sistema e le azioni più frequenti, uno strato contestuale attivato dall'attività in corso, che emerga senza richiedere navigazione esplicita, e uno strato avanzato per utenti esperti, accessibile su richiesta per la personalizzazione profonda del sistema. Questa gerarchia riduce il *cognitive overload*, che rappresenta uno dei principali ostacoli all'adozione di tecnologie complesse in ambienti educativi: quando un docente deve gestire simultaneamente la conduzione della lezione e l'interazione con un sistema ambientale articolato, ogni attrito nell'interfaccia si traduce direttamente in qualità didattica sottratta. Un design multi-livello ben calibrato rende il

sistema quasi invisibile nell'uso ordinario, riservando la sua complessità ai momenti in cui essa è effettivamente necessaria e desiderata.

6.3. Feedback ambientale

Il feedback dell'AI agli utenti non deve avvenire solo attraverso schermi e notifiche, canali già sovraccarichi di stimoli informativi nella vita quotidiana, ma attraverso segnali ambientali sottili che si integrino nel flusso dell'esperienza senza interromperlo. Variazioni di illuminazione per indicare la fine di un timer, modifiche della temperatura del colore per segnalare la transizione tra attività, segnali sonori ambientali che indicano il livello di rumore del gruppo: questi feedback periferici, ispirati al concetto di *calm technology* elaborato da Weiser e Brown (1996), comunicano informazioni rilevanti senza richiedere attenzione focalizzata. Il loro design richiede una conoscenza approfondita della percezione umana e dei meccanismi di attenzione: i segnali devono essere sufficientemente salienti da essere percepiti quando necessario, ma sufficientemente discreti da non generare distrazioni nel flusso dell'attività principale. Questa calibrazione è uno dei compiti progettuali più delicati negli spazi *AI-enhanced*, e richiede cicli iterativi di prototipazione e test con utenti reali in condizioni d'uso autentiche.

6.4. Privacy by Design

Il principio di *Privacy by Design* (Cavoukian, 2010), originariamente sviluppato in ambito informatico e successivamente codificato nel GDPR europeo come requisito normativo, afferma che la protezione della privacy deve essere integrata nella progettazione dei sistemi fin dall'inizio, non aggiunta come strato superficiale a posteriori. Negli spazi di apprendimento AI-E, dove la raccolta di dati ambientali e comportamentali è strutturalmente necessaria al funzionamento dei sistemi adattivi, questo principio assume un peso etico e politico particolarmente rilevante: gli studenti non sono utenti che scelgono volontariamente di utilizzare un servizio, ma persone che abitano uno spazio istituzionale la cui

frequentazione è, di fatto, obbligata. Ogni componente di raccolta dati deve pertanto essere visibile agli studenti, con controlli chiari e accessibili per la gestione delle preferenze individuali (Stamatescu et al., 2021). Le interfacce di consenso devono essere progettate secondo principi di trasparenza radicale, evitando i cosiddetti dark pattern, pratiche progettuali che manipolano l'utente verso scelte che non corrispondono ai suoi interessi, come consensi pre-spuntati, gerarchie visive che privilegiano l'accettazione o linguaggio volutamente oscuro (Gray et al., 2018). Un'istituzione educativa che adotta sistemi AI invasivi senza garantire reale trasparenza e controllo agli studenti invia un messaggio formativo implicito che contraddice qualsiasi dichiarazione esplicita sui propri valori.

6.5 Il concetto di spazio ibrido continuo

Negli spazi di apprendimento di nuova generazione, la distinzione tradizionale tra spazio fisico e spazio digitale si dissolve progressivamente in un continuum ibrido (Mourtzis et al., 2023) in cui i due domini si compenetrano e si supportano in modo sinergico. Non si tratta di aggiungere schermi e connettività a un'aula tradizionale, operazione che produce spesso ambienti tecnologicamente sovraccarichi ma pedagogicamente irrisolti, né di creare ambienti virtuali separati dalla realtà fisica, che perdono la ricchezza dell'interazione corporea e del senso di presenza condivisa. Si tratta invece di progettare esperienze spaziali in cui il fisico e il digitale si supportano reciprocamente in modo trasparente per l'utente, in quanto il digitale potenzia ciò che il fisico non può fare da solo, il fisico ancora e dà corpo a ciò che il digitale rischierebbe di rendere evanescente.

Il concetto di spazio ibrido continuo si collega alla teoria degli *extended environments* sviluppata nell'ambito degli studi sulla presenza e sull'immersione (Tondeur et al., 2024): l'esperienza soggettiva degli utenti non distingue nettamente tra i due livelli, ma li integra in una percezione unitaria dello spazio, purché la transizione tra di essi sia progettata con cura. Quando questa transizione è mal gestita, ad esempio quando un'interfaccia digitale richiede modalità di interazione radicalmente diverse da quelle fisiche, o quando il sistema

digitale ignora il contesto fisico in cui opera, la continuità si spezza e l'esperienza si frammenta. Questo concetto ha implicazioni profonde sia per l'architettura che per il design dell'interfaccia: l'architetto deve pensare alle superfici come potenziali interfacce digitali, ragionando in termini di mappature proiettive, reattività al tocco e integrazione con i sistemi sensoriali; il designer UX deve considerare il corpo nello spazio come il dispositivo primario di interazione, ripensando i paradigmi dell'interfaccia grafica a partire dalla gestualità, dal movimento e dalla prossimità fisica. Le metafore dell'interfaccia devono essere coerenti con quelle dell'architettura: un'aula progettata attorno al principio della trasparenza e dell'apertura deve avere interfacce digitali altrettanto trasparenti, navigabili e prive di barriere artificiali all'accesso.

6.6. Flessibilità strutturale

Il principio della flessibilità strutturale riguarda un'aula progettata per supportare sistemi AI che deve essere in grado di riconfigurare la propria organizzazione spaziale in risposta ai bisogni mutevoli delle attività didattiche, senza richiedere opere murarie o interventi strutturali. Questo implica l'uso di pareti mobili fonoisolanti su guide a pavimento e soffitto, sistemi di pavimentazione sopraelevata per il passaggio dei cavi e la facile ricollocazione delle prese di alimentazione, illuminazione su binari elettrificati riconfigurabili che seguano la nuova disposizione dello spazio, e mobili ergonomico su ruote con frenaggio elettrico controllabile da AI (Kariippanon et al., 2019). La flessibilità strutturale non è però solo una questione tecnica, è prima di tutto una scelta progettuale che richiede di anticipare i possibili scenari d'uso e di costruire un sistema spaziale capace di accoglierli senza perdere coerenza estetica e funzionale (Grannäs, Frelin, Östlin, 2026). Un'aula che appare caotica nelle sue configurazioni intermedie, con cavi visibili, pareti a metà corsa, arredi accatastati, comunica un messaggio negativo sull'istituzione e sull'importanza attribuita alla qualità dell'ambiente. La flessibilità deve essere dunque progettata in modo che ogni configurazione, anche quelle transitorie, abbia una sua dignità formale.

6.7. Infrastruttura digitale invisibile

Il principio dell'invisibilità dell'infrastruttura ha a che fare con sensori, attuatori, cavi e dispositivi di rete che devono essere integrati nelle strutture architettoniche senza generare ingombri visivi o fisici che disturbino la qualità percepita dello spazio. Questo principio risponde a una constatazione empirica ben documentata: la presenza visibile di tecnologia, cavi pendenti, scatole di sensori applicate alle pareti, reti di dispositivi hardware in bella vista, riduce la percezione di qualità e cura dello spazio, aumenta la sensazione di sorveglianza da parte degli studenti e interferisce con la leggibilità architettonica dell'ambiente. L'invisibilità dell'infrastruttura richiede una progettazione profondamente coordinata tra architetto, ingegnere impiantistico e system integrator fin dalle primissime fasi del progetto, quando le scelte strutturali sono ancora reversibili. Le pavimentazioni sopraelevate con canali per cavi, i controsoffitti tecnici accessibili per la manutenzione, le colonne strutturali cave utilizzate come condotte impiantistiche e i profili architettonici appositamente sagomati per accogliere strip LED e sensori sono soluzioni che facilitano questa integrazione senza comprometterne l'estetica. La sfida maggiore si pone nei progetti di retrofit di edifici storici o comunque vincolati, dove l'integrazione invisibile richiede soluzioni altamente contestuali e un dialogo stretto con le autorità preposte alla tutela del patrimonio architettonico.

6.8. Qualità sensoriale dell'ambiente

Il terzo principio riguarda la qualità sensoriale complessiva dell'ambiente, intesa come l'insieme delle condizioni acustiche, luminose e termiche che determinano il comfort e la predisposizione cognitiva degli occupanti. Acustica, illuminazione e comfort termico non sono fattori tecnici marginali da delegare agli ingegneri impiantistici nell'ultima fase del progetto, ma elementi centrali della qualità dell'apprendimento che devono guidare le scelte architettoniche fin dalle prime decisioni di progetto. I sistemi AI che governano questi parametri, modulando in tempo reale luce, temperatura e condizioni acustiche in risposta

alle attività in corso, possono esprimere le loro potenzialità solo se operano su superfici e impianti progettati con alta qualità architettonica: pannelli fonoassorbenti integrati nell'estetica dell'aula attraverso pattern decorativi, materiali e texture studiate, sistemi di illuminazione a LED con elevato indice di resa cromatica ($CRI \geq 90$) e temperatura di colore variabile tra i 2700K e i 6500K per accompagnare i diversi momenti della giornata e i diversi tipi di attività (Shahidi et al., 2021, sistemi HVAC silenziosi con livelli di emissione sonora inferiori ai 30 dB(A) e ad alta efficienza energetica. Un sistema AI applicato a un impianto di illuminazione di bassa qualità non può che ottimizzare una condizione di partenza già carente; viceversa, la stessa intelligenza applicata a un impianto di qualità elevata può creare condizioni ambientali che supportano attivamente i processi cognitivi degli studenti.

