Università di Foggia

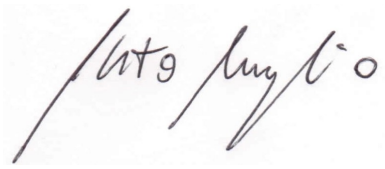
Universitas Mercatorum
Università telematica delle Camere di Commercio Italiane

Corso di Dottorato in
Learning Sciences and Digital Technologies
XXXVIII ciclo

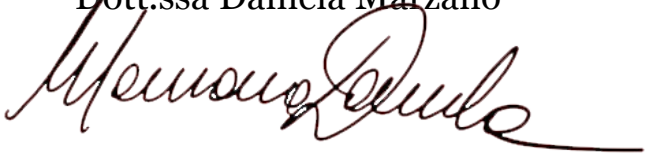
"L'Intelligenza Artificiale Generativa (GAI) nei processi di insegnamento-apprendimento livello K-12"

Curriculum: Technology Enhanced Learning

Tutor
Chiar.mo Prof. Roberto Maniglio



Dottorando
Dott.ssa Daniela Marzano



Co-tutor
Chiar.mo Prof. Alessandro Ricci



Anno Accademico 2024/2025

INDICE

Introduzione Generale 6

- Contesto e rilevanza della ricerca 6
- Obiettivi dello studio 7
- Domande di ricerca 8
- Percorso triennale e motivazioni scientifiche 9
- Attività di formazione e sviluppo delle competenze 10
- Produzione scientifica 10
- Esperienze e collaborazioni internazionali 11
- Sintesi e collegamento alla struttura della tesi 11

PARTE I – CORNICE TEORICA E STATO DELL'ARTE

Capitolo I – L'Intelligenza Artificiale in educazione: fondamenti concettuali e prospettive pedagogiche 13

1.1 Definizione di AI, GAI e *AI Literacy* 13
1.2 Classificazione delle applicazioni GAI nella scuola K-12 14
1.3 Politiche europee per la digitalizzazione e l'AI in educazione: prospettive e criticità 15
1.4 Implicazioni etiche, rischi e prospettive critiche 16
1.5 AI e competenze chiave per la cittadinanza 18

Capitolo II – Formazione degli insegnanti e modelli teorici di riferimento 20

2.1 *Digital Literacy* e *AI Literacy* nella professionalità docente 20
2.2 Framework di riferimento (*TPACK, DigCompEdu, Bloom-4AI*) 21
2.3 Soft skills, intelligenza emotiva e benessere digitale 23
2.4 La sfida della verticalità e modularità curricolare 24

Capitolo III – *Review* sistematica della letteratura 26

3.1 Metodologia di analisi e criteri di selezione 27
3.2 Risultati principali e aree di convergenza 28
3.3 Lacune e prospettive di ricerca emergenti 30
3.4 Dalla sintesi critica alla proposta di un nuovo framework 33
3.4.1 Genesi epistemologica del framework Di.Ver.So.: dal modello teorico alla costruzione curricolare 34

PARTE II – IMPIANTO METODOLOGICO DELLA RICERCA

Capitolo IV – Fondamenti metodologici e struttura del disegno di ricerca 36

4.1 Logica complessiva della ricerca 36
4.2 Domande operative e obiettivi applicativi 37
4.3 Disegno della ricerca e articolazione delle fasi 38
4.4 Strumenti e tecniche di raccolta dati 40
4.5 Descrizione del campione e del contesto 44
4.6 Procedure di raccolta e validazione dati 46
4.6.1 Fasi e modalità di somministrazione *46*
4.7 Metodi di analisi quantitativa e qualitativa 52
4.8 Limiti e considerazioni metodologiche 56

PARTE III – IL FRAMEWORK DI.VER.SO.: MODELLIZZAZIONE E STRUTTURA CURRICOLARE

Capitolo V –Curricolo Digitale Verticale Sostenibile: principi e architettura.. 61
5.1 Fondamenti pedagogici e visione sistemica 62
5.2 Articolazione moduli: *Digital Knowledge, Media Education, Expertise, Humanities*...65
5.3 Verticalità per ordini di scuola 72
5.4 Mappatura delle competenze e integrazione curricolare in chiave verticale 76

Capitolo VI– Formazione e sviluppo professionale dei docenti 82
6.1 Applicazione del modello TPACK al framework Di.Ver.So.....82
6.2 Processi di autovalutazione e progressione professionale 83
6.3 *Repository* digitale e comunità di conoscenza 84
6.4 Integrazione di AI Generativa nella progettazione didattica 84

Capitolo VII – UdA e strumenti per la didattica aumentata 86
7.1 UdA modello per i diversi livelli scolastici.....86
7.2 Strumenti di GAI e strategie di integrazione 86
7.3 Criteri di valutazione e progressione modulare 87
7.4 Esempi di progettazione disciplinare integrata 88

PARTE IV – EVIDENZE E IMPLICAZIONI PEDAGOGICHE

Capitolo VIII – Evidenze empiriche e validazione pedagogica del framework 90
8.1 Struttura e logica dell'analisi empirica.....90
8.2 Risultati quantitativi 92
8.3 Analisi quantitativa delle evidenze 94
8.4 Triangolazione e implicazioni pedagogiche.....96

PARTE V – VALIDAZIONE INTERNAZIONALE E PROGETTI SPERIMENTALI

Capitolo IX– Il MOOC europeo su AI e Scienze Umane..... 99
9.1 Contesto istituzionale e obiettivi formativi 100
9.2 Struttura, metodologia e strategie didattiche 100
9.3 Risultati attesi e potenziali impatti sullo sviluppo professionale.....102

Capitolo X– Progetto di Dublino: materiali audiovisivi con AI 105
10.1 Obiettivi e contesto di realizzazione 105
10.2 Sviluppo dei contenuti e processi produttivi.....106
10.3 Impatti formativi e di sensibilizzazione 108

Capitolo XI – Collaborazione con l'Università degli Studi di Milano..... 110
11.1 AI per la comunicazione ambientale e la sostenibilità 110
11.2 Attività svolte e prodotti generati 111
11.3 Esiti scientifici e pubblicazioni.....111
11.4 Prospettive di estensione del framework Di.Ver.So. 112
11.5 Prospettive di ricerca.....113
11.6 Verso una sintesi 113

PARTE VI – DISCUSSIONE, IMPLICAZIONI E PROSPETTIVE

Capitolo XII – Produzione scientifica e diffusione dei risultati..... 115

Capitolo XIII – Impatto e prospettive future 117

13.1 Contributi originali della ricerca 117
13.2 Valore innovativo del framework Di.Ver.So.....118
13.3 Impatto sulla scuola, le *policy* e l'Università.....119
13.4 Limiti dello studio.....120
13.5 Linee di ricerca futura e sintesi conclusiva.....121

Ringraziamenti 126

Bibliografia 127

Appendici.....134

- Il framework Di.Ver.So.
- Esempi di schermate del MOOC per l'EUI
- Università di Dublino: "Spot about AI in Education"
- Articoli e monografie (PUBBLICATI)
- Abstract Book della Conference Geoscienze at school – *Plenary section*
- Articoli e monografie (INVIATI PER REVISIONE)

MAPPA DELLA TESI

01 INTRODUZIONE GENERALE
Contesto, obiettivi e domande di ricerca
Percorso triennale e motivazioni scientifiche
Attività formative e collaborazioni internazionali
Sintesi e struttura della tesi

02 CORNICE TEORICA E STATO DELL'ARTE
Cap. 1: AI, GAI e AI Literacy in educazione K-12
Cap. 2: Digital/AI Literacy, TPACK, DigCompEdu
Cap. 3: Review sistematica e lacune di ricerca
Genesi del modello DI.VER.SO

03 QUADRO METODOLOGICO
Cap. 4: Logica epistemologica e disegno di ricerca
Strumenti, campione e metodi di analisi
Limiti e considerazioni metodologiche

04 IL FRAMEWORK DI.VER.SO
Cap. 5: Curricolo Digitale Verticale Sostenibile
Cap. 6: Formazione e sviluppo professionale docenti
Cap. 7: UDA e strumenti per la didattica aumentata
Integrazione TPACK e GAI nella progettazione

05 EVIDENZE EMPIRICHE
Cap. 8: Indagine nazionale sui docenti
Analisi quantitative, qualitative e studi di caso
Implicazioni per formazione e politiche educative

06 VALIDAZIONE INTERNAZIONALE E PROGETTI SPERIMENTALI
Cap. 9: MOOC europeo su IA e scienze umane
Cap. 10: Progetto Dublino (materiali audiovisivi)
Cap. 11: Collaborazione UNIMI (comunicazione ambientale)

07 DISCUSSIONE E PROSPETTIVE
Cap. 12: Disseminazione scientifica
Monografia, contributi e convegni
Cap. 13: Contributi originali e linee future
Valore innovativo e impatti su scuola e policy

CONCLUSIONI FINALI
Sintesi teorica, empirica e progettuale
L'AI come leva per un curricolo digitale sostenibile

BIBLIOGRAFIA E APPENDICI
Framework DI.VER.SO, UDA, questionari, materiali MOOC e articoli

INTRODUZIONE GENERALE

Contesto e rilevanza della ricerca

Negli ultimi anni l'Intelligenza Artificiale (AI) si è affermata come una delle forze trasformative più incisive dei sistemi sociali contemporanei, ridefinendo i modelli di produzione della conoscenza, di interazione e di apprendimento. L'educazione, e in particolare il sistema scolastico K-12, rappresenta oggi uno dei principali terreni di confronto tra innovazione tecnologica e riflessione pedagogica. La sfida che le istituzioni educative si trovano ad affrontare è duplice: da un lato, integrare l'AI nei processi di insegnamento-apprendimento in modo consapevole, critico e sostenibile; dall'altro, formare cittadini capaci di agire responsabilmente all'interno di una società *data-driven* e algoritmica. In questo scenario, il ruolo del docente assume una rilevanza centrale. L'insegnante non è più soltanto trasmettitore di contenuti, ma diviene mediatore epistemologico e culturale, promotore di una *AI Literacy* diffusa e di una cittadinanza digitale eticamente orientata.

La presente tesi si colloca all'interno delle *Learning Sciences* e delle *Digital Technologies for Education* con l'obiettivo di indagare strategie, modelli e strumenti capaci di sostenere tale transizione, integrando le dimensioni teoriche, empiriche e progettuali della ricerca educativa. L'elaborato prende le mosse da una *review* sistematica della letteratura sull'applicazione dell'AI nei contesti educativi K-12 già pubblicata come articolo scientifico, che ha messo in luce tre criticità fondamentali:

1) la carenza di modelli strutturati e continuativi di formazione docente,
2) l'assenza di curricoli verticali per l'educazione all'AI,
3) una diffusa incertezza epistemologica e operativa circa i fini educativi dell'intelligenza artificiale.

Tali evidenze hanno motivato la costruzione di un *framework originale*, denominato *Di.Ver.So.* (*Curricolo Digitale Verticale Sostenibile*), concepito per offrire una risposta pedagogica sistemica alle esigenze emergenti dell'*AI Education*. Il modello creato, articolato in quattro dimensioni (*Digital Knowledge, Media Education, Expertise, Humanities)* integra prospettive tecnico-strumentali e riflessivo-etiche, ponendo le basi per un curricolo digitale verticale e scalabile. Parallelamente, la ricerca si fonda su una indagine empirica di ampia scala, che ha coinvolto oltre mille docenti in formazione iniziale e in servizio, al fine di rilevare percezioni, pratiche e bisogni formativi. Le evidenze raccolte sono state ulteriormente arricchite da esperienze progettuali e collaborazioni internazionali, tra cui lo sviluppo di un MOOC europeo sull'AI per le Scienze Umane, la produzione di materiali audiovisivi per la promozione dell'AI nella didattica per l'Università di Dublino e la cooperazione con l'Università degli Studi di Milano per progetti di comunicazione ambientale mediata dall'AI.

Obiettivi dello studio

Il nucleo concettuale di questa ricerca risiede nell'analisi delle condizioni attraverso cui l'AI può essere integrata in modo significativo e, al contempo, ponderato nei contesti educativi K-12. L'obiettivo non è semplicemente quello di introdurre nuove tecnologie, ma di promuovere una revisione critica e sistematica della formazione docente e della progettazione curricolare, finalizzata alla definizione di un curricolo digitale verticale e modulare, capace di accompagnare in modo coerente lo sviluppo delle competenze lungo l'intero percorso scolastico. Questa prospettiva richiede un impianto interpretativo ampio, sostenuto dal confronto tra modelli teorici, evidenze empiriche e pratiche consolidate a livello nazionale e internazionale, con l'intento di delineare un quadro solido e contestualmente fondato per l'integrazione dell'AI nella scuola.

A partire da questa visione generale, il lavoro si è concentrato su sei direzioni principali.

1) Comprendere il posizionamento attuale del fenomeno

   La prima fase della ricerca ha riguardato la ricostruzione sistematica dello stato dell'arte relativo all'integrazione dell'AI nei contesti scolastici K-12. Tale analisi ha richiesto l'esame critico delle principali linee di ricerca internazionali, con particolare attenzione sia alle potenzialità dichiarate nelle applicazioni educative, sia alle criticità emergenti in termini di implicazioni etiche, sicurezza, trasparenza e impatto sui processi cognitivi degli studenti. Questo lavoro preliminare ha consentito di definire un quadro aggiornato e metodologicamente fondato del panorama attuale.

2) Identificare i modelli teorici di riferimento

   Per interpretare in modo coerente un ambito in rapida evoluzione, si è proceduto al confronto tra i modelli teorici e formativi più autorevoli, tra cui *TPACK, DigCompEdu, AI Literacy* e il più recente *Bloom–4AI*. L'analisi comparativa di tali cornici ha permesso di individuare elementi convergenti e aspetti critici, costituendo così una base concettuale robusta per ripensare la formazione docente nell'ottica dell'integrazione dell'AI.

3) Rilevare i bisogni formativi dei docenti

   Un momento centrale del percorso ha riguardato la raccolta e l'interpretazione di dati empirici relativi alle percezioni, alle aspettative e ai bisogni formativi dei docenti, sia in formazione iniziale sia in servizio. L'analisi dei dati qualitativi e quantitativi ha permesso di individuare con maggiore precisione le aree di fragilità e i nodi problematici, delineando così le priorità formative e le competenze da sviluppare per un utilizzo consapevole e pedagogicamente fondato dell'AI.

4) Progettare un modello curricolare

   Su queste basi è stato sviluppato il framework Di.Ver.So., concepito come un modello curricolare digitale verticale e modulare. Il framework mira a sostenere lo sviluppo

integrato di competenze digitali, critiche ed etiche, includendo strategie per l'uso consapevole della Generative AI nella progettazione didattica. In questa prospettiva, Di.Ver.So. si configura come uno strumento di orientamento per la costruzione di percorsi formativi progressivi e contestualmente fondati.

5) Validare il modello attraverso sperimentazioni contestuali
   Il framework è stato successivamente discusso, applicato e validato attraverso momenti di formazione, collaborazioni e sperimentazioni condotte in contesti nazionali e internazionali. Questa fase ha permesso di verificare la trasferibilità del modello, la sua scalabilità e la sua capacità di adattarsi a sistemi scolastici con caratteristiche differenti, contribuendo a raffinare ulteriormente la struttura curricolare proposta.
6) Disseminare e valorizzare i risultati della ricerca
   Infine, la ricerca ha previsto azioni mirate di disseminazione scientifica e formativa, finalizzate a restituire i risultati ottenuti e a promuovere la diffusione di una cultura pedagogica dell'AI basata su sostenibilità, inclusione e responsabilità. La valorizzazione dei risultati si è tradotta in contributi accademici, percorsi formativi e collaborazioni istituzionali volte a consolidare l'impatto teorico e operativo del lavoro.

Domande di ricerca

La ricerca ha inteso rispondere ai seguenti interrogativi:

(1) *Quali opportunità e criticità emergono dall'impiego dell'AI nei processi di insegnamento-apprendimento nella scuola a livello K-12, secondo la letteratura scientifica più recente?*
(2) *In che modo i modelli teorici e formativi esistenti possono orientare la preparazione dei docenti a un uso critico, consapevole e professionalmente sostenibile dell'AI?*
(3) *Quali percezioni, pratiche e bisogni formativi emergono dal campione di docenti analizzato rispetto all'adozione dell'AI nella didattica?*
(4) *In che misura il framework innovativo Di.Ver.So. può rispondere a tali bisogni, configurandosi come modello scalabile e sostenibile per l'integrazione verticale dell'AI nei diversi livelli scolastici?*
(5) *Quali contributi offrono le esperienze internazionali alla validazione e disseminazione del framework, e in che modo possono orientare le future politiche educative sull'AI?*
(6) *In che modo la produzione scientifica e le attività di disseminazione contribuiscono alla costruzione di una cultura pedagogica dell'AI sostenibile, inclusiva e fondata su evidenze?*

La corrispondenza sistematica tra obiettivi, domande di ricerca e articolazione dei capitoli garantisce la coerenza metodologica dell'impianto complessivo della tesi: ogni obiettivo di ricerca è tradotto in una domanda e trova riscontro in uno o più capitoli (*vedi Tab.1*).

Tabella 1 – Coerenza tra obiettivi specifici, domande di ricerca e capitoli della tesi

Obiettivi specifici	Domande di ricerca	Capitoli di riferimento
1. Analizzare criticamente lo stato dell'arte sull'AI in educazione K-12, individuando opportunità, rischi e prospettive teoriche emergenti.	***Q1.*** *Quali opportunità e criticità emergono dall'impiego dell'AI nei processi di insegnamento–apprendimento nella scuola K-12, secondo la letteratura scientifica attuale?*	Cap. 1-3 Cornice teorica, politiche europee, modelli formativi e *systematic review* (Marzano, 2025)
2. Esaminare i principali modelli teorici e formativi (*TPACK, DigCompEdu, AI Literacy, Bloom–4AI*) come base per la definizione di un curricolo digitale verticale.	***Q2****. In che modo i modelli teorici e formativi esistenti possono orientare la preparazione dei docenti a un uso critico, consapevole e professionalmente sostenibile dell'AI?*	Cap. 2-4-5-6 Modelli teorici di riferimento, progettazione del framework e formazione dei docenti.
3. Raccogliere e interpretare dati empirici sulle percezioni, pratiche e bisogni dei docenti in formazione iniziale e in servizio.	***Q3.*** *Quali percezioni, pratiche e bisogni formativi emergono dall'indagine nazionale condotta su oltre 1.000 docenti rispetto all'adozione dell'AI nella didattica?*	Cap. 8 Indagine nazionale: analisi quantitativa e qualitativa, tecnofobia educativa e studio di caso (Senese, Marzano, Ambrosini, 2025).
4. Progettare e descrivere il framework Di.Ver.So. come modello curricolare modulare, scalabile e sostenibile.	***Q4.*** *In che misura il framework Di.Ver.So. può rispondere ai bisogni formativi dei docenti e favorire una progressione verticale delle competenze digitali e critiche?*	Cap. 5-7 Modellizzazione, architettura e Unità di Apprendimento del framework; strategie di integrazione della GAI
5. Validare e disseminare il framework Di.Ver.So. attraverso esperienze e collaborazioni internazionali, verificandone la trasferibilità e l'impatto.	***Q5.*** *Quali contributi offrono le esperienze e le collaborazioni internazionali alla validazione e alla disseminazione del framework Di.Ver.So.?*	Cap. 9-10-11 Progetti di validazione (MOOC europeo, progetto Dublino, collaborazione UNIMI – Geographies, 2025).
6. Diffondere i risultati scientifici e formativi della ricerca, valorizzandone la ricaduta teorica, empirica e sociale.	***Q6.*** *In che modo la produzione scientifica e le attività di disseminazione contribuiscono alla costruzione di una cultura pedagogica dell'AI sostenibile e inclusiva?*	Cap. 12-13 Disseminazione scientifica, monografia Marzano (2024), contributo sulle *Literacies* (2025), reti accademiche e linee di ricerca futura.

Percorso triennale e motivazioni scientifiche

La ricerca si fonda su una duplice esigenza: da un lato, colmare le lacune identificate nella letteratura scientifica in merito all'educazione all'AI nella scuola nei gradi K-12, mentre dall'altro, contribuire in modo originale al dibattito pedagogico e didattico attraverso la costruzione di un modello curricolare innovativo, empiricamente fondato e teoricamente robusto. Lo sviluppo del lavoro è stato orientato da tre urgenze principali, riconducibili alla mancanza di modelli verticali e sostenibili per l'integrazione dell'AI nei diversi ordini

scolastici; all'assenza di percorsi strutturati di formazione iniziale e in servizio per i docenti e alla necessità di dati empirici affidabili sulle percezioni e sui bisogni degli insegnanti, utili a orientare le future politiche educative. Nel corso del triennio dottorale, tali esigenze si sono tradotte in un percorso di ricerca integrato, caratterizzato da una solida formazione metodologica, dalla produzione di risultati scientifici originali e dall'avvio di collaborazioni nazionali e internazionali.

Attività di formazione e sviluppo delle competenze

Durante il dottorato sono state acquisite competenze teoriche e metodologiche avanzate nell'ambito delle *Learning Sciences* e delle *Digital Technologies for Education*. La partecipazione a corsi specifici, seminari, *summer school* e attività di ricerca ha permesso di consolidare conoscenze relative alla progettazione curricolare, all'analisi qualitativa e quantitativa dei dati e all'impiego di strumenti di GAI per la didattica. Parallelamente, l'attività formativa è stata arricchita da esperienze di docenza, tutoraggio e disseminazione accademica, che hanno rafforzato la capacità di trasferire conoscenze scientifiche in contesti educativi diversificati e di favorire la crescita professionale dei docenti coinvolti.

Produzione scientifica

La produzione scientifica sviluppata nel corso del triennio dottorale rappresenta la traccia più visibile della coerenza e della solidità del percorso di ricerca. Essa documenta un'evoluzione progressiva - teorica, empirica e applicativa - che ha accompagnato la costruzione e la validazione del framework innovativo proposto. Le pubblicazioni realizzate si articolano lungo tre direttrici principali: una riflessione teorica sull'AI in educazione e sulle politiche europee per la digitalizzazione; una ricerca empirica sui bisogni, le percezioni e le pratiche dei docenti rispetto all'AI e la sperimentazione progettuale e la disseminazione dei risultati in contesti nazionali e internazionali.

La prima direttrice comprende una *review sistematica* della letteratura internazionale e uno studio sulle politiche europee per l'integrazione dell'AI in educazione, che hanno fornito la base epistemologica e istituzionale del lavoro, mettendo in luce la carenza di modelli verticali di *AI Literacy* e la necessità di cornici pedagogiche scalabili. La seconda direttrice si è concretizzata nell'*indagine empirica* condotta su oltre mille docenti italiani, da cui sono derivati contributi dedicati all'analisi di timori, resistenze e opportunità percepite nell'uso dell'AI in classe. Questi risultati hanno orientato la successiva modellizzazione del framework e la definizione delle priorità formative. La terza direttrice comprende *contributi* legati alla dimensione progettuale e di validazione del modello, sviluppati anche nell'ambito di collaborazioni con l'Università degli Studi di Milano, con l'European University Institute e con l'Università di Dublino, nonché due pubblicazioni editoriali rivolte alla formazione docente e all'educazione alle *new literacies*. Nel loro insieme, questi esiti testimoniano la volontà di

coniugare rigore teorico, evidenza empirica e attenzione alle ricadute formative e sociali, inserendo il lavoro nel dibattito contemporaneo sulla GAI in educazione.

Esperienze e collaborazioni internazionali

Un ulteriore elemento qualificante del percorso è costituito dalle collaborazioni accademiche e progettuali sviluppate in ambito internazionale, che hanno permesso di mettere alla prova il framework in contesti formativi e culturali eterogenei. Tra queste esperienze, assume particolare rilievo la progettazione di un MOOC europeo dedicato all'uso dell'AI nella ricerca nel campo delle Scienze Umane, rivolto a dottorandi e ricercatori dell'educazione, che ha offerto un laboratorio privilegiato per esplorare forme di formazione scalabile e transnazionale. Parallelamente, la collaborazione con l'Università di Dublino ha portato alla realizzazione di materiali audiovisivi finalizzati a sensibilizzare i docenti sul positivo impiego della GAI nella didattica, contribuendo a rendere più accessibili e inclusivi i temi affrontati nel percorso di ricerca. A queste esperienze si affianca la cooperazione con l'Università degli Studi di Milano in progetti di comunicazione ambientale mediata dall'AI, sviluppati anche in partnership con istituzioni estere, che hanno consentito di declinare il modello in ambiti disciplinari e socioculturali differenti. Nel loro insieme, tali collaborazioni hanno rafforzato la dimensione internazionale della ricerca, confermandone la trasferibilità e la capacità di dialogare con ecosistemi formativi diversi, in linea con la prospettiva comparativa e sistemica che caratterizza l'intero impianto della tesi.

Sintesi e collegamento alla struttura della tesi

In sintesi, il percorso triennale ha consentito di integrare riflessione teorica, produzione empirica e sperimentazione progettuale all'interno di una prospettiva coerente e sistemica. La struttura della tesi riflette tale logica integrata: dalla definizione del quadro teorico e metodologico (*Parti I–II*), alla modellizzazione e progettazione del framework Di.Ver.So. (*Parti III–IV*), fino alle evidenze empiriche e alle esperienze di validazione internazionale (*Parti V–VI*). Questa ultima parte testimonia la volontà di collocare questa ricerca in un dialogo internazionale e interdisciplinare, volto a promuovere una cultura dell'AI pedagogicamente fondata, eticamente sostenibile e socialmente inclusiva.
La tesi si articola in 6 sezioni principali:

- **Parte I – Cornice teorica e stato dell'arte**
  Questa parte ricostruisce il quadro concettuale dell'AI in educazione, collocandolo entro le *Learning Sciences* e le politiche europee per la trasformazione digitale. Vengono analizzate le principali classificazioni dell'AI, i modelli formativi di riferimento e le implicazioni etiche, cognitive e culturali dell'adozione della GAI a scuola. La sezione si conclude con la descrizione della *systematic review* della letteratura internazionale - pubblicata su

Springer Nature - che ha evidenziato l'assenza di espliciti curricoli verticali e la necessità di un approccio pedagogico integrato e sostenibile all'AI per l'apprendimento.

- **Parte II – Quadro metodologico**
  La seconda parte della tesi descrive l'impianto metodologico della ricerca, fondato su un approccio *mixed methods sequenziale esplicativo*. Vengono illustrati la logica epistemologica, gli strumenti di raccolta dati, le procedure di validazione e i criteri di analisi quantitativa e qualitativa adottati. Questa sezione costituisce la base operativa per l'interpretazione delle evidenze empiriche e per la successiva modellizzazione curricolare.
- **Parte III – Il framework Di.Ver.So.: modellizzazione e struttura curricolare**
  Il nuovo framework Di.Ver.So. viene presentato nella sua articolazione teorica e progettuale. Ne vengono illustrati i principi pedagogici, i moduli costitutivi e la logica verticale e modulare che caratterizza il modello. La sezione include anche esempi di Unità di Apprendimento, applicazioni disciplinari e strategie per integrare in modo critico e sostenibile la GAI nella progettazione didattica.
- **Parte IV – Evidenze empiriche e implicazioni pedagogiche**
  Questa parte analizza i risultati dell'indagine nazionale condotta su oltre mille docenti in formazione iniziale e in servizio, integrando analisi quantitative (*pre-post, McNemar, correlazioni, ANOVA*) e approfondimenti qualitativi (*temi emergenti, resistenze psicopedagogiche, rappresentazioni professionali*). La sezione comprende inoltre uno studio pilota pubblicato sulla *Iris Journal of Educational Research*, che confronta lezioni tradizionali e attività *AI-enhanced* offrendo una lettura critica delle implicazioni pedagogiche emerse.
- **Parte V – Validazione internazionale e progetti sperimentali**
  La quinta parte approfondisce le sperimentazioni condotte in contesti internazionali - tra cui il MOOC europeo, la collaborazione con l'Università di Dublino e i progetti con l'Università degli Studi di Milano - per valutare la trasferibilità del framework in ecosistemi formativi, culturali e disciplinari differenti. Le attività presentate mostrano il potenziale del modello come architettura scalabile e comparativa per l'*AI Education*.
- **Parte VI – Discussione, implicazioni e prospettive**
  L'ultima parte ricompone l'intero percorso in una sintesi critica che integra evidenze empiriche, modellizzazione curricolare e ricadute scientifiche. La sezione valorizza la produzione accademica derivata dal dottorato - tra cui articoli *peer-reviewed*, contributi editoriali e attività di disseminazione - e ne discute le implicazioni per la formazione docente, le politiche educative e il dibattito scientifico sull'*AI Education*. La parte finale sviluppa una riflessione sui limiti della ricerca e sulle prospettive future, delineando il contributo originale di Di.Ver.So. come paradigma educativo sostenibile, eticamente orientato e fondato sulla verticalità del curricolo.

PARTE I – CORNICE TEORICA E STATO DELL'ARTE

Capitolo I

L'Intelligenza Artificiale in educazione: fondamenti concettuali e prospettive pedagogiche

1.1 Definizione di AI, GAI, *AI Literacy*

Il concetto di Intelligenza Artificiale (AI) si è progressivamente affermato nel dibattito scientifico e pedagogico come uno dei fenomeni tecnologici a maggiore impatto trasformativo sulla società contemporanea. Pur in assenza di una definizione univoca e universalmente condivisa, è possibile individuare un nucleo teorico comune che ne chiarisce i tratti distintivi. In senso ampio, l'AI può essere descritta come "*l'insieme di metodi, algoritmi e sistemi in grado di simulare, con livelli diversi di complessità, funzioni cognitive tipicamente umane quali l'elaborazione delle informazioni, il riconoscimento di pattern, l'apprendimento dall'esperienza e forme di decisione autonoma*". Nel contesto educativo, l'AI non rappresenta soltanto una tecnologia di supporto operativo, ma una vera e propria *tecnologia cognitiva* capace di intervenire nei processi di insegnamento e apprendimento, modificandone strutture, tempi e ruoli. La sua introduzione nelle scuole comporta quindi un ripensamento profondo del rapporto tra conoscenza, mediazione didattica e autonomia degli studenti, ridefinendo l'interazione tra docente, discente e contenuto in una prospettiva sempre più *data-driven*.

All'interno del vasto ecosistema delle tecniche di AI, un rilievo crescente è assunto dalla *Generative Artificial Intelligence (GAI)*, che indica modelli computazionali basati prevalentemente su architetture di *deep learning* e *transformer models*, in grado di generare testi, immagini e contenuti multimediali originali a partire da ampie basi di dati. A differenza dell'AI tradizionale, orientata soprattutto al riconoscimento e alla classificazione, la GAI introduce una dimensione produttiva e creativa, aprendo scenari inediti per l'educazione: dalla co-creazione di materiali didattici alla simulazione di ambienti di apprendimento interattivi, fino alla personalizzazione adattiva dei percorsi formativi.

Parallelamente, si è consolidata la nozione di *AI Literacy*, intesa come la competenza necessaria a comprendere, interpretare e utilizzare in modo consapevole i sistemi di AI. Essa non costituisce una semplice estensione della *Digital Literacy* di base, ma una forma di alfabetizzazione avanzata che implica la capacità di:

a) comprendere i principi di funzionamento delle applicazioni di AI,

b) valutarne potenzialità, limiti e rischi,

c) riconoscerne le implicazioni etiche, sociali e culturali,
d) interagirvi in modo critico e responsabile.

L'*AI Literacy* si configura, dunque, come una competenza chiave per la cittadinanza digitale del XXI secolo, indispensabile per orientarsi in una società sempre più permeata da sistemi intelligenti. In questa prospettiva, la formazione dei docenti assume un ruolo strategico: essi devono non solo acquisire conoscenze e abilità relative all'AI a livello personale e professionale, ma anche promuovere negli studenti una comprensione critica dei sistemi intelligenti e la capacità di utilizzarli in modo creativo, etico e responsabile. Tale responsabilità si estende all'intero arco del percorso scolastico K-12, dalla scuola dell'infanzia (*Kindergarten, K*) alla conclusione della scuola secondaria di secondo grado (*Grade 12*), corrispondente all'intera istruzione pre-universitaria e a una fascia d'età indicativamente compresa tra i 4/5 e i 17/18 anni. L'*AI Literacy* emerge così come una competenza professionale emergente e, allo stesso tempo, come un elemento fondativo della nuova cittadinanza educativa, destinato a incidere in modo strutturale sulla progettazione curricolare, sulla didattica disciplinare e sulla costruzione di una consapevolezza tecnologica autenticamente umanistica.

1.2 Classificazione delle applicazioni GAI nella scuola K-12

L'applicazione della GAI ai contesti scolastici K-12 ha dato origine a una pluralità di strumenti e approcci che riflettono la complessità dell'ecosistema educativo contemporaneo. Lungi dall'essere una categoria omogenea, le tecnologie di AI in educazione si differenziano per finalità, livello di automazione, grado di interazione con l'utente e impatto sui processi cognitivi e organizzativi della scuola. Diversi studi (Luckin et al., 2016; Holmes et al., 2019; Kenchakkanavar, 2023) convergono nel riconoscere all'AI un potenziale significativo per l'apprendimento, in particolare nelle aree della personalizzazione, della valutazione automatizzata, della generazione di contenuti e del supporto amministrativo e gestionale. Particolarmente rilevante è il contributo dell'AI come strumento di personalizzazione dell'apprendimento, comprendente sistemi di *adaptive learning*, tutor intelligenti e piattaforme di *learning analytics*. Questi ambienti digitali si fondano su algoritmi predittivi e modelli di apprendimento automatico in grado di analizzare le interazioni dello studente e adattare in tempo reale il percorso didattico, il livello di difficoltà e le risorse proposte. La loro finalità è ottimizzare il processo di apprendimento attraverso una calibratura dinamica delle esperienze educative, fornendo un supporto individualizzato che può integrare, ma non sostituire, l'azione pedagogica dell'insegnante. Una seconda area di applicazione riguarda gli strumenti di valutazione e feedback automatizzato, concepiti per analizzare le prestazioni degli studenti e restituire indicazioni formative in modo immediato e continuo. I sistemi di *automated assessment* sfruttano l'elaborazione del linguaggio naturale e le tecniche di analisi semantica per valutare testi, risposte aperte o elaborati scritti, offrendo un riscontro oggettivo

e personalizzato. Sebbene tali strumenti migliorino l'efficienza dei processi valutativi, la ricerca sottolinea la necessità di un controllo umano costante per garantire equità, trasparenza e validità pedagogica. In forte espansione è l'impiego della GAI per la creazione di contenuti didattici. Attraverso modelli generativi di testo, immagine, suono e simulazione, consente la produzione di materiali educativi personalizzati, l'elaborazione di esercizi interattivi, la costruzione di scenari immersivi e la progettazione di esperienze di apprendimento simulato. Queste tecnologie aprono prospettive radicalmente nuove per la co-creazione tra docente e macchina, in cui l'AI agisce non come sostituto, ma come "partner cognitivo" capace di ampliare le possibilità espressive e progettuali della didattica. Merita attenzione anche l'uso dell'AI come strumento di supporto amministrativo e organizzativo, volto a migliorare l'efficienza gestionale delle istituzioni scolastiche. Applicazioni di *educational data mining* e *school analytics* consentono di ottimizzare la gestione delle classi, monitorare la frequenza, prevedere tassi di abbandono e analizzare indicatori di rendimento. Parallelamente, assistenti virtuali e chatbot intelligenti vengono impiegati per la comunicazione scuola-famiglia e la gestione dei flussi informativi. Pur non incidendo direttamente sull'apprendimento, queste applicazioni contribuiscono a costruire ecosistemi educativi più sostenibili, integrati e reattivi. Le tassonomie più accreditate, come quella proposta da Luckin et al. (2016), distinguono inoltre tra *AI for Education* (strumenti progettati per potenziare i processi di apprendimento), *AI in Education* (tecnologie integrate nella pratica didattica quotidiana) e *AI as Education* (percorsi formativi volti a sviluppare la comprensione critica dell'Intelligenza Artificiale). Tale tripartizione, ripresa anche dall'OECD (2023), evidenzia la duplice natura dell'AI in educazione: oggetto di apprendimento e, al tempo stesso, agente trasformativo dei contesti formativi.

In sintesi, la classificazione delle applicazioni di AI nella scuola K-12 non può essere ridotta a un mero elenco di strumenti, ma deve essere interpretata come una mappa epistemologica che riflette le tensioni tra automazione e umanizzazione, efficienza e riflessività, personalizzazione e giustizia educativa. Comprendere tale pluralità di usi e funzioni costituisce una condizione imprescindibile per elaborare modelli di integrazione pedagogica realmente sostenibili e culturalmente significativi.

1.3 Politiche europee per la digitalizzazione e l'AI in educazione: prospettive e criticità

Il contributo pubblicato su *Education Sciences and Open Access* (Marzano, 2025) affronta il tema delle politiche europee per la digitalizzazione e l'integrazione dell'AI nei sistemi educativi, delineando i principali orientamenti strategici che guidano la trasformazione digitale della scuola. L'articolo analizza documenti chiave della Commissione Europea - tra cui il *Digital Education Action Plan 2021–2027*, il *Coordinated Plan on Artificial Intelligence* e

l'*AI Competence Framework for Education* - con l'obiettivo di identificare linee di convergenza e criticità nel rapporto tra innovazione tecnologica, formazione docente e sostenibilità educativa. La riflessione sviluppata evidenzia come l'Unione Europea riconosca nell'AI un motore di innovazione per l'inclusione e la competitività, ma al tempo stesso mostri una carenza di visione pedagogica integrata, limitandosi spesso a un approccio tecnico-procedurale. L'articolo propone una lettura critica delle politiche comunitarie, sottolineando la necessità di un curricolo digitale verticale, capace di tradurre gli obiettivi strategici in percorsi concreti di formazione e *AI Literacy* per docenti e studenti. Il lavoro offre inoltre una tassonomia interpretativa delle politiche digitali europee, distinguendo tra:

- strategie di infrastrutturazione tecnologica
- politiche di sviluppo delle competenze digitali
- iniziative di alfabetizzazione all'AI.

Questa distinzione consente di evidenziare come la governance europea dell'AI in educazione necessiti di un bilanciamento tra innovazione, etica e inclusione sociale. In prospettiva, l'articolo anticipa una delle direzioni centrali della presente ricerca, ovvero la costruzione di un framework pedagogico sostenibile (come quello proposto nella mia ricerca) in grado di integrare le finalità educative dell'AI con i principi di cittadinanza digitale e di equità formativa. In conclusione, l'analisi delle politiche europee per la digitalizzazione e l'integrazione dell'AI in educazione evidenzia una tensione strutturale tra l'ambizione innovativa delle strategie comunitarie e la necessità di un quadro pedagogico capace di governarne le implicazioni culturali ed etiche. Proprio da questa tensione emerge la necessità di una riflessione più profonda sulle dimensioni etiche, i rischi e le prospettive critiche dell'AI in ambito educativo, che costituiscono il focus del paragrafo successivo. L'articolo è riportato in Appendice.