6.9. Integrazione UI/UX nel processo architettonico

Tradizionalmente, il design dell'interfaccia digitale viene affrontato come fase conclusiva del processo edilizio, quasi come elemento d'arredo tecnologico da selezionare a catalogo una volta che le scelte strutturali e impiantistiche sono già state definitivamente consolidate. Questo approccio sequenziale genera inevitabilmente disallineamenti profondi tra lo spazio fisico e le interfacce digitali che vi vengono successivamente installate, in quanto i punti di interazione non corrispondono ai flussi naturali di movimento degli utenti, le logiche del sistema non rispecchiano le *affordance* fisiche dello spazio, le esigenze infrastrutturali delle interfacce, alimentazione, connettività, campo visivo, confliggono con le scelte architettoniche già realizzate. Il risultato è frequentemente uno spazio fisicamente ben progettato ma digitalmente incoerente, in cui la tecnologia appare come un corpo estraneo innestato piuttosto che come parte integrante di un progetto unitario (Konings et al., 2023). Un approccio integrato richiede invece che il designer UX sia coinvolto fin dalla fase di programmazione del progetto, il momento in cui vengono definite le attività che lo spazio deve supportare, i profili degli utenti, le modalità di interazione e i flussi di utilizzo previsti, e che rimanga un interlocutore attivo in tutte le fasi successive, dalla progettazione preliminare

all'esecutivo, dalla direzione lavori al collaudo. Le metodologie di co-design, workshop con studenti, docenti, personale tecnico e amministrativo, condotti attraverso tecniche come il *service blueprinting*, lo *user journey mapping* e le sessioni di ideazione partecipata, sono essenziali per identificare i bisogni reali degli utenti, le frustrazioni latenti e i flussi di interazione più frequenti che il progetto deve ottimizzare (Mäkelä et al., 2021). Prototipi a bassa fedeltà degli spazi, modelli fisici in scala 1:20, mockup cartacei delle interfacce, simulazioni video delle sequenze di interazione, possono e devono essere testati con gli utenti prima di qualsiasi investimento infrastrutturale significativo, consentendo di identificare e correggere errori progettuali a costo quasi nullo che diventerebbero estremamente costosi da correggere nelle fasi successive.

6.10 Responsive Architecture: lo spazio che risponde

Il concetto di *Responsive Architecture* (Negroponte, 1975; Bullivant, 2006) descrive edifici e ambienti capaci di rispondere dinamicamente alle esigenze, alle preferenze e ai comportamenti dei propri occupanti, adattando la propria configurazione fisica in tempo reale piuttosto che offrire un'unica soluzione statica ottimizzata per un utente medio immaginario. Formulato originariamente come visione speculativa negli anni Settanta, quando i limiti tecnologici ne rendevano l'implementazione solo parziale, questo concetto trova oggi, con i sistemi AI contemporanei, implementazioni concrete, scalabili e progressivamente accessibili anche per istituzioni con budget non illimitati.

Un'aula responsiva pienamente realizzata è in grado di riconoscere continuamente il numero e la distribuzione degli occupanti attraverso sensori di presenza e visione artificiale, il tipo di attività in corso attraverso l'analisi dei pattern di movimento e della configurazione delle postazioni, le preferenze aggregate del gruppo attraverso l'apprendimento incrementale dalle interazioni passate, e adattare di conseguenza sia la propria configurazione fisica, illuminazione, temperatura, acustica, disposizione delle superfici interattive, sia i contenuti e le modalità di presentazione delle interfacce digitali. La

progettazione di spazi responsivi richiede una nuova figura professionale ibrida che le università italiane ed europee stanno faticosamente costruendo, attraverso programmi di formazione ancora largamente sperimentali: professionisti capaci di lavorare simultaneamente con strumenti di BIM (Building Information Modeling) per la modellazione architettonica, piattaforme di design UX per la progettazione delle interfacce, ambienti di sviluppo AI per la definizione dei comportamenti adattivi del sistema, e metodologie di ricerca per la valutazione dell'impatto educativo delle scelte progettuali.

7. Sistemi AI per gli spazi educativi: classificazione per funzione e livello di autonomia

La crescente disponibilità di tecnologie AI applicabili agli ambienti di apprendimento in ambito universitario, arricchiti con strumenti AI, rende necessaria una tassonomia chiara e operativamente utile dei sistemi che possono essere integrati negli spazi educativi. Una classificazione ben strutturata serve a molteplici scopi: aiuta i progettisti a selezionare le tecnologie appropriate per gli obiettivi didattici perseguiti, consente alle istituzioni di pianificare gli investimenti infrastrutturali in modo coerente e progressivo, e fornisce un linguaggio condiviso tra professionisti con retroterra diversi, architetti, ingegneri, pedagogisti, informatici, amministratori, che devono collaborare in processi progettuali complessi. La classificazione proposta articola i sistemi AI lungo due assi complementari: la funzione svolta all'interno dell'ecosistema educativo e il livello di autonomia decisionale rispetto al controllo umano⁹. Questi due assi sono indipendenti, un sistema di percezione ambientale può avere livelli di autonomia molto diversi, ma la loro combinazione definisce un profilo tecnologico che ha implicazioni dirette sia sul design degli spazi che sulla

⁹ Uno dei casi innovativi più interessanti è l'Adapt Room, area sperimentale del MIT Media Lab. Il sistema AdaptRoom combina computer vision (riconoscimento delle posture e dei pattern di interazione), sensori ambientali distribuiti e un sistema ML che aggiorna continuamente un modello predittivo delle preferenze di apprendimento dei gruppi.

governance istituzionale e che va tenuto in considerazione per orientare la possibilità della progettazione didattica, tenendosi aperte le potenzialità di sviluppo dei sistemi AI, in continua evoluzione.

7.1 AI di percezione ambientale

I sistemi di percezione ambientale costituiscono il livello fondativo dell'intelligenza spaziale: senza una raccolta accurata, continua e multidimensionale di dati sull'ambiente e sui suoi occupanti, nessun sistema di livello superiore può operare in modo affidabile. Questi sistemi raccolgono e interpretano dati provenienti da fonti eterogenee, integrandoli in una rappresentazione coerente e aggiornata in tempo reale dello stato dello spazio (Tien et al., 2021). Le tecnologie incluse in questa categoria sono oggi mature e largamente disponibili, sebbene la loro integrazione efficace richieda competenze di *system integration* non banali. La computer vision permette il riconoscimento della configurazione spaziale, come il numero di occupanti, docente o docenti, studenti, studentesse, la loro distribuzione nello spazio, postura, orientamento, pattern di movimento, attraverso telecamere ad alta definizione (Sayed, Himeur e Bensaali, 2022), sensori a infrarossi o sistemi LiDAR che generano nuvole di punti tridimensionali senza acquisire immagini fotograficamente identificabili (Morales et al., 2022), riducendo così le implicazioni sulla privacy (Adaimi e Thomaz, 2022). I sensori IoT per il monitoraggio delle condizioni ambientali, temperatura (Tien et al., 2025), umidità relativa, concentrazione di CO₂, livello di illuminamento, inquinamento acustico, qualità dell'aria, forniscono un flusso continuo di dati che correlano le condizioni fisiche con i comportamenti degli occupanti, consentendo di identificare soglie di comfort oltre le quali le performance cognitive si degradano in modo misurabile. I microfoni direzionali per l'analisi del pattern conversazionale operano esclusivamente sui parametri prosodici e spaziali della comunicazione, chi parla, con quale intensità, in quale direzione, con quale alternanza di turni, senza mai registrare né analizzare il contenuto del discorso, una distinzione tecnica e etica fondamentale che deve essere comunicata con chiarezza agli utenti dello spazio. I

sensori di pressione nelle sedute e nei pavimenti completano il quadro percettivo, fornendo dati sull'occupazione puntuale delle postazioni e sui flussi di movimento tra le diverse zone dell'aula. La sfida progettuale principale di questa categoria non è tecnologica, le soluzioni esistono e sono affidabili, ma riguarda la fusione di flussi di dati eterogenei in una rappresentazione unitaria e interpretabile, e la definizione di policy trasparenti sulla raccolta, la conservazione e l'utilizzo dei dati raccolti.