1.4 Implicazioni etiche, rischi e prospettive critiche

L'introduzione dell'AI e, in particolare, della *Generative Artificial Intelligence* nei contesti educativi, richiede una riflessione articolata sulle implicazioni etiche, cognitive e pedagogiche che tali tecnologie comportano. Questi strumenti, pur offrendo opportunità significative in termini di personalizzazione, accesso, creatività e supporto ai processi di apprendimento, introducono al tempo stesso nuove vulnerabilità che interrogano la natura stessa dell'educazione come pratica cognitiva, relazionale e valoriale. Le principali linee guida internazionali - UNESCO (2021), OECD (2022) e Consiglio d'Europa (2023) - convergono nell'affermare che l'AI applicata alla scuola non può essere considerata soltanto come una tecnologia funzionale, ma come un fenomeno sociotecnico che richiede forme di governance responsabile, trasparenza e consapevolezza diffusa.

Sul piano etico, emergono questioni cruciali legate al *bias algoritmico*, alla *trasparenza dei processi decisionali automatizzati* e alla *protezione dei dati personali*. I sistemi di *machine learning*, addestrati su dataset spesso opachi o culturalmente sbilanciati, possono infatti riprodurre o amplificare disuguaglianze preesistenti, influenzando la valutazione degli studenti, l'accesso alle opportunità formative o la selezione delle risorse didattiche. Un modello di *data-driven education* privo di adeguati controlli rischia di ridurre la complessità dell'apprendimento a correlazioni predittive, subordinando scelte pedagogiche a logiche algoritmiche non sempre interpretabili. In questo quadro, trasparenza, tracciabilità e tutela della privacy costituiscono prerequisiti imprescindibili per un'integrazione eticamente sostenibile dell'AI nei sistemi scolastici.

Le implicazioni cognitive riguardano il rischio di delegare porzioni significative dell'attività mentale ai sistemi generativi, con una conseguente dipendenza funzionale dalle loro prestazioni. La capacità dei modelli di produrre testi, immagini e soluzioni complesse può generare una progressiva erosione dell'elaborazione autonoma, dell'attenzione sostenuta e della riflessione critica, incidendo sulla metacognizione e sulla qualità dei processi di apprendimento profondo. Tali dinamiche coinvolgono tanto gli studenti quanto i docenti; l'insegnante, in particolare, rischia di essere ricondotto a compiti essenzialmente di monitoraggio, con una contrazione della dimensione interpretativa, argomentativa e creativa che costituisce il nucleo della mediazione pedagogica. In questa prospettiva, l'educazione all'AI deve includere competenze metacognitive e riflessive che permettano di comprendere come tali tecnologie influenzino i processi mentali e i modi attraverso cui si costruisce conoscenza.

Sul piano pedagogico, l'AI contribuisce a ridefinire la professionalità docente, sostituendo progressivamente la funzione di trasmissione dei contenuti con un ruolo di facilitatore critico all'interno di ambienti di apprendimento sempre più ibridi e *data-informed*. Ciò richiede una riformulazione strutturale delle competenze professionali, integrando in modo sistematico dimensioni etiche, digitali e analitiche nella formazione iniziale e continua. Moduli dedicati all'*AI Literacy,* all'etica degli algoritmi e all'analisi critica dei dati diventano pertanto elementi imprescindibili per preparare gli insegnanti a orientare gli studenti verso un uso consapevole, responsabile e creativamente produttivo delle tecnologie intelligenti.

Sul piano politico e normativo, i documenti di riferimento delle principali organizzazioni internazionali propongono un quadro orientato a tre principi fondamentali: *Human-centered AI, Inclusione* e *Trasparenza*. L'obiettivo è promuovere un ecosistema educativo che utilizzi l'AI in modo da tutelare la dignità umana, prevenire pratiche di sorveglianza indebita, ridurre il rischio di disinformazione e rafforzare l'autonomia cognitiva degli studenti. Tuttavia, tali linee guida, pur avanzate sul piano dei principi, mostrano ancora carenze nella traduzione operativa, in particolare per quanto riguarda l'elaborazione di curricoli verticali, strumenti di valutazione sistematica dei rischi e percorsi formativi specifici per i contesti K-12.

In sintesi, la sfida posta dall'AI in educazione è al tempo stesso tecnologica, pedagogica e antropologica. Richiede un approccio integrato, capace di coniugare innovazione e responsabilità, sviluppo algoritmico e centralità della persona, automazione e pensiero critico. Solo una governance educativa fondata su criteri etici solidi e su una visione umanistica della tecnologia potrà orientare la trasformazione in corso verso un progresso realmente significativo, improntato alla giustizia cognitiva, alla sostenibilità formativa e al rispetto dell'autonomia educativa di studenti e docenti.

1.5 AI e competenze chiave per la cittadinanza

L'AI non va intesa come semplice leva tecnologica, bensì come fattore strutturale di ridefinizione delle finalità formative in una società digitale, automatizzata e interconnessa. In questa prospettiva, essa opera da catalizzatore delle competenze chiave per la cittadinanza delineate a livello europeo, spostando l'attenzione dall'addestramento all'uso degli strumenti alla costruzione di posture cognitive ed etiche adeguate alla contemporaneità. La cornice europea delle competenze (*European Key Competences for Lifelong Learning*, 2018) individua, accanto alla competenza digitale, personale, sociale e imparare a imparare, un nucleo trasversale che comprende *pensiero critico, creatività, collaborazione* e *cittadinanza attiva*. L'AI attraversa in modo trasversale le diverse sfere della vita sociale, culturale e istituzionale, imponendo un uso responsabile delle tecnologie e sollecitando processi metacognitivi, relazionali e interpretativi. La sua pervasività rende imprescindibile una comprensione approfondita dell'impatto algoritmico sulle pratiche quotidiane, sulle dinamiche comunicative e sulle stesse infrastrutture democratiche.

Sul piano educativo, il contributo dell'AI assume una duplice valenza. Da un lato, l'interazione con sistemi generativi e predittivi richiede un esercizio costante di pensiero critico, necessario per distinguere tra informazione prodotta dall'umano e contenuto sintetizzato dall'algoritmo, valutarne l'attendibilità, la pertinenza e i limiti, e riconoscere i bias e le assunzioni epistemiche che ne strutturano il funzionamento. Dall'altro lato, tali tecnologie attivano forme avanzate di creatività, progettualità e collaborazione, visto che la co-creazione di artefatti digitali insieme a strumenti intelligenti implica infatti una negoziazione continua tra agency umana e potenzialità computazionale.

In parallelo, l'ecosistema costituito da piattaforme, assistenti e ambienti digitali abilita modalità di cooperazione inedite tra pari, tra docenti e all'interno di comunità professionali estese, integrando l'interazione uomo-macchina come vera e propria risorsa cognitiva e culturale. Su questo sfondo, la cittadinanza attiva si ridefinisce come capacità di comprendere, monitorare e valutare criticamente il ruolo degli algoritmi nei processi informativi, economici e decisionali, contribuendo a prevenire nuove forme di esclusione, marginalizzazione e asimmetria digitale.

Queste traiettorie sono coerenti con l'European Skills Agenda (2020) e con i quadri DigComp 2.2 (2022) e DigCompEdu (2017). In particolare, DigCompEdu orienta la professionalità docente verso un uso pedagogicamente fondato dell'AI quale mediatore cognitivo, non solo una competenza meramente strumentale, ma alfabetizzazione critica capace di integrare conoscenza tecnica, riflessività etico-sociale e progettazione didattica. In tale orizzonte si colloca *l'AI Literacy,* intesa come forma avanzata di cittadinanza digitale. Essa implica la capacità di comprendere principi e logiche algoritmiche; utilizzare in modo responsabile strumenti intelligenti per ampliare funzioni cognitive e comunicative; valutare gli effetti sociali, culturali ed etici dell'automazione; co-creare con l'AI, orientando la collaborazione uomo-macchina a fini di bene comune e sostenibilità.

L'educazione all'AI configura dunque un nuovo assetto di cittadinanza algoritmica, fondato sulla capacità di leggere, interpretare e negoziare l'azione dei sistemi intelligenti nei processi educativi, economici e culturali. Tale prospettiva è essenziale per formare individui in grado di assumere un ruolo attivo e responsabile nella costruzione di società sempre più digitalizzate, preservando al contempo la centralità dei principi democratici e della giustizia cognitiva.

Capitolo II

Formazione degli insegnanti e modelli teorici di riferimento

2.1 *Digital Literacy* e *AI Literacy* nella professionalità docente

Nel contesto di profonda trasformazione introdotto dall'AI nei sistemi formativi, la formazione degli insegnanti si configura come il fattore determinante per un'integrazione realmente pedagogica delle tecnologie emergenti. La scuola contemporanea, infatti, non può più essere interpretata come uno spazio di trasmissione lineare del sapere, ma come un "ecosistema cognitivo complesso", in cui conoscenze, dati e interazioni digitali convergono in una rete dinamica di significati. All'interno di tale scenario, la *Digital Literacy* e la più recente *AI Literacy* rappresentano due pilastri fondamentali della professionalità docente, poiché definiscono il grado di consapevolezza con cui l'insegnante abita e orienta l'ambiente tecnologico. La *Digital Literacy,* come delineata nei principali framework europei - dal DigCompEdu (2017) al più recente DigComp 2.2 (2022) -, va oltre la semplice padronanza degli strumenti. Essa implica la capacità di usare le tecnologie in modo critico, etico e creativo, per sostenere processi di apprendimento significativi e inclusivi. Comprende la gestione e l'interpretazione delle informazioni, la comunicazione e la collaborazione in ambienti digitali, la produzione di contenuti, la tutela della sicurezza e la risoluzione di problemi complessi. Tuttavia, questa competenza rappresenta solo il primo livello di una alfabetizzazione che, nell'attuale ecosistema cognitivo, deve estendersi alla comprensione delle logiche algoritmiche e dei sistemi automatizzati che modellano la conoscenza e la relazione educativa. Il *DigComp* e il *DigCompEdu* hanno avuto il merito di fornire un linguaggio comune e una struttura unitaria per descrivere la competenza digitale, evidenziandone la natura di sistema integrato di saperi e pratiche riflessive che attraversa le dimensioni didattica, comunicativa, valutativa e relazionale. Su queste basi si innesta la nuova sfida dell'*AI Literacy*, che introduce un livello aggiuntivo di complessità e responsabilità. Essa comprende la capacità di comprendere, interagire e valutare criticamente le tecnologie intelligenti, riconoscendone impatti e limiti nei processi cognitivi, sociali ed etici. In particolare, richiede ai docenti di:

- interpretare i meccanismi di base degli algoritmi e delle applicazioni intelligenti,
- riconoscere potenzialità e limiti delle soluzioni basate sull'AI in ambito educativo,
- promuovere negli studenti una cultura algoritmica critica, fondata su responsabilità e trasparenza,
- collocare l'AI entro una visione curricolare sostenibile, orientata alla formazione integrale della persona.

Questa prospettiva implica una ridefinizione profonda della professionalità docente. Il ruolo dell'insegnante non si esaurisce più nella mediazione tra conoscenza e tecnologia, ma si estende alla progettazione intenzionale di ambienti di apprendimento supportati da sistemi intelligenti, all'interno dei quali l'AI è impiegata come risorsa cognitiva e non come semplice automatismo operativo. In tale cornice, competenza digitale e competenza algoritmica convergono in un dominio professionale emergente, che integra padronanza tecnica, consapevolezza etica e capacità progettuale. Ne consegue che la formazione iniziale e continua dei docenti deve orientarsi verso percorsi in grado di coniugare riflessione epistemologica e sperimentazione didattica. L'obiettivo non consiste unicamente nell'acquisizione di competenze strumentali relative all'uso dei sistemi di AI, ma nella comprensione delle loro implicazioni pedagogiche, organizzative e relazionali, che spaziano dalla personalizzazione dei percorsi di apprendimento alla valutazione automatizzata, dalla gestione dei dati educativi all'impatto sui processi di interazione e mediazione didattica. In questa prospettiva, *Digital Literacy* e *AI Literacy* si configurano come dimensioni complementari di una medesima competenza professionale. La prima costituisce il prerequisito per un utilizzo consapevole delle tecnologie digitali, mentre la seconda rappresenta il livello avanzato necessario per operare in contesti educativi in cui i sistemi intelligenti partecipano attivamente ai processi di costruzione, organizzazione e circolazione della conoscenza. Solo un'integrazione strutturale tra queste due dimensioni può consentire alla scuola di formare soggetti critici, autonomi e responsabili all'interno di un ecosistema in cui l'AI non è più un supporto esterno, ma una componente costitutiva della vita cognitiva e sociale.

2.2 Framework teorici di riferimento (*TPACK, DigCompEdu, Bloom-4AI*)

Negli ultimi due decenni, la riflessione internazionale sulla formazione digitale dei docenti si è sviluppata attraverso l'elaborazione di diversi modelli teorici e framework di competenza volti a orientare l'integrazione delle tecnologie nei sistemi educativi. Queste cornici concettuali, nate in contesti e periodi differenti, hanno progressivamente contribuito a ridefinire la professionalità docente in una prospettiva digitale e ad accompagnare la transizione verso ambienti di apprendimento sempre più complessi e interconnessi. Tra i contributi più consolidati si colloca il modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*), elaborato da Mishra e Koehler (2006). Tale modello interpreta la competenza didattica come il risultato dell'interazione dinamica tra conoscenza disciplinare (*Content Knowledge*), conoscenza pedagogica (*Pedagogical Knowledge*) e conoscenza tecnologica (*Technological Knowledge*). L'efficacia dell'insegnamento, in questa prospettiva, dipende dalla "*capacità del docente di integrare in modo fluido e flessibile tali dimensioni in funzione dei contesti educativi*". Il TPACK ha avuto il merito di fornire una cornice teorica chiara per comprendere

l'impatto delle tecnologie digitali sulla pratica didattica, pur rimanendo parziale rispetto alle sfide emergenti poste dall'AI, la quale non si limita a mediare il sapere, ma ne ridefinisce i processi epistemologici. A livello europeo, la prima sistematizzazione delle competenze digitali è rappresentata dal DigComp *(Digital Competence Framework for Citizens - European Commission*, 2013; 2016; 2022). Il DigComp costituisce un riferimento comune per descrivere le competenze digitali dei cittadini europei, articolate in cinque aree: *Information and Data Literacy, Communication and Collaboration, Digital Content Creation, Safety, e Problem solving*. Esso ha ispirato molte delle politiche educative nazionali e regionali, promuovendo una visione della competenza digitale come prerequisito per la partecipazione attiva alla società della conoscenza. In Italia, il Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD), introdotto nel 2015 dal Ministero dell'Istruzione, ha rappresentato il primo tentativo organico nazionale di declinare le linee strategiche del DigComp. Il PNSD ha promosso la digitalizzazione delle infrastrutture scolastiche, la formazione dei docenti, la sperimentazione di ambienti di apprendimento innovativi e la produzione di risorse educative aperte. Tuttavia, pur segnando una svolta importante, la sua attuazione è stata caratterizzata da discontinuità sistemiche e da un approccio talvolta tecnocentrico, più orientato alla dimensione strumentale che a quella pedagogica. Nel 2017, la Commissione Europea ha pubblicato il DigCompEdu (*Digital Competence Framework for Educators* - Redecker, 2017), pensato per supportare specificamente gli insegnanti. Il framework identifica sei aree di competenza (dall'impegno professionale all'uso pedagogico delle tecnologie, fino alla promozione della competenza digitale degli studenti) e si propone come strumento di autovalutazione e sviluppo professionale. Il DigCompEdu ha consolidato una cultura europea della professionalità digitale docente, ma resta ancorato a una visione pre-AI, ancora centrata sulla gestione e non sulla co-costruzione cognitiva con i sistemi intelligenti. Con il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), avviato nel 2021, l'Italia ha rilanciato le politiche di digitalizzazione scolastica e di formazione docenti, integrando le linee del PNSD e del DigCompEdu all'interno di un quadro di innovazione sostenibile e inclusiva. Tuttavia, le più recenti analisi condotte da OCSE (2020), UNESCO (2022) e AGCOM (2023) segnalano persistenti criticità come la frammentarietà degli interventi, la mancanza di continuità verticale tra i gradi scolastici e una limitata attenzione alle dimensioni etiche, critiche ed emotive legate all'uso delle tecnologie intelligenti. La diffusione dell'Intelligenza Artificiale Generativa introduce una discontinuità epistemologica che mette in crisi modelli educativi ancora legati a una distinzione netta tra produzione umana e automatica. La GAI opera come dispositivo cognitivo capace di generare testi, simulazioni e interpretazioni, e impone quindi un ampliamento delle competenze richieste a chi apprende e a chi insegna. Le *HAI Literacies* si configurano come un insieme di pratiche critiche, etiche e metacognitive orientate a comprendere logiche algoritmiche, assunzioni implicite e implicazioni socioculturali (Panciroli & Rivoltella et al., 2025). Il modello Bloom-4AI

rappresenta un tentativo di aggiornamento della tassonomia classica, ridefinendo i processi cognitivi alla luce delle nuove forme di cooperazione tra agenti umani e artificiali. Il contributo principale non riguarda l'aggiunta di un livello tecnologico, ma la necessità di considerare l'apprendimento come attività condivisa, dove l'AI interviene come partner cognitivo senza sostituire l'intenzionalità educativa. Sono evoluzioni che mettono in evidenza il limite dei framework attualmente disponibili, spesso frammentati o concentrati su singole dimensioni della competenza digitale. Emerge la necessità di un modello curricolare che assicuri coerenza verticale, continuità e sostenibilità pedagogica. Il framework Di.Ver.So., presentato nella Parte III, risponde a questo problema proponendo un impianto unificato che orienta scuole e docenti verso un uso dell'AI fondato su criteri culturali, etici e didattici solidi.

2.3 *Soft skills*, intelligenza emotiva e benessere digitale

Accanto alle competenze tecniche e digitali, la formazione degli insegnanti richiede oggi una crescente attenzione alle *soft skills*, intese come quell'insieme di competenze trasversali che consentono di gestire situazioni complesse, promuovere relazioni collaborative e sostenere processi di apprendimento significativi. Tra queste, assumono particolare rilievo il *pensiero critico, la creatività, la comunicazione efficace, la collaborazione* e *la capacità di problem solving*, considerate elementi chiave di una professionalità docente capace di adattarsi a contesti educativi in rapido mutamento. L'Unione Europea le riconosce tra le "competenze chiave per l'apprendimento permanente" (European Commission, 2018), assegnando loro un ruolo essenziale nella costruzione della cittadinanza attiva e della partecipazione consapevole alla società digitale. Nel contesto dell'AI, tali competenze assumono un significato ancora più rilevante, consentendo ai docenti di mediare criticamente l'interazione con strumenti intelligenti, evitando approcci meramente esecutivi e favorendo una didattica attiva e inclusiva. La capacità di leggere i dati, interpretare le logiche algoritmiche e valutare le implicazioni etiche delle tecnologie richiede una solida base di competenze trasversali, in grado di sostenere la flessibilità cognitiva e la responsabilità sociale dell'agire educativo. Un ruolo decisivo in questa prospettiva è svolto dall'*intelligenza emotiva*, definita da Goleman (1995) e da Salovey e Mayer (1997) come la capacità di riconoscere, comprendere e gestire le proprie emozioni e quelle altrui. Essa è oggi considerata una componente essenziale della professionalità docente, in quanto favorisce ambienti di apprendimento empatici e resilienti, capaci di accogliere la diversità e di sostenere il benessere psicosociale di studenti e insegnanti. Nell'attuale transizione digitale, l'intelligenza emotiva diventa anche uno strumento di autoregolazione cognitiva, poiché aiuta a gestire le ambivalenze dell'AI, tra entusiasmo e timore, trasformandole in risorse per l'innovazione educativa. La letteratura recente mostra come l'interazione prolungata con sistemi intelligenti possa indurre stress tecnologico e

sovraccarico cognitivo (Tarafdar et al., 2019), se non accompagnata da una consapevolezza critica e da un equilibrio emotivo stabile. La competenza emotiva si configura dunque come un fattore di protezione per la salute professionale dei docenti e per la sostenibilità dell'innovazione scolastica. Strettamente connesso a tali dimensioni è il tema del *benessere digitale*, inteso come la capacità di mantenere un equilibrio armonico tra vita online e offline, evitando derive di iperconnessione, dipendenza o delega eccessiva ai sistemi automatizzati. Il benessere digitale implica una forma di "ecologia cognitiva", orientata alla cura dell'attenzione, alla gestione del tempo e alla responsabilità nell'uso delle tecnologie. Promuoverlo nella formazione docente significa non solo fornire strumenti tecnici, ma anche sviluppare atteggiamenti critici e sostenibili, fondati su consapevolezza, autodisciplina e rispetto dei propri limiti cognitivi. In questa prospettiva, le *soft skills,* l'*intelligenza emotiva* e il *benessere digitale* si configurano come dimensioni complementari alle competenze digitali. Esse costituiscono il nucleo umano della professionalità docente nell'era dell'AI che deve connotarsi come riflessiva, eticamente orientata e capace di promuovere relazioni autentiche in un ambiente tecnologicamente mediato. Il framework Di.Ver.So., che verrà presentato più avanti, integra queste dimensioni come componenti trasversali della formazione docente, riconoscendone il ruolo nel favorire una cittadinanza digitale critica e consapevole. La loro inclusione non rappresenta un'estensione accessoria, ma una condizione strutturale per la costruzione di una scuola che sappia coniugare innovazione tecnologica, equilibrio personale e responsabilità educativa.

2.4 La sfida della verticalità e modularità curricolare

L'introduzione delle tecnologie digitali e della GAI nei sistemi educativi non può essere affrontata come un insieme di sperimentazioni isolate. Essa richiede una visione curricolare sistemica, capace di garantire continuità, coerenza e progressione nei processi formativi. La *verticalità curricolare* rappresenta una condizione essenziale per costruire percorsi educativi che accompagnino lo sviluppo delle competenze digitali e trasversali dalla Scuola dell'Infanzia fino all'istruzione superiore, adattandosi ai diversi livelli di maturità cognitiva, emotiva e sociale degli studenti. Nel quadro europeo, tale visione trova fondamento nei principi del *Lifelong Learning* e del *Learning Continuum* (European Commission, 2018), che concepiscono l'apprendimento come processo permanente, sostenuto da una progressione coerente di obiettivi, metodi e valutazioni. La *modularità curricolare*, complementare alla verticalità, non implica frammentazione, ma la possibilità di comporre percorsi personalizzati attraverso l'interconnessione di unità di apprendimento coerenti, consentendo di adattare i percorsi formativi ai bisogni specifici di contesti e studenti e favorendo una didattica centrata sulla persona. La modularità diviene così una strategia per garantire equità, flessibilità e

inclusione, elementi cruciali in un sistema educativo che affronta l'eterogeneità crescente delle classi e le trasformazioni digitali in corso. In un ecosistema educativo sempre più mediato dall'AI, la verticalità e la modularità assumono anche una *funzione epistemologica,* in quanto permettono di costruire una continuità cognitiva tra le competenze di base (alfabetizzazione digitale, comprensione algoritmica) e quelle avanzate (pensiero computazionale, *AI Literacy*, etica dei dati). Solo una progettazione curricolare che si sviluppi lungo un asse verticale può garantire che l'apprendimento dell'AI non resti confinato in esperienze occasionali, ma diventi parte integrante della formazione integrale dello studente, come previsto anche dalle recenti linee europee per l'educazione all'AI (European Commission, 2022). Tale visione richiede una profonda trasformazione del ruolo docente. L'insegnante non è più esecutore di curricoli prescrittivi, ma progettista di percorsi formativi interconnessi, capace di orientare le competenze digitali e cognitive verso obiettivi di crescita personale e collettiva. La formazione dei docenti deve quindi promuovere la capacità di leggere la verticalità come criterio di coerenza didattica e la modularità come spazio di sperimentazione flessibile e inclusiva. Il framework Di.Ver.So., come un Curricolo Digitale Verticale Sostenibile, nasce proprio dall'esigenza di unire i principi di verticalità e modularità in una prospettiva coerente e sostenibile. Esso propone un modello che integra *competenze digitali, soft skills, intelligenza emotiva* e *benessere digitale* in un percorso progressivo e scalabile, capace di adattarsi ai diversi ordini di scuola e di sostenere una transizione educativa consapevole verso l'AI. Il modello intende superare la frammentarietà dei precedenti piani di innovazione, restituendo alla scuola la sua funzione di spazio di continuità formativa e di costruzione di senso, in cui l'AI non è fine tecnologico ma strumento per sviluppare pensiero critico, autonomia e responsabilità. In sintesi, *verticalità* e *modularità* costituiscono le due dimensioni strutturali attraverso cui realizzare un curricolo digitale sostenibile: verticale nella progressione e modulare nella progettazione e umano nella finalità. Ecco rappresentato il ponte ideale tra la cornice teorica e la proposta metodologica che verrà approfondita nella parte successiva, in cui il framework Di.Ver.So. sarà analizzato nelle sue componenti operative, organizzative e valutative. Esso si fonda su basi empiriche solide, costruite a partire da un'analisi sistematica della letteratura internazionale sull'uso dell'AI nella didattica K-12. La *review* sistematica, presentata nel Capitolo III e pubblicata come contributo scientifico da *Springer Nature* (Marzano, 2025), rappresenta il naturale sviluppo del percorso di ricerca. Essa costituisce la base teorico-empirica su cui poggia la progettazione del modello, offrendo evidenze, convergenze e lacune che giustificano la necessità di un approccio educativo nuovo, coerente e sostenibile.

Capitolo III

Review sistematica della letteratura

L'impiego dell'Intelligenza Artificiale nei sistemi educativi K-12 costituisce oggi un ambito di indagine emergente e al tempo stesso critico**,** in cui l'accelerazione tecnologica si intreccia con interrogativi di natura epistemologica e pedagogica. La letteratura internazionale sull'argomento, pur in rapida espansione, si caratterizza per un'elevata eterogeneità metodologica**,** per la prevalenza di studi a carattere sperimentale o descrittivo e per la scarsità di contributi capaci di offrire un quadro sistemico e coerente. Ne risulta un panorama nel quale le potenzialità dell'AI per l'apprendimento e l'insegnamento vengono ampiamente evocate, ma non ancora pienamente supportate da modelli pedagogici strutturati e da linee guida curricolari condivise. Tale frammentarietà, insieme alla mancanza di framework verticali progettati per il contesto K-12, evidenzia la necessità di una sistematizzazione critica che ricomponga il campo in un impianto teorico coerente. A questo scopo, la presente ricerca ha condotto una *review* sistematica della letteratura internazionale sull'impiego della GAI nei processi di insegnamento e apprendimento nella scuola K-12. I risultati, pubblicati integralmente su *Technology, Knowledge and Learning* di *Springer Nature* (Marzano, 2025), costituiscono la base empirica da cui prende forma il framework Di.Ver.So., riportato in versione estesa in Appendice.

Il capitolo III di questa tesi propone una rielaborazione critica delle principali evidenze emerse dalla *review*, collocandole all'interno della struttura complessiva della ricerca. L'obiettivo non è descrivere nuovamente i risultati, ma metterne in luce i nodi concettuali irrisolti e le criticità che rendono necessario un avanzamento teorico e progettuale nel campo dell'AI in educazione. La *review* ha perseguito due obiettivi principali: (i) ricostruire criticamente il quadro delle applicazioni dell'AI nella scuola dell'obbligo, con attenzione alle pratiche didattiche documentate, alle percezioni e rappresentazioni degli insegnanti e alle implicazioni etiche ed epistemologiche discusse dalla letteratura; (ii) mettere in luce le lacune strutturali del campo di ricerca, come assenza di modelli pedagogici consolidati, frammentarietà degli approcci, limitata attenzione alla verticalità curricolare e persistenti incertezze epistemologiche che ostacolano l'adozione consapevole dell'AI da parte del corpo docente.

Come verrà discusso nelle sezioni successive, queste evidenze non si limitano a descrivere lo stato dell'arte, ma segnano un punto di svolta per la prosecuzione della ricerca. Dall'analisi delle criticità individuate emerge infatti l'esigenza di un impianto teorico-pratico capace di superare le frammentazioni attuali. È in questo spazio problematico che si colloca il framework

Di.Ver.So. (*Curricolo Digitale Verticale Sostenibile*), qui proposto come risposta sistemica e pedagogicamente fondata alle sfide poste dall'educazione all'AI nella scuola K-12.

3.1 Metodologia di analisi e criteri di selezione

La conduzione della *systematic review* si è ispirata ai principi di trasparenza, replicabilità e rigore metodologico propri della ricerca *evidence-based* in educazione. L'obiettivo non era solo quello di ricostruire lo stato dell'arte, ma di elaborare una mappatura critica e interpretativa capace di fornire una base empirica solida per la successiva elaborazione teorico-progettuale della tesi. Il protocollo seguito ha preso come riferimento le linee guida PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), adattandole alle specificità del campo educativo e ai temi emergenti dell'AI in ambito K-12.

L'intero processo è stato articolato in cinque fasi principali:

1) Definizione delle domande di ricerca

   Tre sono le domande guida formulate:

   Q1 - Quali applicazioni dell'AI risultano documentate nei contesti scolastici K-12?

   Q2 - Quali percezioni, atteggiamenti e bisogni emergono da parte del corpo docente?

   Q3 - Quali criticità pedagogiche, epistemologiche ed etiche vengono evidenziate nella letteratura recente?

2) Identificazione delle fonti

   Sono stati consultati i principali database internazionali di riferimento per le Scienze dell'educazione e le Tecnologie didattiche (*Scopus, Web of Science, ERIC*), integrati da ricerche mirate su riviste specialistiche e su contributi indicizzati in *SpringerLink* e *Taylor & Francis Online*.

3) Criteri di inclusione ed esclusione

   Per circoscrivere un campo pertinente allo studio, nell'analisi sono stati considerati esclusivamente studi *peer-reviewed* pubblicati tra il 2015 e il 2023, con focus specifico sull'uso dell'AI nei contesti scolastici K-12. Sono stati esclusi contributi riguardanti unicamente l'istruzione superiore, studi di natura puramente tecnica o ingegneristica e articoli privi di una chiara dimensione pedagogica o formativa.

4) Selezione e screening

   Il processo ha seguito un flusso progressivo a più livelli (identificazione, screening dei titoli e degli abstract, lettura integrale) fino alla definizione del corpus finale di 197 articoli. La riduzione graduale del campione iniziale ha garantito la pertinenza tematica e la qualità metodologica degli studi inclusi.

5) Analisi e codifica dei dati

   I contributi selezionati sono stati sottoposti a una codifica tematica induttiva, finalizzata a individuare categorie ricorrenti, tendenze emergenti e nodi problematici. L'analisi ha

previsto una triangolazione tra *approcci quantitativi* (frequenze, distribuzioni per area e anno di pubblicazione) e *qualitativi* (analisi discorsiva e categoriale dei contenuti).

La scelta di adottare un approccio sistematico e formalizzato è risultata necessaria in considerazione della frammentarietà del campo e della diversità metodologica degli studi sull'AI in educazione. Solo attraverso un processo controllato e documentato è stato possibile isolare tendenze significative e restituire un quadro interpretativo coerente, utile a orientare la successiva fase teorico-progettuale della ricerca. I dettagli tecnici del protocollo e delle procedure applicate - inclusi i diagrammi PRISMA e le matrici di codifica - sono riportati nell'articolo pubblicato citato (Marzano, 2025).

3.2 Risultati principali e aree di convergenza

L'analisi dei 197 contributi inclusi nel corpus finale ha delineato un quadro eterogeneo ma attraversato da chiare linee di sviluppo riguardanti il ruolo dell'AI nei processi educativi K-12. I risultati evidenziano una crescente attenzione della comunità scientifica verso l'impatto della GAI sui paradigmi educativi, con un incremento esponenziale di studi a partire dal 2023, coincidente con la diffusione pubblica di ChatGPT e l'espansione del dibattito sull'*AI in Education*. La letteratura recente riflette una crescente consapevolezza del potenziale della GAI per la trasformazione dei modelli didattici, pur evidenziando limiti strutturali e concettuali che ne ostacolano l'integrazione sistemica.

MACROCATEGORIE INTERPRETATIVE

Dall'analisi tematica induttiva sono emerse cinque macrocategorie interpretative che sintetizzano le tendenze della letteratura esaminata sull'utilizzo dell'AI nella didattica.

a) Personalizzazione e adattività dell'apprendimento

La maggior parte degli studi riconosce alla GAI la capacità di promuovere forme di apprendimento personalizzato, adattando contenuti, feedback e strategie didattiche ai bisogni individuali degli studenti. La letteratura (Ahmad et al., 2023; Bueno-Rocha et al., 2023; Wu et al., 2021) sottolinea come i sistemi intelligenti favoriscano l'autonomia e il ritmo personale di apprendimento, aprendo prospettive per una didattica inclusiva e differenziata. Tuttavia, viene ribadita la necessità di una mediazione pedagogica umana, affinché la personalizzazione non si traduca in isolamento cognitivo o eccessiva dipendenza tecnologica.

b) AI come supporto valutativo e tutoraggio intelligente

Numerosi studi (Pierce & Cleary, 2016; Sinha et al., 2023) esplorano l'uso di sistemi di *intelligent tutoring* e di analisi automatizzata per la valutazione formativa, in grado di fornire feedback immediati e dati utili al monitoraggio dei progressi. L'AI viene percepita come un'estensione delle capacità docenti, ma rimane aperta la questione della validità

educativa dei feedback generati e del rischio di ridurre la valutazione a processi puramente computazionali.

c) Formazione e ruolo dei docenti

Parte della letteratura (Chiu, 2022; Nazaretsky et al., 2022; Dawson et al. 2023; Chiu et al., 2024) converge nel riconoscere che la formazione degli insegnanti rappresenta il fulcro dell'integrazione efficace dell'AI nei contesti scolastici. La sua applicazione, infatti, non può essere disgiunta da un processo di *teacher professional development* capace di intrecciare alfabetizzazione tecnica, comprensione algoritmica e consapevolezza etica. Gli studi evidenziano come la maggior parte dei docenti si collochi in una posizione intermedia e ambivalente, attratti dalle potenzialità della tecnologia ma anche preoccupati per le implicazioni sul proprio ruolo professionale e sulla natura relazionale dell'insegnamento. Tale incertezza riflette la mancanza di percorsi formativi strutturati e di un accompagnamento pedagogico stabile, in grado di sostenere la transizione verso una cultura didattica dell'AI fondata su competenza critica, responsabilità e *agency* professionale.

d) Quadri teorici e modelli pedagogici

Molti studi (Ayyildiz & Yilmaz, 2023; Casal-Otero et al., 2023) lamentano la mancanza di framework strutturati che guidino l'integrazione dell'AI nei curricoli scolastici. Si auspica lo sviluppo di approcci teorici capaci di bilanciare le dimensioni tecnologica, pedagogica ed etica. L'assenza di riferimenti consolidati determina un uso episodico e disomogeneo dell'AI, privo di continuità verticale tra i diversi ordini di scuola.

e) Etica, inclusione e sostenibilità educativa

Un nucleo crescente di ricerche (Kaban, 2023; Sanabria-Navarro et al., 2023; Uzumcu & Acilmis, 2024) affronta le implicazioni etiche e sociali dell'AI in educazione: *bias* algoritmici, trasparenza dei dati, impatto sulla privacy e sul benessere psicologico. Emergono prospettive che invitano a considerare la GAI come strumento di cittadinanza digitale critica, più che come tecnologia di efficienza. L'AI inclusiva e responsabile viene letta come condizione per un'educazione equa e sostenibile.

SINTESI INTERPRETATIVA

Nel complesso, la letteratura analizzata restituisce l'immagine di un campo di ricerca vivace ma ancora frammentato**,** nel quale l'adozione dell'AI nei contesti didattici appare trainata più dall'evoluzione tecnologica che da una riflessione pedagogica strutturata. Le applicazioni di GAI si rivelano promettenti in termini di *personalizzazione, accessibilità e innovazione metodologica*, ma restano perlopiù esperienze isolate**,** prive di continuità verticale e di un solido ancoraggio curricolare. Dalla comparazione dei contributi emergono alcune tendenze trasversali che ne delineano la direzione evolutiva.

In primo luogo, si registra la predominanza di studi in ambito STEM, a fronte di una limitata attenzione verso le discipline umanistiche e artistiche. Tale sbilanciamento riflette una visione ancora tecnocentrica e prestazionale, che privilegia la misurabilità dei risultati a scapito delle dimensioni interpretative, estetiche e valoriali dell'apprendimento. In secondo luogo, prevalgono approcci descrittivi e sperimentali, spesso focalizzati sulla verifica dell'efficacia immediata delle applicazioni di AI, ma raramente accompagnati da modelli teorici espliciti. Questa tendenza limita la comprensione dei processi profondi di trasformazione cognitiva e culturale che l'AI introduce nei contesti educativi. Un ulteriore elemento critico riguarda la scarsità di ricerche longitudinali e di studi europei o italiani, a fronte di un predominio di produzioni provenienti da ecosistemi asiatici e nordamericani, più strutturati sul piano infrastrutturale e politico. Tale asimmetria riduce la trasferibilità dei risultati e indebolisce la rappresentatività culturale dei modelli formativi osservati. Infine, la letteratura mostra una persistente tendenza a considerare la GAI come strumento operativo, piuttosto che come oggetto di riflessione epistemologica e relazionale. Le implicazioni cognitive e affettive dell'AI restano sullo sfondo: pochi studi indagano in modo sistematico come la presenza di sistemi intelligenti modifichi la relazione educativa, l'identità professionale del docente e la natura stessa dell'interazione tra insegnante, studente e conoscenza. In questo senso, la questione più profonda non riguarda solo *che cosa* l'AI consente di fare, ma *come* trasforma il modo in cui apprendiamo, comunichiamo e costruiamo significato all'interno dell'ambiente scolastico. Nel loro insieme, queste criticità delineano un campo ancora in cerca di maturità teorica e coerenza sistemica. Esse rendono evidente la necessità di un cambio di paradigma, passare da un'AI intesa come risorsa funzionale a un'AI concepita come catalizzatore di nuove forme di intelligenza pedagogica, capace di ridefinire il ruolo del docente, il senso della conoscenza e la qualità delle relazioni nel nuovo ecosistema educativo. Questa consapevolezza costituisce il punto di partenza per la riflessione successiva, dedicata alle lacune e prospettive di ricerca emergenti, attraverso cui la presente tesi individua gli elementi concettuali e metodologici da cui scaturisce la struttura del framework Di.Ver.So. proposto in questo studio.