7.2 AI di ottimizzazione ambientale

I sistemi di ottimizzazione ambientale rappresentano il livello operativo dell'intelligenza spaziale: utilizzano i dati raccolti dai sistemi di percezione per intervenire attivamente sulle condizioni fisiche dell'ambiente, con l'obiettivo di mantenere o ripristinare le condizioni ottimali per le attività in corso (Izmir Tunahan, Tuysuzoglu e Altamirano, 2025). La loro caratteristica distintiva rispetto ai sistemi di automazione tradizionale, basati su regole fisse e soglie predefinite, è la capacità di apprendere nel tempo le preferenze e i pattern comportamentali degli utenti specifici di quel contesto, costruendo modelli predittivi che consentono di anticipare le esigenze prima che si manifestino come disagio percepito (Zhang et al., 2025).

I modelli di machine learning sottostanti apprendono le preferenze aggregate degli utenti a partire dalla combinazione di dati sensoriali, feedback espliciti e osservazioni comportamentali, e le utilizzano per ottimizzare continuamente i parametri ambientali. Il sistema HVAC aumenta automaticamente la portata d'aria quando i sensori di CO2 rilevano una riduzione dell'attenzione (Ghahremanlou e Ghahremanlou, 2025), fenomeno ben documentato oltre la soglia di 1000 ppm, prima ancora che gli occupanti ne percepiscano consapevolmente gli effetti (Haverinen-Shaughnessy e Shaughnessy, 2015). Il sistema di illuminazione si adatta non solo al tipo di attività in corso, aumentando l'illuminamento e la temperatura di colore verso i 5000-6500K per favorire la concentrazione nella lettura e nella scrittura, abbassandola verso i 3000K per creare un clima più rilassato durante le

discussioni di gruppo, ma anche alle preferenze individuali dei docenti che utilizzano regolarmente quello spazio, memorizzate e richiamate automaticamente all'accesso. Il sistema acustico attiva pannelli fonoassorbenti elettricamente orientabili o genera campi di cancellazione attiva del rumore nelle aree di studio individuale, isolandole acusticamente dal resto dell'aula senza richiedere separazioni fisiche permanenti. La progettazione di questi sistemi richiede una stretta collaborazione tra ingegneri impiantistici, esperti di machine learning e pedagogisti: l'ottimizzazione tecnica delle condizioni ambientali deve essere sempre subordinata agli obiettivi didattici e al benessere degli utenti, evitando che la logica dell'efficienza algoritmica prevalga sulla qualità dell'esperienza umana.

7.3 AI di adattamento didattico

I sistemi di adattamento didattico rappresentano la categoria più complessa e pedagogicamente rilevante dell'ecosistema AI per gli spazi educativi, poiché intervengono direttamente sui processi di apprendimento e non solo sulle condizioni ambientali che li supportano. Questi sistemi analizzano i pattern di apprendimento degli studenti, tempi di risposta, tassi di errore, sequenze di accesso ai materiali, livelli di engagement nelle diverse attività, e adattano dinamicamente la presentazione dei contenuti, la difficoltà progressiva degli esercizi, il ritmo della proposta didattica e le risorse suggerite per l'approfondimento individuale. Il loro obiettivo è approssimarsi all'ideale pedagogico della didattica personalizzata, che la ricerca indica come il fattore singolo di maggiore impatto sul rendimento degli studenti (Bloom, 1984), su scala, ovvero in contesti in cui un docente non può realisticamente personalizzare l'esperienza per ciascuno dei propri studenti in tempo reale.

Questi sistemi lavorano in stretta integrazione con i sistemi LMS istituzionali, Moodle, Canvas, Blackboard e simili, dai quali attingono i dati storici sulle performance degli studenti e ai quali restituiscono i risultati delle analisi adattive, creando un ciclo di feedback continuo tra l'esperienza in aula e la piattaforma di gestione didattica. Richiedono un design

dell'interfaccia particolarmente curato sotto il profilo della trasparenza e del controllo: gli studenti devono poter comprendere perché il sistema sta proponendo loro un determinato percorso, verificare le assunzioni su cui si basa la personalizzazione, e intervenire per correggere eventuali errori nella costruzione del loro profilo di apprendimento. Il rischio principale di questi sistemi, ampiamente documentato nella letteratura sulla *algorithmic accountability* in ambito educativo, è quello di cristallizzare le performance iniziali degli studenti in traiettorie predittive che si autorealizzano, riducendo le aspettative per gli studenti con profili di partenza più deboli e sottraendo loro le sfide cognitive necessarie alla crescita. Un design pedagogicamente responsabile deve pertanto integrare meccanismi espliciti di scaffolding progressivo, revisione periodica dei modelli predittivi e possibilità di sovvertire le raccomandazioni del sistema su iniziativa dello studente o del docente.

7.4 AI di gestione dello spazio

I sistemi di gestione dello spazio operano a una scala superiore rispetto alle categorie precedenti, coordinando l'allocazione, la prenotazione e la configurazione degli spazi a livello dell'intero campus piuttosto che del singolo ambiente. Questo livello di coordinamento sistemico è necessario perché l'ottimizzazione locale, massimizzare la qualità di una singola aula, non garantisce l'ottimizzazione globale del campus come ecosistema educativo: un'aula perfettamente attrezzata ma allocata a un'attività incompatibile con le sue caratteristiche tecniche genera inefficienza e frustrazione indipendentemente dalla qualità intrinseca dello spazio.

Gli algoritmi di ottimizzazione che governano questi sistemi distribuiscono le attività didattiche negli spazi disponibili tenendo conto simultaneamente di molteplici vincoli e preferenze: i requisiti tecnici specifici di ciascuna attività, capienza, attrezzatura audiovisiva, configurazione del mobilio, connettività, le preferenze espresse dai docenti sulla base delle proprie prassi didattiche, i flussi di movimento previsti degli studenti tra gli spazi del campus in modo da minimizzare i tempi di spostamento tra lezioni consecutive, e l'efficienza

energetica complessiva del campus, concentrando le attività negli edifici più efficienti nelle ore di punta e riducendo i costi di condizionamento degli spazi sottoutilizzati. I sistemi più avanzati integrano dati in tempo reale sulla disponibilità effettiva degli spazi, rilevata dai sensori di occupazione, con le prenotazioni formali, identificando automaticamente spazi inutilizzati che possono essere messi a disposizione per attività spontanee, e notificando agli utenti la disponibilità di ambienti che corrispondono alle loro esigenze correnti. La gestione AI dello spazio a livello di campus produce benefici documentati in termini di riduzione dei tassi di inutilizzo degli spazi, mediamente tra il 30% e il 40% nelle università europee (AUDE, 2022), e di riduzione dei consumi energetici, con ricadute economiche e ambientali significative che possono contribuire a giustificare l'investimento complessivo nell'infrastruttura AI.

7.5. Su cognizione e realtà virtuale

L'impiego della realtà virtuale nell'insegnamento universitario, come visto fin qui, rappresenta oggi uno dei campi più promettenti della trasformazione didattica digitale, ma anche uno degli ambiti in cui emergono con maggiore chiarezza le tensioni tra potenzialità tecnologica e sostenibilità cognitiva. La letteratura recente mostra (Sumardani e Lin 2023), infatti, che la VR non può essere considerata semplicemente un supporto immersivo capace di aumentare automaticamente l'efficacia dell'apprendimento: il suo impatto dipende piuttosto dalla qualità della progettazione cognitiva dell'esperienza educativa, dalla distribuzione dei carichi attentivi e dal modo in cui i diversi canali sensoriali vengono orchestrati all'interno dell'ambiente di apprendimento.

Un primo nodo teorico riguarda il rapporto tra immersione e attenzione. Sumardani e Lin (2023), in uno studio basato su rilevazioni elettroencefalografiche durante attività di apprendimento in realtà virtuale e lettura tradizionale, mostrano che l'attività di lettura mantiene mediamente livelli di attenzione più elevati rispetto all'esperienza immersiva, proprio perché l'ambiente VR richiede una continua redistribuzione delle risorse cognitive

tra orientamento spaziale, controllo dell'interfaccia, percezione multisensoriale e comprensione concettuale. La VR, in altri termini, intensifica l'esperienza ma non elimina il problema dell'attenzione: lo trasforma in una forma più complessa di selezione cognitiva, nella quale lo studente deve continuamente decidere a quali stimoli attribuire rilevanza epistemica.

Questo dato è particolarmente rilevante nel contesto universitario, dove i contenuti disciplinari richiedono spesso processi di astrazione, inferenza e memoria di lavoro prolungata. In un'aula immersiva, l'attenzione non è più soltanto rivolta a un contenuto, ma distribuita tra contenuto e ambiente. Per questo numerosi studi recenti hanno evidenziato che la VR può generare *cognitive overload*, cioè una saturazione della memoria operativa dovuta all'eccesso di stimoli simultanei. De Witte et al. (2026), in uno studio longitudinale su training universitario immersivo in biologia molecolare, mostrano che gruppi di studenti formati in realtà virtuale immersiva riportano livelli di carico cognitivo superiori rispetto ai gruppi sottoposti a training tradizionale, senza ottenere automaticamente performance migliori in termini di apprendimento finale. Il dato è importante perché conferma che l'immersione non coincide necessariamente con una maggiore efficacia didattica: la presenza percettiva può diventare cognitivamente costosa.