3.3 Lacune e prospettive di ricerca emergenti

L'analisi della letteratura internazionale analizzata, come già detto, rivela un campo di ricerca ancora immaturo e disomogeneo. Le criticità individuate nella *review* non si limitano a semplici carenze empiriche, ma segnalano nodi teorici e metodologici irrisolti che condizionano la possibilità di costruire un quadro coerente per l'integrazione della GAI nei processi formativi. In questa sezione tali lacune vengono discusse *in chiave interpretativa*, con l'obiettivo di delineare le prospettive di ricerca che orientano la proposta di un modello sistemico e sostenibile.

a) Lacune strutturali e curricolari

La lacuna più evidente riguarda *l'assenza di modelli curricolari verticali* che consentano di sviluppare competenze digitali e algoritmiche lungo l'intero arco del percorso scolastico. Le esperienze documentate sono perlopiù circoscritte a progetti pilota o a contesti sperimentali, privi di continuità tra i diversi gradi di istruzione. Ciò determina un approccio episodico all'educazione all'AI, che non garantisce progressione né coerenza metodologica, e questa discontinuità riflette una fragilità più profonda: la mancanza di una visione pedagogica integrata capace di connettere tecnologia e curricolo. L'AI viene spesso introdotta come innovazione aggiuntiva, non come componente strutturale del progetto educativo. In tal modo, l'insegnamento rischia di frammentarsi in pratiche isolate, incapaci di contribuire alla formazione integrale dello studente. Un ulteriore elemento di debolezza riguarda la trasferibilità delle esperienze perché le pratiche descritte in letteratura, pur promettenti, rimangono difficilmente scalabili o adattabili a sistemi scolastici con risorse e infrastrutture differenti. Manca un *modello di riferimento condiviso* che possa fungere da guida operativa per i decisori politici, i Dirigenti e i docenti nella progettazione di curricoli digitali coerenti e sostenibili.

b) Lacune nella formazione docente e nella dimensione epistemologica

Un secondo nodo critico, trasversale a gran parte degli studi, riguarda la formazione degli insegnanti. L'AI viene spesso presentata come strumento da utilizzare, più che come fenomeno da comprendere. I programmi di *teacher professional development* si concentrano prevalentemente sulla dimensione tecnica (l'uso dei tool, la gestione dei dati, la creazione di materiali didattici) trascurando la riflessione sulle implicazioni epistemologiche, cognitive ed etiche dell'interazione uomo-macchina. In questa prospettiva, la competenza algoritmica resta confinata al piano operativo e non si traduce in una vera *AI Literacy* pedagogica, intesa come capacità di interpretare criticamente i sistemi intelligenti e di orientarli ai fini formativi. Ne deriva una fragilità identitaria del ruolo docente, diviso fra l'adozione entusiastica e l'incertezza rispetto al proprio posizionamento nella scuola mediata dalla tecnologia. Al tempo stesso, la letteratura evidenzia una scarsa consapevolezza epistemologica: pochi studi affrontano in modo sistematico le trasformazioni che la GAI introduce nei processi di costruzione della conoscenza. L'AI non viene interrogata come agente cognitivo, ma come strumento di ottimizzazione, con il rischio di ridurre la complessità del sapere a una dimensione funzionale o produttiva.

c) Lacune metodologiche e mancanza di linguaggi comuni

Sul piano metodologico, il campo risulta caratterizzato da frammentazione e disomogeneità. La maggior parte delle ricerche si basa su campioni ristretti e su disegni sperimentali non comparabili, con scarsa trasparenza nelle procedure di raccolta e analisi dei dati.

L'assenza di standard condivisi per la descrizione delle pratiche e per la misurazione degli impatti dell'AI in educazione limita la possibilità di consolidare evidenze empiriche robuste. Questa eterogeneità metodologica riflette anche la mancanza di un lessico comune. Termini come *AI Literacy*, *Digital Competence*, *Computational Thinking* o *Data Literacy* vengono spesso impiegati in modo intercambiabile, generando ambiguità concettuali che ostacolano il dialogo tra studi provenienti da diverse discipline. Tale dispersione semantica impedisce la costruzione di un campo realmente interdisciplinare e riduce la trasferibilità dei risultati nella pratica didattica.

d) Dimensioni etiche, relazionali e di benessere

Un'altra lacuna significativa riguarda la dimensione etica e relazionale. Sebbene il tema della trasparenza algoritmica e della protezione dei dati sia sempre più presente nella letteratura recente, rimane ancora marginale la riflessione sull'impatto dell'AI sul *benessere cognitivo ed emotivo di studenti e insegnanti*. Pochi studi esplorano come la mediazione tecnologica influisca sui processi di attenzione, sulla motivazione o sulla relazione educativa. L'assenza di una prospettiva umanistica sull'AI rischia di produrre una *visione riduttiva dell'apprendimento*, centrata sulla performance e sulla produttività. In questo senso, diventa urgente sviluppare una pedagogia dell'AI capace di valorizzare la componente affettiva e sociale del sapere, promuovendo una cultura dell'uso responsabile e consapevole delle tecnologie intelligenti.

e) Prospettive di ricerca emergenti

Dalle lacune individuate emergono alcune prospettive di ricerca che appaiono decisive per il futuro dell'educazione all'AI. In primis è necessario costruire modelli curricolari verticali e flessibili, che garantiscano coerenza tra i diversi ordini di scuola e favoriscano un apprendimento progressivo delle competenze digitali, algoritmiche ed etiche. Parallelamente, occorre investire in formazione docente di secondo livello, orientata non solo alla padronanza degli strumenti, ma alla comprensione delle implicazioni epistemologiche, sociali ed emotive della tecnologia. La scuola, in questa prospettiva, deve diventare un *laboratorio critico di cittadinanza digitale*, dove l'AI non venga semplicemente utilizzata, ma compresa, discussa e governata. Sul piano metodologico, le prospettive di sviluppo riguardano la costruzione di standard condivisi di ricerca e valutazione, l'incremento di studi longitudinali e comparativi e l'adozione di approcci interdisciplinari capaci di integrare scienze cognitive, pedagogia e scienze dei dati. Si apre infine la necessità di elaborare framework teorici e operativi che uniscano la dimensione tecnologica a quella etica e umanistica, ponendo l'AI al servizio di una concezione sostenibile e inclusiva dell'apprendimento.

f) Conclusione proiettiva

In sintesi, il quadro delineato dalla *systematic review* e dalla successiva analisi critica mostra un campo di ricerca ricco di potenzialità ma ancora privo di coesione teorica e operativa. L'accelerazione tecnologica che ha reso l'AI parte integrante della vita scolastica non è stata accompagnata da un'equivalente maturazione pedagogica capace di governarne l'impatto. La distanza esistente tra innovazione e riflessione educativa impone oggi una riformulazione complessiva dei paradigmi della didattica e della formazione docente. L'AI, per essere realmente generativa sul piano formativo, deve essere interpretata non come strumento esterno, ma come ambiente cognitivo e relazionale che ridefinisce i processi di apprendimento e i significati stessi dell'insegnare. Su queste basi prende avvio il percorso propositivo del presente studio con la costruzione del framework Di.Ver.So., concepito come risposta teorico-pratica alle criticità evidenziate e come modello di integrazione tra dimensione tecnologica, pedagogica ed etica. Il capitolo successivo ne illustra la genesi, la struttura e la funzione, collocandolo nel più ampio dibattito internazionale sull'educazione all'AI.

3.4 Dalla sintesi critica alla proposta di un nuovo framework

In continuità con le evidenze discusse nella sezione precedente, la presente parte introduce l'evoluzione applicativa della ricerca, concretizzata nel contributo "*Generative AI in Education: Models and Frameworks for a New K-12 Curriculum*", attualmente in fase di *peer-review* presso il Curriculum Journal di BERA (British Educational Research Association) (Marzano et al., 2025). L'articolo rappresenta la transizione dal livello analitico della *review* sistematica - centrata sulla mappatura e sulla valutazione critica degli studi internazionali - a un livello propositivo, volto alla costruzione di un quadro teorico e operativo per l'integrazione della GAI nei curricoli K-12. In questa prospettiva, il lavoro amplia il focus della ricerca, spostandolo dall'osservazione delle pratiche alla *definizione di un modello sistemico* capace di restituire coerenza e verticalità al rapporto tra educazione, tecnologia e cittadinanza digitale. Al centro di tale contributo si colloca il framework Di.Ver.So. (Curricolo Digitale Verticale Sostenibile), elaborato come sintesi dei risultati emersi e come proposta di orientamento per la progettazione curricolare e la formazione docente. Basato su una metodologia comparativa ed *evidence-informed*, il modello integra i principali riferimenti internazionali (DigCompEdu, TPACK, Bloom4AI, LifeComp) con i dati raccolti attraverso un'indagine empirica condotta su un campione di 897 insegnanti. Le evidenze raccolte mostrano una posizione di apertura riflessiva del corpo docente nei confronti dell'AI, un atteggiamento positivo ma cauto, che riconosce le potenzialità formative della tecnologia a condizione che essa sia sostenuta da politiche, strumenti e percorsi formativi coerenti. Il framework Di.Ver.So. nasce proprio con l'intento di tradurre le istanze emergenti dal campo in una proposta pedagogica fondata su tre

principi cardine - verticalità curricolare, modularità didattica e sostenibilità educativa - concepiti come leve di una trasformazione scolastica consapevole e non meramente tecnologica.

3.4.1 *Genesi epistemologica del framework Di.Ver.So.: dal modello teorico alla costruzione curricolare*

Il framework Di.Ver.So. costituisce l'esito teorico-organizzativo del percorso di ricerca e nasce dall'esigenza, emersa in modo ricorrente nella letteratura, di disporre di un impianto curricolare specificamente orientato all'educazione all'AI nei contesti K-12. Il modello non si limita a integrare contributi preesistenti, ma propone una lettura strutturata e progressiva delle competenze necessarie per abitare ambienti di apprendimento caratterizzati dalla presenza di sistemi intelligenti. L'assunto di partenza è che l'AI non possa essere trattata come tecnologia additiva, bensì come condizione epistemica che riconfigura pratiche, ruoli professionali e processi di costruzione della conoscenza. In questa prospettiva, la professionalità docente si ridefinisce in termini di mediazione epistemica, centrata sulla capacità di governare l'interazione tra dimensione algoritmica e finalità educative.

L'elaborazione del framework si fonda su un processo di integrazione critica fra evidenze empiriche e modelli teorici. Da un lato, i risultati della *review* sistematica (Marzano, 2025) hanno messo in luce la necessità di un impianto curricolare coerente e sostenibile, in grado di superare la frammentarietà metodologica e la debolezza epistemologica riscontrate nella letteratura; dall'altro, il confronto con i principali riferimenti internazionali (DigCompEdu, TPACK, Bloom4AI e LifeComp) ha consentito di identificare principi comuni e aree di innovazione, traducendoli in una proposta integrata. Questo lavoro di ricomposizione non ha natura descrittiva, ma interpretativa in quanto le evidenze vengono riorganizzate in funzione della loro rilevanza pedagogica e del loro potenziale generativo.

Su queste basi Di.Ver.So. si articola attorno a tre assi concettuali che ne costituiscono la struttura fondativa e orientano la modellizzazione curricolare proposta nelle sezioni successive:

a) Asse cognitivo: riconosce l'apprendimento come processo distribuito fra soggetti, dati e sistemi intelligenti, promuovendo la consapevolezza algoritmica come nuova forma di alfabetizzazione e di cittadinanza cognitiva.
b) Asse pedagogico: interpreta la verticalità del curricolo come progressione di senso, non come semplice sequenza di contenuti, valorizzando la continuità formativa e l'integrazione tra livelli scolastici e ambiti disciplinari.
c) Asse etico-sistemico: integra sostenibilità, responsabilità e benessere in un equilibrio dinamico tra innovazione tecnologica e valore umano.

Di.Ver.So. non è, in sintesi, un modello prescrittivo, ma una cornice teorica flessibile, pensata per orientare la progettazione curricolare nei diversi contesti scolastici. La sua funzione è offrire un riferimento epistemologico e progettuale per la modellizzazione presentata nella Parte III, dove il quadro viene declinato in principi pedagogici e dispositivi operativi.

PARTE II – IMPIANTO METODOLOGICO DELLA RICERCA

Capitolo IV

Fondamenti metodologici e struttura del disegno di ricerca

Alla luce delle evidenze emerse dalla *review sistematica*, che hanno confermato la frammentarietà dei modelli pedagogici e la necessità di approfondire le percezioni e i bisogni formativi dei docenti, si è reso necessario definire un impianto metodologico solido e coerente con gli obiettivi della ricerca. Il presente capitolo illustra la *logica epistemologica* e il *disegno complessivo dello studio*, descrivendo le domande operative, gli strumenti impiegati, le procedure di raccolta e validazione dei dati e i criteri di analisi quantitativa e qualitativa adottati. L'impianto metodologico descritto costituisce la base empirica per la successiva interpretazione dei risultati e per la validazione del framework Di.Ver.So. (Curricolo Digitale Verticale Sostenibile), che verrà approfondita nella Parte III della tesi.

4.1 Logica complessiva della ricerca

La direzione epistemologica che orienta questo studio combina prospettive interpretativo-costruttiviste ed approcci *evidence-informed*, assumendo che l'AI in educazione non sia un oggetto neutrale, ma un fenomeno trasformativo che incide sui modi di conoscere, insegnare e apprendere. Da tale impostazione discende la necessità di un modello metodologico in grado di analizzare sia gli effetti dell'introduzione dell'AI nei processi didattici, sia le interpretazioni che gli attori scolastici attribuiscono a tali trasformazioni e le ricadute professionali e curricolari che ne derivano. La ricerca prende avvio dalle evidenze emerse nella *review* sistematica della letteratura (Marzano, 2025), che ha evidenziato la frammentarietà dei modelli pedagogici e la scarsità di studi empirici sull'uso dell'AI nei contesti K-12. Tali risultati hanno costituito il riferimento critico per la costruzione del framework Di.Ver.So., elaborato come risposta teorica e progettuale alle lacune individuate. La fase empirico-applicativa è stata orientata alla validazione del modello attraverso una sequenza di indagini con docenti in formazione iniziale e in servizio. Il disegno metodologico adotta un approccio *mixed methods* in forma sequenziale esplicativa: la rilevazione quantitativa fornisce una base descrittiva e comparativa, successivamente approfondita mediante analisi qualitative delle risposte aperte, così da integrare ampiezza dei dati e interpretazione dei significati educativi. La componente quantitativa ha riguardato la raccolta strutturata dei dati tramite questionari mentre la componente qualitativa ha permesso di mettere a fuoco dimensioni soggettive, professionali e contestuali non rilevabili mediante la sola analisi statistica.

L'integrazione tra le diverse componenti del disegno ha assicurato coerenza fra dimensione empirica e dimensione riflessiva, in continuità con la tradizione delle *Learning Sciences* che considera inseparabili ricerca, innovazione e pratica educativa. L'impianto metodologico si inserisce in un paradigma neoumanistico e sistemico, in cui la scuola è interpretata come un ambiente cognitivo complesso, attraversato da fattori tecnologici, culturali, sociali ed emotivi. In questo quadro, l'interesse non è limitato alla descrizione dei fenomeni, ma riguarda la comprensione delle trasformazioni che l'AI introduce nelle pratiche d'aula e nelle professionalità, con l'obiettivo di orientare un uso responsabile sotto il profilo cognitivo ed etico. L'adozione di un metodo interpretativo consente di leggere i dati empirici come materiali per un'elaborazione conoscitiva e progettuale, utile alla definizione di criteri pedagogici fondati. La struttura metodologica integra dispositivi formali di rilevazione e analisi con un lavoro interpretativo volto a mettere in luce la complessità cognitiva e professionale che caratterizza l'adozione dell'AI nei contesti scolastici. Alla luce di questi elementi, l'approccio adottato può essere qualificato come "interpretativo", per l'attenzione ai significati attribuiti dai soggetti all'uso dell'AI; "sistemico", per il riconoscimento dell'interdipendenza fra condizioni tecnologiche, culturali e formative; e "trasformativo", in quanto orientato a produrre conoscenza applicabile nei contesti educativi e utile alla definizione di politiche e pratiche sostenibili.

Il paragrafo successivo presenta il disegno della ricerca articolato nelle domande operative, negli obiettivi applicativi e nella progressione delle fasi d'indagine.

4.2 Domande operative e obiettivi applicativi

La progettazione della ricerca empirica si è sviluppata a partire da un nucleo di domande centrali, direttamente derivate dalle criticità emerse nella *review sistematica* e coerenti con gli obiettivi generali del dottorato in *Learning Sciences and Digital Technologies*. L'assunto metodologico di base è che "*una domanda di ricerca, per possedere valore operativo, debba potersi tradurre in un obiettivo specifico, osservabile e misurabile, capace di orientare le scelte metodologiche, la costruzione degli strumenti e le strategie di analisi dei dati*".

In questa prospettiva, la ricerca ha inteso esplorare tre dimensioni fondamentali, tra loro strettamente interconnesse:

a) Le percezioni e rappresentazioni dei docenti rispetto alla GAI, con riferimento ai livelli di consapevolezza, fiducia, percezione di utilità e percezione dei rischi associati. *L'obiettivo operativo* è rilevare le rappresentazioni cognitive ed emotive che orientano il loro atteggiamento verso l'AI.

b) Le pratiche didattiche e strategie di integrazione già adottate o sperimentate nei contesti scolastici con attenzione ai gradi di autonomia, alla finalità pedagogica e al rapporto tra innovazione tecnologica e progettazione curricolare. L' *obiettivo operativo* è mappare le

esperienze in atto e identificarne le ricorrenze, i fattori abilitanti e le criticità, distinguendo tra docenti in formazione iniziale e docenti in servizio.

c) I bisogni formativi percepiti e le competenze digitali, etiche e metacognitive ritenute necessarie per un'integrazione pedagogicamente sostenibile dell'AI nella didattica. L' *obiettivo operativo* è individuare le aree di sviluppo professionale e le competenze trasversali da promuovere nella *teacher education* per favorire un uso critico, consapevole e riflessivo delle tecnologie intelligenti.

Accanto a tali dimensioni, è stata formulata una quarta domanda di natura proiettiva, finalizzata a indagare in che misura il framework curricolare proposto possa rispondere alle criticità rilevate nella letteratura e tradurre i risultati empirici in una proposta educativa concreta. Il relativo *obiettivo operativo* è validare la coerenza teorico-pratica del framework e verificarne l'applicabilità nei diversi ordini di scuola, in termini di verticalità, modularità e sostenibilità pedagogica. L'intero impianto metodologico risulta così fondato su un duplice principio: *coerenza epistemologica*, in quanto le domande derivano direttamente dalle lacune identificate nella letteratura, e *funzionalità operativa*, poiché ciascun obiettivo orienta scelte precise di metodo, strumenti e interpretazione.

4.3 Disegno della ricerca e articolazione delle fasi

Il disegno della ricerca è stato definito in relazione agli obiettivi generali del dottorato e al quadro epistemologico delle *Learning Sciences,* che richiede un raccordo saldo tra elaborazione teorica, sviluppo progettuale e verifica empirica. L'impianto adottato segue una progressione cumulativa: ogni fase produce risultati che orientano quella successiva, così da mantenere continuità metodologica e coerenza interpretativa. La struttura operativa comprende cinque fasi distinte per funzione e strumenti, ma integrate all'interno di un percorso unitario di costruzione della conoscenza.