La teoria del *cognitive load*, originariamente elaborata da Sweller, Merriënboer e Paas (2019) e successivamente adattata agli ambienti immersivi, consente di distinguere tra carico intrinseco e carico estraneo. Il primo dipende dalla difficoltà del contenuto disciplinare; il secondo deriva invece dal modo in cui il contenuto viene presentato. Negli ambienti VR universitari il rischio principale è che elementi scenografici, animazioni, comandi motori o dettagli percettivi non funzionali generino un carico estraneo che sottrae risorse alla comprensione concettuale. Makransky e Petersen (2021), nel modello CAMIL (Cognitive Affective Model of Immersive Learning), mostrano che immersione, presenza, agency e apprendimento sono legati da una relazione non lineare: la presenza immersiva

favorisce l'apprendimento solo quando non supera la soglia oltre la quale la mente deve investire troppe risorse per mantenere il controllo dell'ambiente.

Un secondo nodo cruciale riguarda la dimensione multisensoriale. Wu, Guo, Li e Sun (2023) dimostrano che l'efficacia dell'apprendimento in VR dipende fortemente dal modo in cui i diversi canali sensoriali vengono coordinati. Quando voce, testo, immagini e segnali spaziali risultano ridondanti, il sistema cognitivo tende a saturarsi; quando invece ogni canale svolge una funzione distinta, l'apprendimento migliora. Questo implica che negli ambienti universitari immersivi non sia opportuno aumentare indiscriminatamente il numero di stimoli, ma piuttosto progettare una vera architettura cognitiva dell'informazione.

In tale prospettiva, la teoria dell'*embodied cognition* offre una chiave interpretativa decisiva. Lin, Li, Chen e Xiong (2024), in una meta-analisi su quaranta studi relativi a VR educativa, mostrano che i migliori risultati si ottengono quando il corpo non è semplice supporto percettivo ma parte attiva del processo cognitivo. Movimento, manipolazione e interazione fisica migliorano soprattutto l'apprendimento procedurale, scientifico e laboratoriale, e questo spiega perché la VR abbia particolare efficacia in medicina, ingegneria, chimica e formazione tecnica universitaria.

Tuttavia, negli ambienti *AI-enhanced* contemporanei la VR non opera più isolatamente. Sempre più frequentemente essa viene integrata con i LLMs e con sistemi di *social robotics*, dando origine a ecosistemi cognitivi complessi nei quali l'interazione non avviene solo con lo spazio virtuale ma anche con agenti intelligenti capaci di dialogo, supporto e adattamento.

L'integrazione tra VR e LLM introduce infatti una nuova forma di mediazione cognitiva. I LLMs agiscono semplicemente come chatbot esterno, ma può essere incorporato nell'ambiente immersivo come tutor contestuale: uno studente che esplora un laboratorio virtuale di biologia, un sito archeologico o una simulazione filosofica può interrogare in linguaggio naturale un agente AI capace di rispondere contestualmente rispetto all'ambiente visualizzato. In questo caso il vantaggio principale non è solo

informativo ma metacognitivo: il linguaggio naturale riduce il costo di accesso all'informazione e permette di sostenere il processo di ricerca senza interrompere l'esperienza immersiva.

Tuttavia, anche qui emergono problemi cognitivi specifici. L'intervento continuo del LLM può generare una frammentazione attentiva se non è progettato secondo logiche di temporizzazione e pertinenza. Un tutor linguistico che interviene troppo frequentemente interrompe la continuità immersiva e aumenta il carico cognitivo estraneo. Per questo negli ambienti più avanzati si sviluppa oggi il principio del *minimal adaptive intervention*: il sistema linguistico interviene solo quando i pattern comportamentali dello studente mostrano incertezza, rallentamento o errore ripetuto.

L'integrazione con la *social robotics* apre un ulteriore livello. Nei contesti universitari sperimentali, robot sociali possono fungere da mediatori relazionali tra ambiente immersivo e studente, soprattutto in attività collaborative, tutoraggio o simulazione dialogica¹⁰. La letteratura mostra che il robot, rispetto al solo agente virtuale, introduce una forma di presenza sociale incarnata che può rafforzare motivazione, fiducia e continuità relazionale. In ambienti *AI-enhanced* questo significa che la cognizione non viene più organizzata solo attraverso contenuti, ma anche attraverso segnali sociali: sguardo, *turn-taking*, prossimità, feedback prosodico.

Dal punto di vista cognitivo, la presenza di un robot sociale accanto a una esperienza VR può svolgere tre funzioni principali: regolare l'attenzione, fornire scaffolding emotivo e sostenere la metacognizione. In particolare, nei contesti universitari ad alta complessità cognitiva, il robot può agire come dispositivo di rallentamento cognitivo: mentre la VR accelera e densifica l'esperienza, il robot reintroduce pause, richiami, domande, consolidamento.

¹⁰ Per chi volesse approfondire il tema, casi studio e come la robotica sociale possa inserire all'interno di ambienti di apprendimento mediati dall'AI, cfr. la lezione di Hagen Lehmann "Social Embodied AI for an Enactive Approach to Didactics" nel webinar "Ambienti di apprendimento nell'era dell'intelligenza artificiale" al link: <https://www.uniurb.it/novita-ed-eventi/6447>

Si profila così un modello nuovo di ambiente universitario *AI-enhanced*: non più soltanto aula tecnologicamente attrezzata, ma spazio multilivello in cui realtà virtuale, agenti linguistici e presenze robotiche cooperano nella regolazione cognitiva dell'apprendimento. In questo scenario, il problema centrale non è più soltanto quale tecnologia usare, ma come distribuire tra le tecnologie diverse funzioni cognitive: immersione alla VR, spiegazione contestuale ai LLM, regolazione relazionale alla *social robotics*.

La vera sfida pedagogica consiste allora nel progettare ambienti in cui queste tre dimensioni non competano tra loro ma si integrino. Quando ciò accade, l'università *AI-enhanced* non produce soltanto un aumento della digitalizzazione, ma una nuova architettura cognitiva dell'apprendimento superiore.

8. Ambienti di apprendimento *AI-enhanced* e inclusione universitaria

Un contributo rilevante all'interno del dibattito su come rendere gli ambienti AI-E inclusivi è il volume di Ranieri e Gaggioli (2025), che mostra con chiarezza come oggi gli ambienti universitari di apprendimento non possano più essere pensati come semplici luoghi fisici destinati alla trasmissione del sapere, ma come ecosistemi educativi ibridi, nei quali spazi, tecnologie digitali, piattaforme intelligenti, pratiche didattiche e relazioni pedagogiche vengono continuamente riconfigurati dall'ingresso dell'intelligenza artificiale. La trasformazione accelerata dalla pandemia ha reso evidente che l'università contemporanea tende sempre più a strutturarsi come ambiente *blended*, nel quale aula fisica, ambienti virtuali, piattaforme LMS, sistemi adattivi e strumenti generativi convivono in una medesima architettura formativa.

Nel volume emerge che un ambiente universitario *AI-enhanced* inclusivo non coincide semplicemente con la presenza di tecnologie avanzate, ma con la capacità di tali tecnologie di ridurre barriere cognitive, sociali e organizzative. In questa prospettiva, l'inclusione viene definita come possibilità concreta di costruire contesti di apprendimento in cui studenti con differenti background culturali, differenti livelli di competenza digitale e

differenti bisogni educativi possano partecipare in modo effettivo ai processi formativi (El Morr et al, 2024). L'uso dell'intelligenza artificiale, se pedagogicamente orientato, consente infatti di personalizzare percorsi, differenziare materiali, modulare tempi di apprendimento e offrire feedback continui, superando il modello uniforme tradizionale della lezione universitaria (El Morr et al, 2021).

Una delle caratteristiche fondamentali individuate dalle autrici riguarda il ruolo delle competenze digitali dei docenti, considerate prerequisito strutturale per qualsiasi ambiente inclusivo. Il libro insiste molto sul quadro europeo DigCompEdu (Redecker e Punie, 2017), che interpreta il docente non come semplice utilizzatore di strumenti, ma come progettista di ambienti didattici digitali capaci di integrare risorse, valutazione, collaborazione e supporto personalizzato. In particolare, l'Area 5 del framework, dedicata alla valorizzazione delle potenzialità degli studenti, è centrale perché collega direttamente tecnologie digitali e inclusione: accessibilità, differenziazione didattica, personalizzazione e partecipazione attiva diventano dimensioni progettuali fondamentali degli ambienti universitari intelligenti. Nel quadro delineato dal volume, gli ambienti inclusivi supportati da AI presentano alcune caratteristiche ricorrenti:

- uso di piattaforme digitali adattive capaci di modulare contenuti e difficoltà;
- integrazione di strumenti di feedback automatico per accompagnare lo studio;
- possibilità di produrre materiali multimodali accessibili;
- utilizzo di analytics per identificare precocemente difficoltà di apprendimento;
- combinazione tra apprendimento sincrono e asincrono;
- supporto alla collaborazione tra pari attraverso ambienti digitali condivisi.

La potenzialità principale consiste nel fatto che l'intelligenza artificiale permette di trasformare l'ambiente universitario da struttura uniforme a ambiente responsivo, cioè capace di reagire ai bisogni emergenti degli studenti quasi in tempo reale. Questo è particolarmente rilevante per studenti con BES, studenti lavoratori, studenti internazionali o studenti che presentano differenti stili cognitivi. L'AI può favorire processi di adattamento

dei contenuti, semplificazione linguistica, organizzazione personalizzata del carico cognitivo e supporto continuo fuori dall'orario tradizionale della lezione.