1. *Review* sistematica della letteratura (Cap. 3)
   Ha delineato lo stato dell'arte sull'uso dell'AI nei contesti scolastici K-12, individuando lacune pedagogiche e carenze di modelli formativi coerenti. I risultati hanno costituito il fondamento teorico per la definizione del framework proposto.
2. Costruzione del framework Di.Ver.So. (Cap. 5-7)
   E' il nodo concettuale di riferimento della tesi ed è la traduzione di tali evidenze in una proposta teorico-progettuale che definisce un modello curricolare sostenibile per l'educazione all'AI. Esso integra dimensioni cognitive, etiche e professionali, proponendo un approccio scalabile e sistemico all'educazione all'AI nei diversi ordini scolastici.

3. Survey nazionale ai docenti (Cap. 8)
   Ha rilevato, su ampia scala, percezioni, pratiche e bisogni formativi dei docenti in formazione iniziale e in servizio, fornendo la base empirica per la validazione del framework.
4. Esperienze e collaborazioni internazionali (Cap. 9-11)
   Sviluppate in collaborazione con istituzioni accademiche e centri di ricerca europei, hanno consentito di ampliare la prospettiva della ricerca, verificando l'utilizzo dell'AI in contesti educativi e culturali differenti.
5. Analisi integrata e validazione finale (Cap. 12-13)
   Ha previsto la triangolazione dei dati quantitativi e qualitativi, consolidando la coerenza teorico-empirica del modello e valutandone le implicazioni pedagogiche e di *policy*.

Il disegno metodologico si colloca entro un *approccio misto di tipo sequenziale esplicativo* (*explanatory sequential design*), che parte da una *fondazione teorica solida*, passare attraverso una *modellizzazione progettuale*, e approdare a una *verifica empirica* capace di restituire risultati trasferibili e validabili. Nella prima fase quantitativa, sono stati raccolti e analizzati dati su larga scala tramite questionari strutturati, al fine di garantire rappresentatività e ampiezza di copertura. Nella fase qualitativa, successiva e complementare, l'analisi delle risposte aperte, dei casi studio e delle esperienze progettuali ha permesso di approfondire il significato pedagogico dei risultati numerici, restituendo una visione multilivello e contestuale del fenomeno. Questa integrazione ha permesso di unire l'ampiezza descrittiva della *survey* alla profondità interpretativa delle analisi tematiche, rafforzando la validità complessiva dei risultati e la loro trasferibilità nei contesti formativi.

All'interno di questo impianto generale, il disegno empirico principale si articola in tre momenti operativi:

- Analisi teorica e definizione delle variabili - sistematizzazione delle evidenze provenienti dalla *review* e individuazione delle variabili da indagare come percezioni, pratiche, bisogni formativi e dimensioni etico-pedagogiche.
- Raccolta dei dati empirici - realizzata attraverso un questionario nazionale validato statisticamente e un'indagine qualitativa esplorativa basata su risposte aperte e interviste semi-strutturate a un sottocampione selezionato.
- Modellizzazione e validazione del framework Di.Ver.So. - fase interpretativa e propositiva, dedicata alla definizione finale del modello curricolare e alla verifica della sua coerenza rispetto ai dati e ai principali framework internazionali.

Come rappresentato nella *Fig.1*, l'intero percorso di ricerca non è un semplice accumulo di evidenze, ma una costruzione progressiva di conoscenza, capace di produrre ricadute scientifiche, educative e formative.

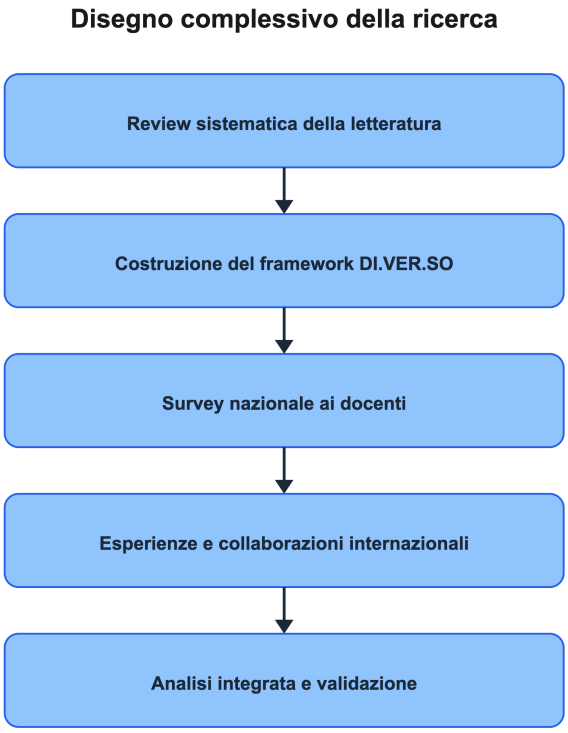


Fig. 1 – Disegno complessivo della ricerca.

Il paragrafo successivo illustra nel dettaglio gli strumenti e le tecniche di raccolta dati, specificandone criteri, fasi di validazione e procedure di analisi.

4.4 Strumenti e tecniche di raccolta dati

Per rispondere alle domande di ricerca e validare empiricamente il framework Di.Ver.So., è stata progettata una survey strutturata rivolta a docenti in formazione iniziale e in servizio, integrata da raccolte qualitative mirate. L'impianto combina strumenti *quantitativi* (ampiezza e comparabilità) e *qualitativi* (profondità interpretativa), organizzati in tre macroaree coerenti con le dimensioni teoriche del framework:

a) Percezioni e atteggiamenti dei docenti nei confronti della AI e GAI (fiducia, utilità percepita, rischi e impatto professionale);
b) Pratiche didattiche già adottate o sperimentate con la GAI, con particolare attenzione alle strategie di personalizzazione, collaborazione e valutazione;
c) Bisogni formativi e competenze ritenute necessarie per un'integrazione sostenibile, etica e consapevole delle tecnologie intelligenti.

I questionari includevano item con risposte su *scala Likert* (1–5), *risposte multiple, semiaperte* e *aperte*, destinate a raccogliere riflessioni personali e descrizioni di esperienze concrete. La somministrazione è avvenuta in *modalità online* (Google Forms) in forma anonima e volontaria, consentendo di raggiungere un campione ampio e diversificato.

I dati raccolti sono stati successivamente sottoposti ad analisi statistiche descrittive e inferenziali, volte a individuare tendenze, correlazioni tra variabili e differenze significative in relazione all'ordine di scuola e al livello di esperienza professionale. Accanto ai dati quantitativi ricavati dalle risposte su scala Likert, c'è stata un'analisi qualitativa dei dati mediante tecniche di *content analysis* e *thematic coding*, con l'obiettivo di far emergere rappresentazioni, vissuti professionali e orientamenti valoriali. Ciò ha consentito di interpretare il significato pedagogico dei dati quantitativi, cogliendo la complessità del rapporto tra AI, identità docente e innovazione didattica. Una specificità del disegno consiste nell'uso di dispositivi progettuali (UDA derivanti dal framework) come strumenti di validazione curricolare in contesti reali (Infanzia/Primaria), al fine di verificarne trasferibilità e sostenibilità didattica.

STRATEGIA DI VALIDAZIONE EMPIRICA DEL FRAMEWORK DI.VER.SO.

L'obiettivo dell'indagine è validare empiricamente il framework, verificandone la coerenza interna e la trasferibilità verticale lungo l'intero percorso scolastico K-12. Poiché una validazione longitudinale completa richiederebbe un arco temporale pluriennale (non inferiore ai quattordici anni) si è adottato un disegno campionato e multilivello, che consente di mettere alla prova le tre dimensioni del modello (*saper sapere, saper fare, saper essere*) attraverso gruppi distinti ma tra loro complementari.

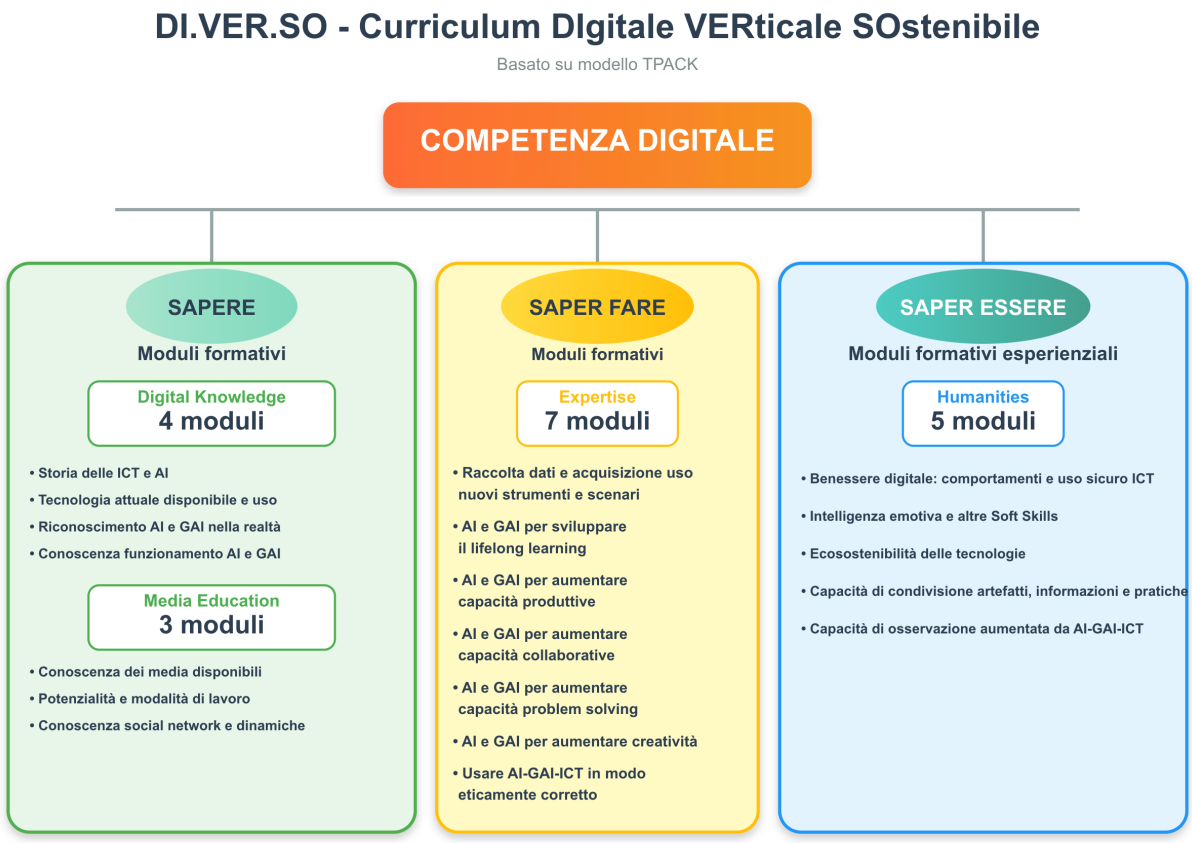


Fig. 2 – Struttura di base del framework Di.Ver.So.

a) Livello scolastico → la micro-sperimentazione K-5

Nel livello della Scuola Primaria è stata realizzata una micro-sperimentazione articolata in due gruppi, caratterizzati da modalità didattiche e procedure di rilevazione differenti. Il gruppo "analogico" ha seguito una lezione tradizionale ed è stato sottoposto a una rilevazione motivazionale pre-post; il gruppo sperimentale ha partecipato alla medesima attività con il supporto di strumenti di AI ed è stato sottoposto esclusivamente a un questionario motivazionale finale, relativo al gradimento e al valore percepito dell'esperienza tecnologicamente mediata.

Questa fase ha contribuito a esplorare, in chiave descrittivo-interpretativa, la coerenza dell'asse Digital Knowledge–Expertise, documentando nella classe sperimentale un profilo di coinvolgimento caratterizzato da curiosità cognitiva, partecipazione e interesse verso l'esperienza didattica mediata dall'AI. Tali evidenze assumono una funzione interpretativo-validante ed ecologica, coerente con gli obiettivi di alfabetizzazione digitale e metariflessiva del framework.

b) Livello Universitario e Accademico

Gli studenti dell'Accademia di Belle Arti sono stati coinvolti in un'attività riflessiva volta a esplorare le potenzialità creative e rielaborative dell'AI, interrogandosi su come le tecnologie generative possano reinterpretare esperienze artistiche pregresse e ampliare le pratiche attuali. Questa sezione ha permesso di testare la dimensione di *Media Education*, intesa come capacità di attribuire significato, valore critico ed estetico ai media intelligenti in contesti artistici, contribuendo alla verifica della validità di costrutto del framework rispetto al "saper essere critico-estetico".

c) Livello formativo – Docenti in formazione iniziale

I docenti in formazione iniziale hanno costituito il punto di convergenza tra le dimensioni *Digital Knowledge* e *Humanities*. Il questionario somministrato ha consentito di rilevare il livello di preparazione digitale e di analizzare l'atteggiamento verso forme di innovazione didattica sostenibile, offrendo una prima mappa delle competenze emergenti e delle percezioni relative all'uso della GAI a scuola. Questo segmento dell'indagine ha contribuito alla verifica della coerenza interna del framework e alla valutazione della sua validità di contenuto, mettendo in relazione i costrutti teorici con le rappresentazioni dei futuri docenti.

d) Livello professionale –Docenti in servizio

La survey pre-post relativa al corso "Intelligenza Artificiale per la Scuola", somministrata a 61 docenti in servizio, costituisce il segmento più sperimentale dell'intero disegno di ricerca. Le due rilevazioni, condotte sugli stessi partecipanti, hanno consentito di misurare il

cambiamento intra-soggetto in termini di competenze, percezioni e atteggiamenti, offrendo un indicatore affidabile di efficacia formativa e di trasformazione professionale. In questa fase si è potuta verificare la piena operatività delle dimensioni *Expertise* e *Humanities*, documentando un incremento della consapevolezza etica e della padronanza metodologica nell'uso dell'AI. L'attività ha contribuito alla verifica della validità interna del modello e ha fornito indicazioni significative sul suo potenziale di trasferimento in pratica nei contesti scolastici reali.

e) Respiro internazionale del framework

Alcune esperienze internazionali, infine, sono state sfruttate a carattere esplorativo e comparativo. Tra queste il progetto di produzione video con AI realizzato in collaborazione con l'Università di Dublino è centrato sull'uso creativo e riflessivo delle tecnologie generative; il MOOC europeo per dottorandi in collaborazione con EUI**,** focalizzato sull'AI applicata alla formazione accademica e alla ricerca interdisciplinare, consente di esplorare anche aspetti etici dell'AI, oltre a quelli applicativi e di *lifelong learning*; la collaborazione con l'Università di Milano è centrata sull'impiego dell'AI nella comunicazione di contenuti didattici, *team working* e ecosostenibilità. Queste esperienze non perseguono generalizzazioni statistiche, ma hanno offerto prospettive comparate e contestuali, contribuendo a estendere la riflessione sul framework in una dimensione internazionale. L'integrazione di *survey quantitative*, *analisi qualitative, strumenti progettuali* e *studi di caso* ha reso possibile una triangolazione multilivello, in grado di combinare ampiezza dei dati, profondità interpretativa e solidità delle inferenze. Questo impianto metodologico è coerente con i principi fondativi delle *Learning Sciences*, secondo cui la ricerca educativa non si limita a descrivere i fenomeni, ma li osserva criticamente, li interpreta alla luce di teorie robuste e li trasforma in conoscenza operativa. In tale prospettiva, la triangolazione adottata sostiene un processo di indagine che produce evidenze affidabili e, al contempo, genera orientamenti pratici per il miglioramento delle pratiche didattiche e per lo sviluppo di politiche educative sostenibili.

FUNZIONE COMPLESSIVA DEI QUESTIONARI

Nel loro insieme, i questionari hanno assolto funzioni distinte ma convergenti: una funzione indagativa, finalizzata a rilevare percezioni, conoscenze e rappresentazioni nei livelli iniziale e accademico; una funzione descrittivo-interpretativa, utile ad accostare i profili motivazionali emersi nei due setting della Scuola Primaria, senza formulare un confronto quantitativo diretto; infine, una funzione valutativa, mirata a misurare la variazione pre-post nei docenti in servizio. Questa articolazione ha consentito di realizzare una validazione empirica campionata del framework, mostrando come le sue tre dimensioni - cognitive (*sapere*), operative (*saper fare*) e riflessive (*saper essere*) - trovino riscontro nei diversi momenti della formazione. Le

evidenze raccolte convergono nel confermare la tenuta sistemica del modello Di.Ver.So., mostrando come esso possa adattarsi a contesti e livelli formativi differenti. La curiosità cognitiva dei bambini, la riflessione creativa degli studenti e la consapevolezza metodologica dei docenti rappresentano tre passaggi verticali attraverso cui la competenza digitale sostenibile prende forma e si evolve lungo tutto il percorso scolastico.

4.5 Descrizione del campione e del contesto

La ricerca si colloca all'interno delle politiche nazionali ed europee che, attraverso il PNSD e la Missione Istruzione del PNRR, promuovono percorsi di formazione e sperimentazione sull'AI e sulle competenze digitali. Il campione complessivo, pari a 1.080 partecipanti, riflette l'impianto bifocale del framework Di.Ver.So., articolato sulla dimensione scolastica (K-12) e sulla formazione docente, iniziale e in servizio (*vedi Tab. 1*).

Questo capitolo documenta la base empirica dello studio che ha previsto la somministrazione di 1.200 questionari, dei quali 1.189 sono stati effettivamente completati (*tasso di restituzione*: 99,1%). Il campione include 31 alunni di scuola primaria coinvolti nelle sperimentazioni didattiche e 54 studenti dell'Accademia di Belle Arti, chiamati a riflettere sull'uso effettivo o potenziale dell'AI in ambito artistico. A questi si aggiungono docenti in formazione iniziale e in servizio, partecipanti a corsi e lezioni sull'impiego dell'AI nella didattica, nonché un gruppo di insegnanti coinvolti nel confronto tra lezione analogica e lezione aumentata dall'AI. Tale articolazione riflette la duplice natura del progetto, che integra dimensione scolastica sperimentale e formazione docente, al fine di indagare in modo complementare l'impatto educativo e professionale dell'AI nei contesti K-12. Il sottogruppo di docenti coinvolti nel confronto tra lezione analogica e lezione aumentata dall'AI era composto da 45 insegnanti (n=37 i questionari restituiti). L'intervento mirava a rilevare le variazioni percepite in termini di coinvolgimento, chiarezza, carico cognitivo e utilità didattica, al fine di individuare eventuali differenze nella rappresentazione dell'esperienza formativa nei due setting. I docenti in formazione iniziale sono stati 898 (897 questionari validi). A questo gruppo è stato somministrato un unico questionario finalizzato a rilevare percezioni, competenze digitali dichiarate, atteggiamenti verso l'innovazione didattica e possibili ambiti di integrazione dell'AI nella pratica scolastica. Il segmento ha fornito una mappatura ampia e comparativa delle disposizioni dei futuri insegnanti. Ai docenti in servizio (n=79) sono stati invece somministrati due questionari pre-post, relativi al corso "Intelligenza Artificiale per la Scuola" che stavano frequentando. Le due rilevazioni avevano l'obiettivo di misurare l'evoluzione intra-soggetto rispetto a competenze percepite, consapevolezza metodologica, atteggiamenti verso l'AI e aspettative di trasferimento nella pratica didattica.

Per stimare il cambiamento intra-soggetto, le analisi includono solo le coppie appaiate, ossia compilate dalla stessa persona nei due tempi. I casi orfani (un solo tempo) e le

duplicazioni sono stati esclusi secondo i criteri standard dei disegni pre-post. Nel gruppo dei docenti in servizio, il tasso di validità del sottoinsieme analizzabile è 77,21% (61 coppie valide su 79 partecipazioni), con un tasso di risposta dei presenti pari al 100%.