Le autrici sottolineano però che questa potenzialità non si realizza automaticamente. Il libro insiste sul fatto che l'adozione tecnica non coincide con innovazione pedagogica. Molti atenei europei, pur avendo introdotto piattaforme e strumenti digitali, continuano a utilizzare tali ambienti in modo prevalentemente trasmissivo: repository di materiali, lezioni registrate, comunicazione organizzativa, senza reale trasformazione metodologica. Questo costituisce uno dei principali limiti attuali degli ambienti *AI-enhanced* universitari.

Un secondo grande elemento riguarda i rischi. Il libro ne individua diversi. Il primo rischio è quello della riproduzione delle disuguaglianze digitali: se l'accesso alle infrastrutture tecnologiche non è garantito, l'intelligenza artificiale può accentuare il divario tra studenti forti e studenti fragili. La disponibilità di dispositivi, connessioni adeguate e competenze digitali di base diventa quindi condizione materiale dell'inclusione. Il secondo rischio è la dipendenza da modelli standardizzati di apprendimento, nei quali l'algoritmo tende a privilegiare ciò che è misurabile, riducendo la complessità delle pratiche universitarie. In altre parole, esiste il pericolo che la personalizzazione algoritmica finisca per semplificare eccessivamente il lavoro cognitivo. Il terzo rischio, inoltre, è di natura pedagogica: ambienti troppo centrati su automazione e assistenza continua possono indebolire l'autonomia intellettuale dello studente. Il libro insiste sul fatto che la tecnologia deve sostenere, non sostituire, i processi di costruzione autonoma del sapere. Il quarto rischio, infine, riguarda la dimensione relazionale. Le autrici ricordano che ambienti universitari inclusivi non possono essere ridotti a infrastrutture digitali: la relazione educativa resta decisiva. La fiducia tra docente e studente, il riconoscimento reciproco, la presenza dialogica e la dimensione sociale dell'apprendimento rimangono elementi insostituibili anche negli ambienti *AI-enhanced*.

Un punto molto importante del volume è che l'inclusione non viene interpretata solo come accessibilità tecnica, ma come equilibrio tra innovazione e giustizia educativa. Questo implica che la progettazione degli ambienti universitari *AI-enhanced* debba tenere insieme:

1. infrastruttura tecnica;
2. competenze pedagogiche;
3. governance etica dei dati;
4. attenzione alla privacy;
5. sostenibilità organizzativa;
6. formazione continua dei docenti.

Ranieri e Gaggioli (2025) propongono dunque una visione molto chiara: l'università inclusiva *AI-enhanced* non è l'università automatizzata, ma un'università capace di usare l'intelligenza artificiale per ampliare le possibilità educative senza ridurre la complessità della formazione umana. L'ambiente inclusivo diventa allora uno spazio nel quale tecnologie intelligenti, progettazione didattica e responsabilità pedagogica devono rimanere strettamente intrecciate.

8.1. Realtà virtuale

La VR viene descritta da Ranieri e Gaggioli (2025) come una tecnologia capace di offrire esperienze immersive e interattive che rafforzano l'apprendimento esperienziale. Nel quadro dell'inclusione, la sua utilità maggiore sta nella possibilità di costruire ambienti protetti, simulati e progressivamente adattabili ai bisogni dello studente. Il libro richiama esempi in cui la VR può simulare ambienti sociali complessi per sostenere lo sviluppo di abilità sociali, specialmente in studenti con disturbi dello spettro autistico; in parallelo, AR e VR possono rendere l'esperienza didattica più accessibile e multimodale. Applicata all'università, questa idea si traduce in aule immersive, laboratori virtuali, simulazioni disciplinari e spazi di apprendimento dove la difficoltà cognitiva, sensoriale o relazionale può essere modulata in modo più flessibile rispetto all'aula tradizionale.

8.2. LLM e IA generativa

Dal punto di vista degli ambienti inclusivi, il valore che i LLMs possono portare, sta soprattutto nella possibilità di funzionare come tutor conversazionali, assistenti alla comprensione, strumenti di semplificazione linguistica e supporti alla personalizzazione dello studio. Secondo Ranieri e Gaggioli (2025), però l'utilizzo degli LLMs nelle pratiche didattiche non produce automaticamente inclusione, perché il loro uso richiede buoni prompt, competenze critiche, formazione su misura per docenti e studenti, e una chiara cornice etica. Per questo Ranieri e Gaggioli (2025) propongono linee di indirizzo per questi strumenti che insistono su uso consapevole, monitoraggio trasparente, tutela della privacy, prevenzione del plagio e valorizzazione del lavoro personale dello studente. In un ambiente universitario inclusivo, dunque, l'LLM è utile quando amplia accesso, feedback e personalizzazione, ma diventa problematico quando sostituisce giudizio pedagogico, relazione con il docente e responsabilità autoriale.

8.3. Social robotics

La robotica sociale¹¹ viene definita da Ranieri e Gaggioli (2025) come tecnologia capace di sostenere l'interazione, la comprensione delle emozioni e il coinvolgimento sociale. I robot educativi¹² possono agire come mediatori relazionali: aiutano a ridurre l'ansia nelle interazioni, offrono ambienti sicuri per esercitare competenze sociali e possono rafforzare le dinamiche collaborative quando sono integrati con chatbot e piattaforme intelligenti. In un contesto universitario inclusivo, questa linea è particolarmente interessante per laboratori, tutoring, orientamento, supporto a studenti con bisogni comunicativi specifici e ambienti in cui la relazione con il gruppo costituisce una barriera. La potenzialità principale non è

¹¹ Per un approfondimento sull'uso dei robot sociali in educazione, cfr. il già citato Lehmann (2020).

¹² Per un approfondimento sulla robotica sociale in ambito educativo ed enattivismo per la didattica, si può consultare la lezione di Hagen Lehman "Social Embodied AI for an Enactive Approach to Didactics", all'interno del webinar "Ambienti di apprendimento nell'era dell'intelligenza artificiale", al link: <https://www.uniurb.it/novita-ed-eventi/6447>.

“sostituire” il docente o il tutor umano, ma creare un ecosistema relazionale aumentato, in cui l’interazione sociale viene facilitata e resa più accessibile.

8.4. Framework comparativo degli ambienti inclusivi *AI-enhanced*

Sulla base del lavoro di Ranieri e Gaggioli (2025), propongo un framework comparativo tra gli ambienti inclusivi *AI-enhanced* a partire dalla tipologia di ambiente, la principale funzione, potenzialità, rischi e condizioni di qualità. Questo framework tiene insieme le dimensioni dell’inclusione richiamate da Ranieri e Gaggioli (2025), come accessibilità, personalizzazione, partecipazione, etica, infrastruttura e formazione, con i diversi tipi di tecnologia *AI-enhanced*. Il fondamento teorico sta sia nella visione ecosistemica dell’inclusione sia nel DigCompEdu, in particolare nell’area dedicata a accessibilità, differenziazione, personalizzazione e partecipazione attiva.

Aula blended con LMS + Analytics	
Funzione inclusiva	Monitorare progressi, adattare materiali, sostenere continuità
Potenzialità	Personalizzazione, individuazione precoce delle difficoltà, flessibilità temporale
Rischi	Sorveglianza eccessiva, uso amministrativo anziché pedagogico, disuguaglianze di accesso
Condizioni di qualità	Infrastrutture adeguate, formazione docente, governance dei dati

Ambiente con LLM / Chatbot Tutor	
Funzione inclusiva	Supporto conversazionale, feedback immediato, semplificazione linguistica
Potenzialità	Tutoraggio personalizzato, mediazione linguistica, supporto allo studio autonomo
Rischi	Plagio, dipendenza cognitiva, errori/fabbricazioni, perdita di autorialità
Condizioni di qualità	Prompt literacy, uso etico, supervisione docente, trasparenza

Ambiente Immersivo VR/AR

Funzione inclusiva	Accesso multimodale ed esperienziale
Potenzialità	Simulazioni, engagement, apprendimento esperienziale, riduzione di alcune barriere cognitive/sociali
Rischi	Costi elevati, accessibilità tecnica non uniforme, rischio di esclusione infrastrutturale
Condizioni di qualità	Design universale, supporto tecnico, gradualità didattica

Ambiente con Social Robotics

Funzione inclusiva	Mediazione relazionale e supporto all'interazione
Potenzialità	Riduzione ansia sociale, sviluppo abilità relazionali, scaffolding collaborativo
Rischi	Eccesso di delega alla macchina, semplificazione delle dinamiche umane, costi
Condizioni di qualità	Integrazione con tutor/docenti umani, obiettivi pedagogici chiari

Ecosistema Inclusivo Integrato (LMS + LLM + Analytics + VR/AR + Robotica)

Funzione inclusiva	Risposta adattiva multidimensionale ai bisogni degli studenti
Potenzialità	Massima personalizzazione, maggiore accessibilità, supporto cognitivo e sociale
Rischi	Bias algoritmici, frammentazione, privacy, complessità organizzativa
Condizioni di qualità	Progettazione partecipativa, etica, interoperabilità, politiche istituzionali

9. Conclusioni rischi e prospettive future

Rimangono aperti interrogativi fondamentali che le comunità accademiche e progettuali dovranno affrontare nei prossimi anni. Come garantire che i sistemi AI negli spazi educativi amplino, e non riducano, la libertà intellettuale degli studenti? Come costruire governance democratiche degli spazi intelligenti che vadano oltre la retorica della *smart university*? Come rendere queste soluzioni accessibili non solo alle università ricche del Nord globale, ma a tutte le istituzioni educative del mondo? Le risposte a queste domande non sono solo tecniche o progettuali, ma politiche ed etiche. Il design degli spazi di apprendimento

universitari è, in ultima analisi, una scelta su che tipo di università vogliamo costruire e che tipo di società vogliamo formare.

L'implementazione di sistemi AI negli spazi universitari solleva questioni critiche che i docenti, in qualità di designer didattici non possono ignorare. Sul piano della privacy, la raccolta massiva di dati comportamentali sugli studenti, anche in forma anonimizzata e aggregata, richiede framework etici solidi e conformità con il GDPR europeo. Sul piano dell'equità, sistemi addestrati su popolazioni studentesche omogenee possono amplificare bias esistenti nei confronti di studenti con disabilità, background culturali diversi o stili di apprendimento non convenzionali (Pancioli e Rivoltella, 2023b).

Sul piano della dipendenza tecnologica, spazi progettati per funzionare in maniera ottimale solo con l'AI attiva rischiano di diventare inutilizzabili in caso di guasti o aggiornamenti. La progettazione deve quindi prevedere modalità di *graceful fallback*, in cui lo spazio mantiene le sue funzioni didattiche fondamentali anche in assenza dei sistemi digitali.

Inoltre, occorre dotarsi di uno o più strumenti di valutazione da adottare per poter controllare gli ambienti di apprendimento AI-E¹³, per svolgere monitoraggi e autovalutazioni in itinere. Un repository molto ricco di casi studio di ambienti di apprendimento innovativi è offerto sulla piattaforma FlexSpace (<https://flexspace.org/>).

Alla luce del quadro delineato in questo report, appare evidente che il futuro degli ambienti di apprendimento universitari AI-E non potrà essere interpretato come semplice evoluzione tecnologica degli spazi didattici esistenti, bensì come un processo di ridefinizione complessiva delle relazioni tra infrastrutture, pedagogia, organizzazione universitaria e cultura accademica. Il punto centrale che emerge è che l'intelligenza artificiale non introduce soltanto nuovi strumenti, ma modifica il modo stesso in cui il sapere viene organizzato,

¹³ Per un approfondimento sul tema, consultare la lezione "Valutare gli spazi per l'apprendimento in università, anche al tempo dell'intelligenza artificiale. Prospettive future" di Rossella D'Ugo, Marta Salvucci e Sophia Crescentini, all'interno del webinar *Ambienti di apprendimento nell'era dell'intelligenza artificiale*, al seguente link: <https://www.uniurb.it/novita-ed-eventi/6447> (DEH ALMA, 2026).

distribuito, mediato e valutato all'interno dell'università. In questo senso, la progettazione futura degli ambienti *AI-enhanced* dovrà necessariamente superare la logica dell'aggiunta tecnologica per assumere una prospettiva sistemica, nella quale spazio fisico, ambiente digitale e architettura pedagogica siano pensati come componenti interdipendenti di un unico ecosistema formativo.

Una prima prospettiva riguarda il passaggio da ambienti digitalizzati a ambienti realmente adattivi. Ranieri e Gaggioli (2025) mostrano infatti che molte università europee hanno già introdotto piattaforme, sistemi digitali e strumenti online, ma il loro uso resta spesso confinato a funzioni organizzative o trasmissive. La sfida futura consiste nel trasformare questi ambienti in contesti capaci di leggere dinamicamente i bisogni degli studenti, modulare contenuti, supportare processi differenziati e accompagnare percorsi di apprendimento personalizzati senza irrigidire l'esperienza educativa dentro schemi algoritmici standardizzati. Questo significa che l'AI dovrà essere progettata non solo per distribuire materiali, ma per sostenere forme più sofisticate di tutoring, feedback formativo, regolazione metacognitiva e accompagnamento personalizzato.

Una seconda prospettiva riguarda l'integrazione tra intelligenza artificiale e inclusione strutturale. Il volume insiste sul fatto che l'inclusione non coincide con l'accesso tecnico alle tecnologie, ma con la capacità dell'ambiente di accogliere differenze cognitive, linguistiche, sociali e culturali. In futuro, progettare ambienti *AI-enhanced* significherà costruire spazi in cui accessibilità, flessibilità e personalizzazione siano previste fin dall'origine: piattaforme interoperabili, materiali multimodali, assistenti linguistici, sistemi di supporto adattivo, interfacce semplici e percorsi differenziabili dovranno costituire elementi ordinari della progettazione universitaria, non dispositivi aggiuntivi destinati solo a categorie specifiche di studenti.

In questa prospettiva acquisterà un ruolo crescente la convergenza tra LLM, realtà immersiva e robotica sociale. Gli ambienti futuri tenderanno probabilmente a integrare assistenti conversazionali capaci di supportare studio individuale e lavoro collaborativo,

ambienti virtuali immersivi per creare un ambiente ibrido che diventi l'ambiente comune per gli studenti e le studentesse in presenza e quelli collegati a distanza, oppure per creare simulazioni disciplinari, e robot sociali destinati a mediare alcune dimensioni relazionali del processo educativo. Tuttavia, proprio questa convergenza renderà ancora più decisivo il ruolo della progettazione pedagogica: nessuna tecnologia, da sola, garantisce qualità educativa. La capacità dell'ambiente di produrre apprendimento dipenderà dal modo in cui tali strumenti verranno integrati dentro metodologie coerenti, obiettivi formativi chiari e pratiche di valutazione riflessive.

Un ulteriore asse decisivo riguarda la trasformazione del ruolo del docente universitario. Il libro mostra con chiarezza come le competenze digitali dei docenti rappresentino il vero fattore abilitante della transizione *AI-enhanced*. In futuro il docente sarà sempre meno semplice trasmettitore di contenuti e sempre più progettista di ambienti cognitivi complessi: selezionatore critico di risorse, regista delle interazioni tra umano e macchina, garante della qualità epistemica delle informazioni, mediatore tra autonomia dello studente e supporto intelligente. Questo implica che le università dovranno investire in formazione continua, non limitata all'uso tecnico degli strumenti, ma centrata sulla loro integrazione metodologica, etica e disciplinare.

Una prospettiva particolarmente rilevante riguarda inoltre la governance etica degli ambienti intelligenti. L'espansione dell'AI nelle università comporta inevitabilmente nuove questioni relative a privacy, gestione dei dati, bias algoritmici, proprietà intellettuale, affidabilità dei contenuti e trasparenza dei processi automatici. Il futuro degli ambienti *AI-enhanced* dipenderà quindi anche dalla capacità istituzionale di definire cornici normative chiare, capaci di proteggere studenti e docenti senza bloccare l'innovazione. La progettazione architettonica e digitale degli ambienti universitari non potrà più essere separata da una riflessione su responsabilità, diritti e sostenibilità.

Infine, questo report vuole suggerire implicitamente che il vero obiettivo non sia costruire università tecnologicamente avanzate, ma università pedagogicamente più

intelligenti. In questa prospettiva, l'AI non dovrebbe sostituire la complessità dell'esperienza universitaria, ma renderla più capace di accogliere pluralità di percorsi, sostenere il pensiero critico e preservare la dimensione relazionale che rimane costitutiva dell'educazione superiore. Il rischio maggiore sarebbe infatti quello di concepire l'ambiente *AI-enhanced* come uno spazio ad alta automazione ma povero di relazione, mentre la direzione più promettente consiste nel progettare ambienti in cui l'intelligenza artificiale amplifichi la qualità delle interazioni umane invece di ridurle. Per questo, la prospettiva futura più convincente non sembra essere quella dell'università automatizzata, ma quella di una università aumentata o mediata dall'AI, nella quale l'AI diventa infrastruttura invisibile, ma controllabile, di supporto a un apprendimento più accessibile, più riflessivo, più dialogico e più capace di adattarsi alla complessità reale della formazione contemporanea.

Bibliografia

- Aarts, E. H. L., Marzano, S. (2003). *The new everyday: views on ambient intelligence*. Rotterdam: 010 publishers.
- Adaimi, R., Thomaz, E. (2022). Lifelong Adaptive Machine Learning for Sensor-Based Human Activity Recognition Using Prototypical Networks. *Sensors*, 22(18), 6881. <https://doi.org/10.3390/s22186881>
- Airoldi, R., (1978) Lo spazio scolastico: attrezzature e rapporto con il territorio. In: AA.VV. «*Enciclopedia della Scuola*», vol. II, Istituzione scolastica e ambiente, ISEDI, Milano.
- Auer, M. E., Pester, A., May, D. (2022). *Learning with Technologies and Technologies in Learning. Experience, Trends and Challenges in Higher Education*. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham, Springer.
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis, *Building and Environment*, Volume 89, 118-133, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>.
- Biagini, G., Gabbi, E. (2024). *L'educazione attraverso i dati. Dall'alfabetizzazione critica all'educational data mining*. Lecce, Pensa Multimedia.
- Bier, H., Hidding, A., Khademi, S., van Engelenbrug, C., Alavi, H., e Zhong, S. (2024). Advancing Applications for Artificial-Intelligence-Supported Ambient Control in the Built Environment. *Technology | Architecture + Design*, 8(1), 155–164. <https://doi.org/10.1080/24751448.2024.2322927>.
- Biggs, J. B. (2003). *Teaching for quality learning at university*. Buckingham, Open University Press/Society for Research into Higher Education.
- Bloom, B. S. (1984). The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring. *Educational Researcher*, Vol. 13, No. 6. (Jun. - Jul. 1984), pp. 4-16.