Tabella 1 – Composizione del campione e tipologia di rilevazione

Categoria di partecipanti	Persone con risposta valida	Tipo di rilevazione	Note
Docenti coinvolti nel confronto "lezione analogica" vs "lezione con AI	37	Singola	Confronto tra lezione tradizionale e lezione con AI.
Docenti in formazione iniziale	897	Singola	Rilevazione su percezioni, competenze e usi didattici dell'AI.
Docenti in servizio (Corso "*Intelligenza Artificiale per la scuola*")	61	Doppia (pre-post valide)	Solo coppie appaiate. Questionario su competenze, percezioni e ricadute didattiche dell'AI somministrato prima e dopo la frequenza del corso.
Alunni Scuola Primaria	31	Singola	Partecipanti alle sperimentazioni didattiche.
Studenti Accademia di Belle Arti	54	Singola	Indagine su potenziale uso pregresso e applicazioni artistiche dell'AI.
TOTALE	**1080**		

PROFILO SOCIODEMOGRAFICO

Il sottocampione dei *docenti in formazione iniziale* presenta una forte concentrazione nelle fasce 31-40 anni (37,4%) e oltre i 40 anni (44,8%), che insieme superano l'80% del totale. Le fasce più giovani risultano meno rappresentate, con il 16,3% tra i 25-30 anni e solo l'1,5% sotto i 25 anni. Nel complesso, il profilo anagrafico evidenzia una popolazione docente tendenzialmente matura, con segnali di rinnovamento generazionale più marcati nei settori tecnico-scientifici. Il gruppo dei *docenti in servizio* che ha partecipato al corso "Intelligenza Artificiale per la Scuola" è composto prevalentemente da insegnanti della Scuola Primaria (59,0%), seguiti dalla Secondaria di I grado (27,9%) e dall'Infanzia (13,1%). Le fasce d'età più rappresentate sono 46-60 anni (57,4%) e oltre 60 anni (19,7%). Anche l'esperienza professionale presenta una distribuzione ampia, con prevalenza degli intervalli 11-20 anni (29,5%) e ≥30 anni (24,6%). Nei *restanti sottocampioni* la variabile anagrafica non è stata rilevata in modo sistematico, in quanto non rilevante rispetto agli obiettivi analitici specifici. Sebbene il campionamento non sia probabilistico, l'ampiezza e la diversificazione della popolazione coinvolta garantiscono un'elevata validità ecologica, poiché i dati provengono da contesti autentici di insegnamento e apprendimento. Tale configurazione consente di restituire un quadro rappresentativo delle principali variabili educative e professionali, in coerenza con

l'approccio sistemico delle *Learning Sciences*, che privilegia la significatività situata rispetto alla generalizzabilità statistica.

4.6 Procedure di raccolta e validazione dati

La raccolta dei dati si è svolta nel corso del biennio 2024-2025, secondo una pianificazione articolata in più fasi parallele, in coerenza con la natura mista e multilivello della ricerca. Tutte le indagini, sia di tipo quantitativo che qualitativo, sono state condotte mediante questionari strutturati, progettati per garantire un equilibrio tra ampiezza di rilevazione e profondità interpretativa.

4.6.1 *Fasi e modalità di somministrazione*

Le procedure di raccolta si sono sviluppate lungo due principali filoni di indagine: (a) sperimentazioni scolastiche e (b) formazione e pratiche docenti.

(a) SPERIMENTAZIONI SCOLASTICHE (K-12)

Le attività sono state realizzate presso un Istituto Comprensivo del territorio e hanno coinvolto due gruppi di alunni della Scuola Primaria: una classe III (*gruppo di controllo*) e una classe V (*gruppo sperimentale*). La lezione, comune a entrambi i gruppi, era dedicata al tema dell'inquinamento tecnologico e del risparmio energetico, ma è stata condotta secondo due metodologie differenti: modalità tradizionale per il gruppo di controllo e modalità mediata dall'AI per il gruppo sperimentale. In totale hanno partecipato 31 alunni (18 in classe III e 13 in classe V), per un complessivo di 48 questionari raccolti. A completamento dell'analisi sono state realizzate tre interviste ai docenti, finalizzate a documentare percezioni didattiche e osservazioni sull'andamento delle attività. Ai fini della stima del cambiamento intra-soggetto risultano 17 coppie pre-post nella classe III, mentre nella classe V è disponibile unicamente un test motivazionale finale, non utilizzabile per stimare il cambiamento intra-soggetto né per formulare un confronto quantitativo diretto. Dal punto di vista metodologico, il test motivazionale scolastico adottato (*Engagement vs. Disaffection - EvsD*) è stato progettato per rilevare più dimensioni della motivazione all'apprendimento:

- la *motivazione intrinseca*, ovvero il piacere di imparare e la curiosità verso il compito;
- la *motivazione estrinseca*, legata alla dimensione sociale del riconoscimento e della collaborazione;
- la *motivazione strumentale*, riferita alla percezione di utilità dell'attività proposta;
- la *motivazione autoregolata*, connessa alla capacità di mantenere attenzione e impegno.

Sebbene semplificato per la Scuola Primaria, lo strumento mantiene questa impostazione multidimensionale, traducendo i costrutti psicopedagogici in item accessibili e situati. Il test,

quindi, non si limita a rilevare il gradimento dell'attività, ma consente di cogliere le dimensioni del coinvolgimento cognitivo ed emotivo associate all'esperienza didattica con AI.

→ Analisi del gruppo di controllo – Confronto pre-post

Nel gruppo di controllo, che ha seguito la lezione in modalità tradizionale, il confronto pre-post mostra una sostanziale stabilità degli atteggiamenti rispetto al risparmio energetico. Già nella rilevazione iniziale tutti gli alunni possedevano una buona consapevolezza concettuale (spegnere luci e dispositivi, riconoscere gli oggetti che consumano energia) e attribuivano al risparmio energetico un valore etico e ambientale. La somministrazione finale conferma questo orientamento, senza variazioni significative nei punteggi di interesse o motivazione: il 94% riferisce di essersi sentito parte del lavoro di gruppo, ma solo il 35% dichiara un elevato livello di curiosità verso nuovi apprendimenti. Nel complesso, la lezione tradizionale ha consolidato conoscenze e atteggiamenti già presenti, producendo un effetto di mantenimento più che di trasformazione motivazionale o cognitiva.

→ Significato metodologico del questionario motivazionale (classe III)

Il questionario motivazionale somministrato alla classe terza non mirava a misurare una performance, ma a rilevare la stabilità e la qualità della motivazione in un contesto didattico tradizionale. La doppia somministrazione pre-post mostra che gli alunni, già inizialmente sensibili al tema del risparmio energetico, hanno mantenuto un atteggiamento positivo e consapevole anche dopo l'attività. Questa evidenza, apparentemente "neutra", svolge però una funzione metodologica decisiva: costituisce una baseline di stabilità interna al gruppo di controllo, utile a contestualizzare, ma non a quantificare comparativamente, il profilo motivazionale rilevato nella classe sperimentale. Essa offre un riferimento contestuale per leggere il profilo motivazionale rilevato nella classe V, senza consentire di isolare o quantificare un effetto specifico della mediazione tecnologica. Il gruppo di controllo documenta quindi la tenuta motivazionale nel setting tradizionale e contribuisce alla lettura pedagogica complessiva della micro-sperimentazione.

→ Analisi del gruppo sperimentale - Test motivazionale finale

Nel gruppo sperimentale, che ha partecipato alla lezione mediata dall'AI, il test motivazionale finale evidenzia un elevato coinvolgimento affettivo e cognitivo, accompagnato da una generale apertura verso l'uso delle tecnologie digitali come supporto all'apprendimento. Le risposte quantitative mostrano una distribuzione bilanciata delle preferenze: il 50% predilige modalità basate su ascolto/lettura, il restante 50% approcci collaborativi e attivi (lavoro con i compagni, attività creative). Alla domanda "Cosa ti fa venire voglia di impegnarti in una lezione?", emerge equilibrio tra componente ludico–emotiva ("se è divertente", 50%) e sociale–relazionale ("se posso lavorare con i compagni", 50%). Riguardo alla familiarità con le tecnologie, metà degli studenti dichiara di utilizzare strumenti digitali per imparare con

regolarità, metà occasionalmente. L'autopercezione di competenza si distribuisce tra valori medio–alti (4–5 su 5, ~50%) e intermedi (2 su 5, ~50%); analogo il profilo del comfort con l'apprendimento mediato dalla tecnologia, a indicare una familiarità non ancora pienamente consolidata. Le risposte aperte confermano curiosità epistemica e desiderio di approfondimento (ricorrenza di "intelligenza artificiale", "tablet", "app educative", "imparare con il computer"). Nel complesso, i risultati descrivono un profilo di coinvolgimento caratterizzato da curiosità, partecipazione e percezione di utilità. In assenza di una rilevazione iniziale, tali evidenze non consentono tuttavia di attribuire questi elementi causalmente alla mediazione dell'AI.

→ Significato metodologico del test motivazionale (classe V)

Il test motivazionale somministrato nella classe V, al termine della lezione mediata dall'AI, non svolge soltanto una funzione di rilevazione degli esiti, ma opera come verifica di coerenza pedagogica rispetto agli obiettivi del framework Di.Ver.So.. Diversamente dalla classe III, dove la doppia somministrazione pre-post ha fornito una baseline interna al gruppo di controllo, in questo caso lo strumento documenta la qualità del coinvolgimento osservato durante una pratica didattica innovativa, centrata sull'esplorazione e sull'uso consapevole della tecnologia. Ispirato ai test motivazionali scolastici standardizzati, il questionario ha permesso di rilevare più dimensioni della motivazione come il piacere di imparare, curiosità epistemica, collaborazione, percezione di utilità, sicurezza nell'uso degli strumenti digitali. Le risposte descrivono un profilo motivazionale caratterizzato da curiosità epistemica, partecipazione e orientamento collaborativo. In assenza di una rilevazione iniziale, tali evidenze non consentono di misurare un cambiamento né di attribuirlo causalmente alla mediazione tecnologica. Esse documentano, tuttavia, la qualità del coinvolgimento osservato nel contesto didattico sperimentale e assumono una funzione descrittiva, interpretativo-validante ed ecologica, coerente con la visione educativa del framework Di.Ver.So.

→ Analisi qualitativa delle interviste ai docenti

Per integrare i risultati dei questionari rivolti agli alunni, sono state condotte tre interviste qualitative ai docenti coinvolti nella sperimentazione, con l'obiettivo di esplorare percezioni, riflessioni e ricadute professionali dell'attività didattica mediata dall'AI. Le interviste, articolate attorno a quattordici domande aperte, hanno permesso di approfondire il grado di familiarità con l'AI, l'impatto percepito sulla motivazione e sull'inclusione degli studenti e i bisogni formativi emergenti. Tutti gli insegnanti dichiarano di non aver mai utilizzato strumenti di AI prima della sperimentazione, ma ne riconoscono l'immediatezza operativa e il potenziale trasformativo nel contesto scolastico.

Le loro risposte convergono nel descrivere la lezione come accattivante, interattiva e fortemente motivante, capace di attivare entusiasmo, partecipazione e senso di protagonismo negli alunni. Particolare enfasi viene attribuita all'aumento dell'attenzione e della curiosità,

nonché alla capacità della mediazione tecnologica di rendere l'esperienza più inclusiva: anche gli alunni con maggiori fragilità, infatti, si sono sentiti coinvolti e supportati. Dal punto di vista pedagogico, i docenti concordano nell'attribuire all'AI un impatto positivo sul clima di classe e sull'autostima degli alunni, interpretandola come uno strumento capace di semplificare e personalizzare l'apprendimento, riducendo al contempo ansie e barriere prestazionali. Emergono tuttavia alcune condizioni necessarie per una sua effettiva integrazione, come la disponibilità di dispositivi adeguati, un piano stabile di formazione dei docenti e un ambiente organizzativo favorevole. Nel complesso, le interviste confermano in forma qualitativa quanto rilevato dalle analisi quantitative, una AI percepita come leva di rinnovamento metodologico, di stimolo motivazionale e di partecipazione inclusiva. Al tempo stesso, l'esperienza induce i docenti a riconsiderare la propria professionalità in chiave riflessiva, in linea con il principio del framework Di.Ver.So., secondo cui l'innovazione educativa sostenibile nasce dall'interazione consapevole tra tecnologia, contesto e identità docente. Letti congiuntamente ai risultati del gruppo di controllo e del gruppo sperimentale, i dati qualitativi non mirano a una comparazione di performance, ma a far emergere modi differenti di entrare in relazione con l'apprendimento. Questa prospettiva apre alla fase interpretativa della ricerca, in cui la motivazione viene intesa non come variabile meramente misurabile, ma come indicatore di trasformazione educativa e di coerenza epistemica con la visione pedagogica di Di.Ver.So..

→ Impostazione del confronto e coerenza con il framework

La sperimentazione era stata progettata per confrontare due modalità di lezione sul tema del risparmio energetico. Il piano iniziale prevedeva una rilevazione motivazionale pre-post in entrambe le classi ma, per ragioni organizzative, la doppia somministrazione è stata possibile solo nella classe III (controllo), mentre per la classe V (sperimentale) è disponibile unicamente il test finale. Questa asimmetria, pur rappresentando un limite inferenziale, non compromette la lettura educativa contestuale richiesta dal framework Di.Ver.So.. Alla luce di tale asimmetria, i dati non vengono utilizzati per stabilire differenze quantitative tra i due gruppi. La classe III documenta la stabilità del profilo motivazionale nel setting tradizionale; la classe V restituisce, attraverso una rilevazione finale, un profilo caratterizzato da curiosità, partecipazione e orientamento collaborativo. Le evidenze dei due gruppi vengono pertanto accostate esclusivamente sul piano descrittivo e pedagogico e non consentono di attribuire effetti causali alla mediazione tecnologica. Nel loro insieme, esse offrono un contributo esplorativo e interpretativo alla riflessione sulla coerenza del framework Di.Ver.So., senza configurarsi come prova comparativa della sua efficacia.

(b) FORMAZIONE E PRATICHE DEI DOCENTI

Il secondo filone di raccolta dati si è sviluppato nell'ambito della formazione iniziale e in servizio dei docenti coinvolti in percorsi universitari di abilitazione e in corsi di formazione

dedicati alla GAI nella didattica. L'obiettivo era duplice e interamente focalizzato sull'AI: da un lato, analizzare percezioni, livelli di *AI Literacy* e bisogni formativi dei futuri insegnanti; dall'altro, osservare come la formazione continua modifichi la consapevolezza pedagogica, le capacità progettuali e le pratiche quotidiane di integrazione dell'AI da parte dei docenti già attivi nel sistema scolastico. Le somministrazioni si sono svolte in forma anonima e volontaria, nel rispetto dei criteri etici della ricerca educativa.

Le indagini hanno attraversato tre contesti principali. Il primo ha riguardato i corsi di formazione su "AI a scuola" per docenti in servizio, di posto comune e di sostegno, finalizzati a comprendere l'evoluzione delle competenze e delle percezioni relative all'AI tra l'inizio e la conclusione del percorso, con attenzione al cambiamento dei livelli di *AI Literacy* e alla capacità di progettare attività didattiche supportate da strumenti generativi nei diversi ordini di scuola (livello Primaria, Secondaria I grado e Secondaria di II grado). Il secondo contesto ha coinvolto i docenti in ingresso nei percorsi abilitanti per la Scuola Secondaria di I e II grado (ambito STEAM, Umanistico, Artistico) per indagare le percezioni sull'AI, le competenze possedute e i bisogni formativi dei futuri insegnanti. Il terzo contesto ha riguardato una sperimentazione K-4 su geoscienze e sostenibilità, che ha permesso ai docenti in servizio di confrontare attività tradizionali e attività aumentate dall'AI, fornendo una lettura situata delle opportunità e dei limiti percepiti nell'integrazione tecnologica.

Nel loro insieme, questi dati hanno consentito di analizzare in modo trasversale il processo di alfabetizzazione all'AI, mettendo in luce le differenze tra formazione iniziale e continua e i fattori che facilitano o ostacolano un'adozione sostenibile delle tecnologie intelligenti nella scuola. Le evidenze raccolte costituiscono una base empirica significativa per la validazione del framework Di.Ver.So., mostrando come la formazione sull'Intelligenza Artificiale, quando progettata in chiave pedagogica e non meramente tecnica, possa sostenere lo sviluppo di una cultura professionale riflessiva, consapevole e orientata all'innovazione educativa sostenibile.

→ Struttura dei questionari e contenuti

Dopo aver delineato i contesti di somministrazione e gli obiettivi delle diverse indagini, è necessario descrivere l'architettura degli strumenti utilizzati. Nonostante la varietà dei *setting* e dei destinatari, i questionari condividono una struttura metodologica comune, progettata per garantire coerenza interna e confrontabilità tra i dataset.

In tutti gli strumenti impiegati, pur adattati ai diversi contesti, la costruzione segue una medesima logica articolata attorno a tre nuclei tematici. Una prima sezione rileva *percezioni e atteggiamenti* verso l'AI e la GAI attraverso scale Likert a 5 punti; una seconda documenta *pratiche e strategie didattiche adottate* mediante item a risposta chiusa e semiaperta, finalizzati a ricostruire esperienze e modalità operative; una terza *esplora bisogni formativi e competenze attese* tramite domande aperte e scenari situazionali, utili a cogliere orientamenti progettuali e rappresentazioni più profonde. Nei percorsi rivolti ai docenti in servizio, la

struttura è stata integrata con *item di autovalutazione delle competenze digitali* ispirati ai descrittori del framework DigCompEdu (JRC, 2017), al fine di misurare in modo più puntuale la capacità di integrare l'AI nella progettazione didattica. Per le sperimentazioni scolastiche, la struttura degli strumenti è stata resa accessibile agli alunni della Scuola Primaria tramite scale visive e brevi domande narrative, progettate per rilevare non solo aspetti cognitivi, ma anche dimensioni emotive e partecipative dell'esperienza di apprendimento mediata dalla tecnologia. Nel loro insieme, questi strumenti - modulati ma coerenti - hanno permesso di mantenere comparabilità tra i contesti e di mettere in relazione le percezioni dei docenti con gli esiti motivazionali osservati negli studenti, rafforzando la validità interpretativa del framework Di.Ver.So. secondo la logica integrata delle *Learning Sciences*.

→ Procedure di validazione e controllo di qualità dei dati

La qualità dei dati è stata garantita attraverso una procedura di validazione multilivello, concepita per assicurare coerenza interna, trasparenza inferenziale e affidabilità interpretativa. Il processo ha integrato controlli statistici preliminari, criteri di eleggibilità dei casi e triangolazione metodologica tra fonti quantitative e qualitative.

- Controlli statistici preliminari

  Tutti i dataset sono stati sottoposti a operazioni di pulizia dei dati, con l'eliminazione di risposte incomplete, duplicati e pattern incoerenti. Il dataset finale, risultante dall'integrazione di tutte le somministrazioni, comprende 1.189 risposte valide.