- Bobula, M. (2024). Generative artificial intelligence (AI) in higher education: A comprehensive review of challenges, opportunities, and implications. *Journal of Learning Development in Higher Education*, 30. <https://doi.org/10.47408/jldhe.vi30.1137>
- Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., e Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 4. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z>
- Borgognon, N., Moccozet, L. e Molinari, G. From Ecotone to Phygital SceneGraph: Designing Postdigital Classrooms for Collaborative Maker-Based Learning. *Postdigit Sci Educ* 7, 985–1006 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42438-025-00575-8>
- Bright, S. e Calvert, E. (2023). Educational Technology: Barrier or Bridge to Equitable Access to Advanced Learning Opportunities? *Gifted Child Today*, 46(3), 187-200.
- Bronfenbrenner, U. (1989). *Ecological Systems Theory*. *Ann. Child Dev.* 6, 187–249.
- Bullivant, L. (2006). *Responsive Environments: architecture, art and design*. London, Bloomsbury.
- Carro, R., Tosi, L. (2023). *Lo spazio della scuola. Architettura scolastiche e cicli pedagogici*. Roma, Carocci.
- Cavoukian, A., Taylor, S. e Abrams, M. E. (2010). Privacy by Design: essential for organizational accountability and strong business practices. *IDIS* 3, 405–413. <https://doi.org/10.1007/s12394-010-0053-z>.
- Ciotti, F., Roncaglia, G. (2008). *Il mondo digitale. Introduzione ai nuovi media*. Roma-Bari, Laterza.
- Cuomo, S., Biagini, G., Ranieri, M. (2022). Artificial Intelligence Literacy, che cos'è e come promuoverla. Dall'analisi della letteratura ad una proposta di Framework, *Media Education*, 13, 2, pp. 161-72.

- De Witte, B., Reynaert, V., Kieken, D., Jabbour, J., Demarey, C., Dumoulin, A., Possik, J. (2026). Immersive virtual reality learning and cognitive load: A multiple-day field study, *Computers in Human Behavior*, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2025.108853>.
- Dewey, J. (1902). *The Child and the Curriculum*. Chicago; University of Chicago Press.
- Dimitriadou, E. e Lanitis, A. (2023). A critical evaluation, challenges, and future perspectives of using artificial intelligence and emerging technologies in smart classrooms. *Smart Learning Environments*, 10, Article 12. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00231-3>
- El Morr, C., Kundi, B., Mobeen, F., Taleghani, S., El-Lahib, Y., Gorman, R. (2024). AI and disability: A systematic scoping review. *Health Informatics Journal*, 1(1), 1–24. <https://doi.org/10.1177/14604582241285743>
- El Morr, C., Maret, P., Muhlenbach, F., Dharmalingam, D., Tadesse, R., Creighton, A., Gorman, R. (2021). A virtual community for disability advocacy: Development of a searchable artificial intelligence–Supported platform. *JMIR formative research*, 5(11), e33335
- Engeström, Y. (1987/2015). *Learning by Expanding. An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Ferri, P., Moriggi, S. (2016). Destruire l'aula, ma con metodo: spazi e orizzonti epistemologici per una didattica aumentata dalle tecnologie, *ECPS Journal*, 13, 143-161.
- Gams, M., I. Y-H. Gu, A. Härmä, A. Muñoz, and V. Tam. (2019). Artificial Intelligence and Ambient Intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* 11: 71–86. <https://doi.org/10.3233/AIS-180508>.
- Ghahremanlou, A., Ghahremanlou, D., (2025). Detailed analysis of air pollution in the Canadian prairie region: A step toward net-zero emission, *Science of The Total Environment*, Volume 963, 178492, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178492>.

- Garzón, J., Patiño, E., e Marulanda, C. (2025). Systematic review of artificial intelligence in education: Trends, benefits, and challenges. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(8), 84. <https://doi.org/10.3390/mti9080084>
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton, Mifflin and Company
- Goupil, L., Kouider, S. (2019), Developing a reflective mind: from core metacognition to explicit self-reflection, *Current Directions in Psychological Science*, 28, 4, 403-408. <https://doi.org/10.1177/09637214198486>.
- Gray, C., Kou, Y., Battles, B., Hoggatt, J., e Toombs, J. T. (2018). The Dark (Patterns) Side of UX Design. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper 534, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174108>
- Grannäs, J., Frelin, A., Östlin, T. (2026). Unpacking flexibility in innovative learning environments - teachers' experiences in practice. *Educational Studies*, 52(1), 76–92. <https://doi.org/10.1080/03055698.2024.2448781>
- Hashim, S., Omar, M. K., Ab Jalil, H., Sharef, N. M. (2022). Trends on technologies and artificial intelligence in education for personalized learning: systematic literature. *Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 12(1), 884-903.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R. J., Cole, E. J., Toyinbo, O., Moschandreas, D. J., (2015). An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance, *Building and Environment*, Volume 93, Part 1, 35-40, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.006>.
- Hong, T.T.M., Tung, N.T.T., Thanh, N.T.P. (2025). Mapping artificial intelligence research in higher education toward sustainable development. *Discov Sustain* 6, 1240. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02162-0>.

- Hussein, E., Kan'An, A., Rasheed, A., Alrashed, Y., Jdaitawi, M., Abas, A., et al. (2023). Exploring the impact of gamification on skill development in special education: A systematic review. *Contemporary Educational Technology*, 15(3), ep443.
- Kariippanon K. E., Cliff D. P., Lancaster S. J., Okely A. D., Parrish A. M. (2019). Flexible learning spaces facilitate interaction, collaboration and behavioural engagement in secondary school. *PLOS ONE* 14(10): e0223607. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223607>
- Koti, A. (2023). The use of AR in secondary education: Educational augmented reality material to enhance students' digital and social skills. *Creative Education*, 14(13), 2721-2746.
- Kovari, A. (2025). A systematic review of AI-powered collaborative learning in higher education: Trends and outcomes from the last decade, *Social Sciences & Humanities Open*, Volume 11, 101335, <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101335>.
- Konings, R., De Leersnyder, J., Agirdag, O. (2024). Development and validation of domain specific school diversity model scales among pupils and teachers: A multilevel approach, *Journal of School Psychology*, Volume 107, 101378, <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2024.101378>.
- Lipman, M. (2003). *Thinking in Education*. (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lampropoulos, G. (2025). Augmented Reality, Virtual Reality, and Intelligent Tutoring Systems in Education and Training: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 15(6), 3223. <https://doi.org/10.3390/app15063223>
- Lan, M., Zhou, X. A qualitative systematic review on AI empowered self-regulated learning in higher education. *npj Sci. Learn.* 10, 21 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00319-0>
- Leemans, G., von Ahlefeld, H. (2013). Understanding School Building Policy and Practice in Belgium's Flemish Community, *OECD Educational Working Papers* No. 92.

- Lefebvre, H. (1991). *The production of space*. MA/Oxford, Blackwell.
- Lehmann, H. (2020). *Social Robotics for Enactive Didactics*. Milano, FrancoAngeli.
- Liang, J., Stephens, J. M., Brown, G. T. L. (2025). A systematic review of the early impact of artificial intelligence on higher education curriculum, instruction, and assessment. *Frontiers in Education*, 10, Article 1522841. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1522841>
- Limo, F. A. F., et al. (2023). Personalized tutoring: ChatGPT as a virtual tutor for personalized learning experiences. *Social Space*, 23(1), 293–312.
- Lin, CC., Huang, A.Y.Q. & Lu, O.H.T. Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learn. Environ.* 10, 41 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>.
- Lin X, Li R, Chen Z and Xiong J (2024) Design strategies for VR science and education games from an embodied cognition perspective: a literature-based meta-analysis. *Front. Psychol.* 14:1292110. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1292110
- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), 410. <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
- Long, D. Y, Wang, S., Md Rashid, S. Lu, X. T. (2026). Artificial intelligence in higher education: a systematic review of its impact on student engagement and the mediating role of teaching methods. *Front. Educ.* 10:1648661. doi: 10.3389/feduc.2025.1648661
- Luan, H., Geczy, P., Lai, H., Gobert, J., Yang, S. J., Ogata, H., et al. (2020). Challenges and future directions of big data and artificial intelligence in education. *Frontiers in Psychology*, 11, 580820. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.580820>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson.
- Makransky, G., Petersen, G.B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual

Reality. *Educ Psychol Rev* 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>

Malaguzzi, L. (2010). *I cento linguaggi dei bambini. L'approccio di Reggio Emilia all'educazione dell'infanzia*. Bergamo: Edizioni Junior, 2010.

Masveta, D., Manyangara, M. E. (2025). The UX-UI continuum: exploring the interplay between user experience and user interface in e-learning platforms. *Cogent Education*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2536531>

Mäkelä et al., (2021). Finnish Media Scrapers. *Journal of Open Source Software*, 6(68), 3504, <https://doi.org/10.21105/joss.03504>

Meyer, A., Rose, D. H., e Gordon, D. (2014). *Universal design for learning: Theory and practice*. CAST

Meyers-Levy, J., e Zhu, R. (2007). The influence of ceiling height: The effect of priming on the type of processing that people use. *Journal of Consumer Research*, 34(2), 174–186. <https://doi.org/10.1086/519146>

Moggridge, B., (2006). *Designing Interactions*. MA, MIT Press.

Mosha, N. F. V., Chigwada, J., Ketchiwou, G. F., Ngulube, P. (2026). A Systematic Review of Artificial Intelligence in Higher Education Institutions (HEIs): Functionalities, Challenges, and Best Practices. *Education Sciences*, 16(2), 185. <https://doi.org/10.3390/educsci16020185>

Metcalf, J. E., Shimamura, A. P. (1994). *Metacognition: Knowing about knowing*. Massachusetts, The MIT Press.

Montani, P. (2025). *Vita interattiva. Da Homo sapiens all'universo digitale*. Torino, Einaudi.

Morales, A., MacFarlane, W. D. (2025). rTwig: An R package to correct overestimated small branches and twigs in quantitative structure models of trees, *Science of Remote Sensing*, Volume 12, 2025, 100284, ISSN 2666-0172, <https://doi.org/10.1016/j.srs.2025.100284>.

- Moriggi, S. (2019). Tolleranza epistemologica: per una “eco-logia degli ambienti virtuali (di apprendimento). *Reports on E-Learning, Media and Education Meetings*, 8(1), 14-19.
- Mourtzis, D., (2023). Digital twin inception in the Era of industrial metaverse. *Front. Manuf. Technol.* 3:1155735. doi: 10.3389/fmtec.2023.1155735
- Negroponete, N. (1975). The architecture machine, *Computer-Aided Design*, Volume 7, Issue 3, 190-195, [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(75\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0010-4485(75)90009-3)
- Norman, D. (1988). *The Psychology of Everyday Things*. New York, Basic Books.
- Ouyang, F., Zheng, L., Jiao, P. (2022). Artificial intelligence in online higher education: A systematic review of empirical research from 2011 to 2020. *Education and Information Technologies*, 27(6), 7893–7925. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10925-9>
- Panciroli, C., Rivoltella, P. C. (2023a). *Pedagogia algoritmica. Per una riflessione educativa sull'Intelligenza Artificiale*. Scholé.
- Panciroli, C., Rivoltella, P. C. (2023b). Can an algorithm be fair? Intercultural biases and critical thinking in generative artificial intelligence social uses. *SCHOLÉ*, 61, 67–84.
- Ranieri, M., Cuomo, S., Biagini, G. (2024). *Scuola e intelligenza artificiale. Percorsi di alfabetizzazione critica*. Roma, Carocci.
- Ranieri, M., Gaggioli, C., (2025), *Innovazione didattica e ambienti inclusivi all'università. Dalle competenze digitali all'intelligenza artificiale*, Pisa, Edizioni ETS.
- Rangel-de Lázaro, G., Duart, J. M. (2023). You can handle, you can teach it: Systematic review on the use of extended reality and artificial intelligence technologies for online higher education. *Sustainability*, 15(4), 3507; <https://doi.org/10.3390/su15043507>
- Redecker, C., Punie, Y. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Publications Office of the European Union.
- Rizzo, A. (2020). *Ergonomia cognitiva. Dalle origini al design thinking*. Bologna, Mulino.

- Sancassani, S., Casiraghi, D. (2026). *Il potere di imparare. Perché l'apprendimento è il fattore strategico nell'era dell'intelligenza artificiale*. Milano, Mondadori.
- Sancassani, S., Baldoni, V., Brambilla, F., Casiraghi, D., Corti, P., Marengi, P., Ferri, P. (2023). *La ricerca del giusto mezzo. Strategie di equilibrio tra aula e digitale*. Milano, Pearson.
- Sayed, A. N., Himeur, Y., Bensaali, F. (2022). Deep and transfer learning for building occupancy detection: A review and comparative analysis, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 115, 105254, ISSN 0952-1976, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105254>.
- Shahidi R, Golmohammadi R, Babamiri M, Faradmal J, Aliabadi M. (2021). Effect of warm/cool white lights on visual perception and mood in warm/cool color environments. *EXCLI J.*; 20:1379-1393. doi: 10.17179/excli2021-3974.
- Shneiderman, B. (2022). *Human-Centered AI*. Oxford, Oxford University Press.
- Stamatescu, G., Chitu, C., (2021). Privacy-Preserving Sensing and Two-Stage Building Occupancy Prediction Using Random Forest Learning, *Journal of Sensors*. <https://doi.org/10.1155/2021/8000595>
- Steinbauer, G., et al. (2021). A Differentiated Discussion about AI Education K-12, *KI – Künstliche Intelligenz*, 35, 2, pp. 131-7.
- Sumardani, D., Lin, C. H. (2023). Cognitive processes during virtual reality learning: A study of brain wave. *Education and Information Technologies* 28, 11 (Nov 2023), 14877–14896. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11788-4>
- Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educ Psychol Rev* 31, 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Tillmanns, T., Salomão Filho, A., Rudra, S., Weber, P., Dawitz, J., Wiersma, E., Dudenaite, D., Reynolds, S. (2025). Mapping Tomorrow's Teaching and Learning Spaces: A

Systematic Review on GenAI in Higher Education. *Trends in Higher Education*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.3390/higheredu4010002>

Tondeur, J., Howard, S., Carvalho, A.A. et al. (2024). The DTALE Model: Designing Digital and Physical Spaces for Integrated Learning Environments. *Tech Know Learn* 29, 1767–1789. <https://doi.org/10.1007/s10758-024-09784-9>

Vanacore, R., Gomez Paloma, F. (2020). *Progettare gli spazi educativi. Un approccio interdisciplinare tra architettura e pedagogia*. Roma, Anicia.

Varela, F. J., Rosch, E., Thompson, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MA, MIT Press.

Weiser, M. e Brown, J. S. (1996). *The Coming Age of Calm Technology*.

Wu, W.-Y., Guo, J.-Y., Li, Y.-J., Sun, Y.-L. (2023). Research on the Design of Virtual Reality Online Education Information Presentation Based on Multi-Sensory Cognition. *Inventions*, 8(2), 63. <https://doi.org/10.3390/inventions8020063>

Xu, F., Hao, Q., Shao, C., Zong, Z., Li, Y., et al. (2025). Toward large reasoning models: A survey of reinforced reasoning with large language models, *Patterns*, Volume 6, Issue 10, 101370, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2025.101370>.

Zhang, W., Li, J., Tien, P. W., Calautit, J. K. (2025). Vision-based occupancy detection in indoor environments: A comparison of standard RGB and thermal cameras, *Journal of Building Engineering*, Volume 114, 114215, <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.114215>.

Normativa

ANVUR. 2023a. Linee Guida per l'Assicurazione della Qualità negli Atenei. Roma: Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca.

ANVUR. 2023b. Linee guida per il riconoscimento e la valorizzazione della docenza universitaria. Roma: Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca.

Dipartimento per la trasformazione digitale. 2026. DigComp 3.0.

<https://repubblicadigitale.gov.it/portale/documents/20122/1011125/DigComp-3.0-Quadro-europeo-competenze-digitali-italiano-v1.pdf>.

Ministero dell'Istruzione, dell'università e della ricerca, Indicazioni Nazionali, D.M. n. 254 del 13 novembre, 2012.

Ministero dell'Istruzione, dell'università e della ricerca, Indicazioni Nazionali e nuovi scenari, 2018.

Ministero dell'Istruzione, dell'università e della ricerca, D.M. 22 novembre 2018, n. 762.

Redecker, C., Punie, Y. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Publications Office of the European Union.

UNESCO, GEM report (2023), Technology in education. A Tool on whose terms?

Sitografia

AUDE (2022), <https://www.aude.ac.uk/knowledge-hub/all-resources?tagged=Space%20Management%20Group>

DEH ALMA (2026), <https://www.uniurb.it/novita-ed-eventi/6447>

Flexspace (2026), <https://flexspace.org/>

HyFlex (2026), <https://mbzuai.ac.ae/news/hybrid-flexible-classrooms-link-up-for-greater-learning/>

INDIRE (2026a), <https://www.indire.it/progetto/Il-modello-1-4-spazi-educativi/>

INDIRE (2026b), https://www.indire.it/wp-content/uploads/2016/03/ARC-1603-Manifesto-Italiano_LOW.pdf

MIUR, https://www.istruzione.it/scuola_digitale/ambienti_apprendimento_innovativi.shtml.

TaLAI (2026), <https://tlc.uva.nl/en/article/talai-teaching-and-learning-with-artificial-intelligence-in-higher-education/?faculty=53>