- Criteri di eleggibilità e analisi intra-soggetto

  Nelle indagini che prevedevano una rilevazione pre-post, l'unità analitica di riferimento è stata la coppia appaiata (*matched pair*), condizione necessaria per stimare il cambiamento intra-soggetto evitando interferenze dovute a variazioni interindividuali. In pratica, per assenze il giorno della somministrazione, impegni scolastici o sovrapposizioni di calendario, può accadere così che qualcuno compili solo il questionario "pre" o solo il "post". Le risposte prive di una delle due misurazioni ("orfane") sono state mantenute solo a fini descrittivi ma escluse dalle analisi sugli esiti. Sono stati inoltre rimossi eventuali duplicati accidentali, così da non alterare la distribuzione dei punteggi e preservare la validità interna. Queste procedure non incidono sul tasso di risposta dei presenti - che rimane pari al 100% - ma delimitano con trasparenza il sottoinsieme su cui è metodologicamente corretto stimare gli effetti. Nel corso per docenti in servizio, ad esempio, le 79 partecipazioni raccolte hanno prodotto 61 coppie valide (tasso di validità 77,21%), mentre 18 casi sono stati esclusi per assenza di corrispondenza pre-post. Per i singoli item, il numero di risposte utili può variare in relazione a omissioni o risposte multiple non interpretabili; tali variazioni sono state riportate nella presentazione dei risultati al fine di garantire correttezza e leggibilità inferenziale.

- Triangolazione e validità interpretativa

  La qualità complessiva è stata ulteriormente rafforzata mediante una triangolazione sistematica tra risultati quantitativi e qualitativi, includendo confronti di coerenza tra risposte chiuse, narrazioni aperte, interviste ai docenti e osservazioni situate. Questa impostazione, coerente con la tradizione delle *Learning Sciences*, ha consentito di coniugare ampiezza di copertura (survey su larga scala) e profondità interpretativa (casi studio e interviste), garantendo una lettura contestuale e non meramente procedurale dei dati.

Nel complesso, la progettazione e la validazione delle procedure di raccolta dati hanno garantito robustezza empirica e coerenza metodologica, sostenendo l'affidabilità delle evidenze prodotte. L'integrazione tra controlli statistici, criteri di eleggibilità e triangolazione ha reso possibile una lettura contestuale e fondata dei fenomeni osservati, in linea con la logica *mixed methods* che orienta l'intero impianto di ricerca. Questo assetto metodologico apre alla fase successiva, dedicata all'analisi quantitativa e qualitativa dei dati. Le analisi sono state condotte secondo un approccio multilivello volto non solo alla verifica statistica delle ipotesi, ma alla costruzione di un quadro interpretativo capace di restituire la complessità dei processi di percezione, appropriazione e utilizzo dell'AI nei contesti educativi.

4.7 Metodi di analisi quantitativa e qualitativa

L'analisi dei dati è stata condotta secondo un approccio *mixed methods* di tipo sequenziale esplicativo (*Explanatory Sequential Design*), nel quale la fase quantitativa fornisce la base descrittiva e comparativa, successivamente approfondita attraverso analisi qualitative di tipo tematico e interpretativo. Le analisi quantitative hanno impiegato *test* t per campioni appaiati, *test di McNemar* e *analisi della varianza (ANOVA)*, affiancate da *correlazioni di Pearson* e *Spearman* per la verifica delle relazioni tra variabili. L'analisi qualitativa, condotta secondo la *Reflexive Thematic Analysis* (Braun & Clarke, 2006), ha consentito di individuare ricorrenze semantiche e categorie concettuali emergenti. I risultati quantitativi e qualitativi sono stati quindi messi in dialogo mediante una triangolazione multilivello (questionari pre-post, risposte aperte, interviste e casi studio) al fine di garantire validità convergente e robustezza interpretativa, in coerenza con la tradizione delle *Learning Sciences*.

a. ANALISI QUANTITATIVA

Le analisi quantitative hanno riguardato l'insieme delle survey strutturate somministrate nei diversi contesti (studenti e docenti), con l'obiettivo di individuare tendenze, andamenti, correlazioni e differenze significative tra variabili, in particolare negli aspetti motivazionali, attitudinali e professionali connessi all'uso dell'AI in Education. I dati sono stati organizzati e processati in formato elettronico tramite il linguaggio di programmazione R e l'ambiente

RStudio, con il supporto di un consulente specializzato in analisi inferenziale. I risultati - comprensivi delle percentuali di risposta valide, dei casi nulli e delle distribuzioni per ordine di scuola e tipologia di corso - sono riportati nel §4.5 ("Descrizione del campione e del contesto"). Le *analisi descrittive e inferenziali* sono state condotte in modo distinto per fasi e gruppi di partecipanti, in coerenza con gli obiettivi della ricerca. La fase descrittiva ha costituito il primo livello di elaborazione quantitativa ed è stata finalizzata a delineare il profilo complessivo del campione, offrendo una mappatura iniziale delle variabili sociodemografiche e professionali. Sono state calcolate statistiche di base (frequenze, percentuali, medie e deviazioni standard) per tutte le variabili considerate, così da restituire un quadro sintetico ma rappresentativo della popolazione in esame. Sono stati restituiti i dati relativi alla distribuzione dei partecipanti in base a età, anni di insegnamento, ordine di scuola, area disciplinare, livello di competenza digitale dichiarata, quantità di ore di corsi seguiti sulle ICT. Viene delineato un campione eterogeneo, ma con un chiaro orientamento verso un profilo esperto e maturo, caratterizzato da un'esperienza pluriennale nella professione ma da un percorso formativo sulle tecnologie ancora disomogeneo. A integrazione delle descrittive, sono state svolte analisi inferenziali volte a verificare la significatività delle variazioni osservate e a esplorare le relazioni tra variabili demografiche, esperienziali e percettive.

- Il *Test t* per campioni appaiati ha evidenziato differenze significative tra le risposte pre e post corso alla domanda "*Quanto sai dell'Intelligenza Artificiale per la scuola?*", con un incremento medio di 1.46 punti ($t(56)=10.61$, $p<.001$). Un effetto analogo, e ancora più marcato, si osserva per la conoscenza della GAI, con una differenza media di 2.12 punti ($t(56)=20.53$, $p<.001$). In termini interpretativi, ciò significa che la partecipazione ai corsi ha determinato un miglioramento statisticamente rilevante della consapevolezza e delle competenze percepite rispetto sia all'AI generale sia alla GAI.
- Successivamente, sono state esaminate le correlazioni tra età, anni di insegnamento e familiarità con AI/GAI. I *coefficienti di Pearson* non evidenziano relazioni significative tra età o esperienza e i livelli di conoscenza dell'AI ($r =–.20$, $p=.13$), mentre emerge una correlazione positiva moderata tra familiarità con AI e GAI ($r =.41$, $p=.001$), suggerendo che una maggiore conoscenza dell'AI generale si accompagna a una maggiore competenza percepita nell'uso della GAI.
- Le analisi non parametriche (*Spearman*) confermano la robustezza di tali risultati ($\rho =.37$, $p=.003$).
- L'analisi della varianza (*ANOVA*), condotta per verificare eventuali differenze tra ordini di scuola (Infanzia, Primaria, Secondaria di I grado), non ha evidenziato scostamenti significativi nei livelli di familiarità con l'AI ($F(2,58)=0.295$, $p=.746$) né con la GAI ($F(2,58)=0.493$, $p=.613$), indicando una sostanziale omogeneità trasversale del fenomeno tra i diversi gradi scolastici.

- Il *Test di McNemar*, infine, ha consentito di analizzare il cambiamento nelle intenzioni dichiarate di utilizzo dell'AI prima e dopo il corso. Il risultato ($\chi^2(3)=20.8$, $p<.001$) segnala una variazione significativa nella distribuzione delle risposte: la quota di docenti propensi a integrare strumenti di AI nella pratica didattica è cresciuta dal 46% al 72%, evidenziando un cambiamento attitudinale positivo e stabile

Nel loro insieme, le analisi inferenziali mostrano che i percorsi formativi hanno prodotto un effetto statisticamente significativo sia sul piano cognitivo (incremento della conoscenza e della familiarità), sia su quello comportamentale (maggiore disponibilità all'uso effettivo dell'AI). Tali evidenze contribuiscono a validare la coerenza interna del modello formativo adottato e la sua efficacia rispetto agli obiettivi di sviluppo dell'*AI Literacy* e della consapevolezza pedagogica promossi dal framework Di.Ver.So.

→ Analisi dei questionari sperimentali (K-12)

Il disegno della micro-sperimentazione presenta una struttura asimmetrica. Nella classe III, utilizzata come gruppo di controllo contestuale, la doppia rilevazione pre-post ha consentito di osservare la stabilità del profilo motivazionale nel corso di una lezione condotta secondo modalità tradizionali. Nella classe V, invece, è stato somministrato esclusivamente un questionario motivazionale finale, riferito all'esperienza didattica mediata dall'AI. Di conseguenza, i dati della classe V non consentono di stimare una variazione intra-soggetto né di formulare un confronto quantitativo diretto con la classe III. Essi assumono una funzione descrittiva, interpretativo-validante ed ecologica: documentano la qualità del coinvolgimento, della curiosità, della collaborazione e dell'utilità percepita in un contesto didattico autentico. Le evidenze dei due gruppi vengono pertanto accostate sul piano pedagogico, senza attribuire le differenze osservate a un effetto causale dell'intervento tecnologico.

b. ANALISI QUALITATIVA

L'analisi qualitativa ha consentito di approfondire la dimensione interpretativa dei dati, facendo emergere i significati che studenti e docenti hanno attribuito all'esperienza di apprendimento mediata dall'AI. Il corpus analizzato era composto dalle risposte aperte dei questionari - finalizzate a raccogliere riflessioni spontanee e percezioni personali -; dalle interviste ai docenti coinvolti nella sperimentazione scolastica K-12 e dalle osservazioni raccolte durante le attività formative in aula. L'integrazione di queste fonti in una lettura ermeneutica unitaria ha permesso di restituire la complessità dei processi di percezione, appropriazione e negoziazione dell'AI nei contesti educativi.

L'analisi è stata condotta attraverso una procedura di *thematic analysis* (Braun & Clarke, 2006), con l'obiettivo di individuare le ricorrenze semantiche e a costruire categorie tematiche coerenti con le dimensioni teoriche del framework Di.Ver.So. L'approccio adottato è stato

induttivo-deduttivo: da un lato, i temi sono emersi in modo esplorativo dai testi e dall'altro sono stati confrontati con le categorie teoriche di riferimento (*motivazione, collaborazione, consapevolezza critica, sostenibilità e agency digitale*) per verificare la loro coerenza concettuale. Dall'analisi tematica è emerso un insieme coerente di nuclei concettuali che riflettono la complessità con cui l'AI viene percepita e vissuta nei contesti scolastici. Un primo nucleo riguarda le rappresentazioni dell'AI, frequentemente descritta come tecnologia ambivalente, in grado da un lato di ampliare le possibilità di esplorazione, creatività e innovazione didattica e dall'altro di generare interrogativi epistemologici e tensioni etiche legate alla responsabilità d'uso, alla dipendenza tecnologica e alla gestione dei dati sensibili. Un secondo nucleo riguarda le pratiche di integrazione dell'AI. I docenti tendono a riconoscerne il supporto alla personalizzazione dell'apprendimento, alla semplificazione dei processi valutativi e alla produzione di materiali didattici, ma al tempo stesso sottolineano la necessità di cornici operative più solide, *policy* scolastiche coerenti e percorsi formativi continuativi che ne orientino un impiego realmente critico e pedagogicamente fondato. Infine, il terzo riguarda i *bisogni formativi e lo sviluppo professionale*. Attraverso le narrazioni dei docenti emergono richieste ricorrenti di formazione specifica sui principi di funzionamento dell'AI, sugli aspetti etici della gestione dei dati e sulle modalità per progettare attività didattiche inclusive e sostenibili. Molti insegnanti interpretano l'AI come un'occasione per ripensare la propria professionalità, coniugando competenze tecniche e riflessione pedagogica.

Le narrazioni emerse sono state successivamente *triangolate con i dati quantitativi*, consentendo di costruire un quadro interpretativo e multilivello. Le convergenze tra le due componenti descrivono, nei diversi contesti formativi, profili caratterizzati da motivazione, curiosità epistemica e percezione di utilità dell'AI. Tali elementi sostengono una lettura interpretativa dell'esperienza, senza consentire, nel caso della classe V, la misurazione di un rafforzamento motivazionale né inferenze causali. Le divergenze, limitate principalmente alla percezione delle difficoltà tecniche o al grado di fiducia nello strumento, non si configurano come resistenze strutturate, ma come indicatori di una fase di transizione professionale.

In sintesi, l'analisi qualitativa ha trasformato le evidenze numeriche in significati pedagogici e processuali, documentando, nei diversi contesti, profili di motivazione situata, collaborazione e consapevolezza critica associati a un uso pedagogicamente mediato dell'AI. Essa costituisce un tassello essenziale della validazione empirica del framework Di.Ver.So., poiché ne conferma la capacità di connettere dimensioni cognitive, emotive e professionali in una visione coerente di apprendimento sostenibile.

c. INTEGRAZIONE E TRIANGOLAZIONE DEI RISULTATI

L'integrazione delle evidenze quantitative e qualitative restituisce una lettura unitaria e contestualizzata del fenomeno, in linea con la logica della triangolazione metodologica

(Denzin, 1978), che privilegia la convergenza interpretativa rispetto alla mera sovrapposizione numerica. Ciò che emerge non è una semplice corrispondenza tra misure e narrazioni, ma un dialogo tra dati oggettivi e prospettive soggettive, capace di illuminare la complessità dei processi educativi attivati dall'uso dell'AI. I risultati mostrano alcune convergenze tra le diverse fonti. Nei docenti in servizio, l'aumento pre-post delle competenze percepite e dell'atteggiamento verso l'AI trova riscontro nelle narrazioni professionali raccolte. Nella micro-sperimentazione scolastica, le risposte degli alunni e le interviste ai docenti descrivono invece profili di curiosità, partecipazione e coinvolgimento. Tali convergenze sostengono una lettura interpretativa dell'esperienza, senza consentire inferenze causali sugli effetti dell'AI nella classe V. Accanto a queste traiettorie comuni, la triangolazione rende tuttavia visibili alcune divergenze interpretative. Le incertezze operative e la cautela tecnologica espresse da una parte dei docenti non assumono la forma di "resistenza", ma indicano piuttosto una fase di transizione, in cui la familiarità strumentale è ancora in consolidamento. Letti alla luce dei dati quantitativi, tali scarti assumono un valore euristico: segnalano aree di sviluppo professionale che richiedono un sostegno formativo mirato e orientano, di conseguenza, la progettazione futura degli interventi. L'impianto di triangolazione metodologica ha integrato le evidenze provenienti da questionari pre-post e questionari finali somministrati agli studenti e ai docenti, risposte aperte e interviste qualitative, nonché da *case study* internazionali (Università di Dublino, EUI e Università di Milano). Tale approccio multilivello ha permesso di consolidare i risultati sui tre complementari piani *metodologico*, attraverso il confronto fra strumenti differenti e la coerenza interna dei dati; *teorico*, verificando l'allineamento tra le evidenze empiriche e i principi del framework Di.Ver.So. ed ecologico, grazie all'osservazione in contesti reali e transnazionali, che confermano la trasferibilità del modello. Nel complesso, l'integrazione dei risultati restituisce un quadro unitario e fondato, in cui l'AI non è trattata come variabile tecnica, ma come costrutto pedagogico complesso, capace di connettere dimensioni cognitive, etiche e professionali.

La triangolazione si configura così come un dispositivo interpretativo di validazione, che rafforza la robustezza metodologica della ricerca e prepara il terreno alle considerazioni critiche del paragrafo successivo.

4.8 Limiti e considerazioni metodologiche

Alla luce delle analisi metodologiche condotte, il percorso delineato nel presente capitolo costituisce non solo la base empirica dell'intera ricerca, ma anche il fondamento su cui si innesta la riflessione sui limiti e sulle potenzialità metodologiche emerse. Ogni ricerca empirica, e in modo ancora più evidente quelle che si collocano in ambiti di studio emergenti come l'AI per l'apprendimento, è inevitabilmente attraversata da vincoli di natura metodologica, epistemologica e interpretativa. In questa prospettiva, la riflessione sui limiti

non costituisce un mero esercizio di cautela, ma rappresenta una componente essenziale del rigore scientifico, consentendo di delineare con chiarezza la portata, le condizioni di validità e i confini interpretativi dei risultati e offrendo al contempo una lettura consapevole e critica dei processi attraverso i quali si è costruita la conoscenza. La presente ricerca, che si fonda su un approccio misto e multilivello, ha cercato di tenere in equilibrio ampiezza e profondità, esplorazione e analisi, raccogliendo dati in contesti diversificati (scolastici, universitari e professionali) e utilizzando strumenti complementari. Tale articolazione, pur arricchendo la prospettiva complessiva, ha reso necessario un continuo bilanciamento tra la complessità del disegno e la coerenza metodologica, tra le possibilità offerte dalla pluralità degli strumenti e la necessità di mantenere un nucleo interpretativo unitario.

a) Limiti relativi al disegno di ricerca

Il primo limite riguarda la natura non probabilistica del campionamento. I partecipanti sono stati selezionati secondo criteri di accessibilità, adesione volontaria e pertinenza rispetto agli obiettivi della ricerca. Questa scelta, pur motivata da ragioni logistiche e dalla volontà di coinvolgere contesti autentici, comporta la difficoltà di estendere i risultati all'intera popolazione docente o studentesca italiana. I dati raccolti vanno dunque interpretati come evidenze contestuali**,** radicate in ambienti formativi reali e significative non tanto per la loro estendibilità statistica, quanto per la loro capacità di restituire un quadro autentico dei processi educativi in trasformazione. Un ulteriore limite è connesso alla disomogeneità dei sottocampioni. La ricerca ha coinvolto infatti studenti della Scuola Primaria, docenti in formazione iniziale e docenti in servizio, appartenenti a discipline e gradi scolastici differenti.

Questa pluralità, se da un lato riduce la comparabilità statistica tra gruppi, dall'altro costituisce un punto di forza euristico, poiché consente di leggere l'impatto dell'AI in prospettiva sistemica, mettendo in relazione i processi di apprendimento con quelli di formazione professionale e innovazione didattica. Il valore di tale eterogeneità non risiede quindi nella possibilità di effettuare confronti quantitativi diretti, ma nella capacità di *ricostruire connessioni e interdipendenze* tra livelli diversi del sistema educativo.

b) Limiti degli strumenti e dei dati raccolti

Sul piano strumentale, la ricerca si è basata prevalentemente su questionari strutturati, validati attraverso un processo di revisione teorica e sperimentale, ma in parte fondati su autovalutazioni soggettive. Una parte rilevante degli indicatori relativi alle competenze digitali e all'AI Literacy deriva, pertanto, da autovalutazioni dei partecipanti e non può essere interpretata come misura oggettiva della competenza effettivamente agita. Il rischio di bias percettivo e di desiderabilità sociale è stato mitigato sul piano interpretativo mediante la triangolazione con le risposte aperte, le interviste qualitative e le osservazioni raccolte nei

contesti formativi. Tali fonti hanno consentito di confrontare le dichiarazioni dei partecipanti con narrazioni, esempi di pratica e rappresentazioni professionali più articolate. In prospettiva, il Piano di Crescita e Innovazione Docente previsto dal framework Di.Ver.So. costituisce un ulteriore dispositivo di contenimento di questa criticità, poiché integra l'autovalutazione con rubriche di competenza, portfolio professionali, documentazione delle attività, feedback e osservazioni tra pari. Il Piano permette così di spostare la rilevazione da una percezione puntuale della competenza a un processo continuativo, documentato e riflessivo di sviluppo professionale. Nel caso delle sperimentazioni scolastiche K-12, il numero limitato di alunni coinvolti non consente inferenze statistiche generalizzabili. Tali dati, però, conservano un valore pedagogico significativo, poiché permettono di descrivere dimensioni motivazionali e cognitive associate alle attività mediate dall'AI, offrendo indicazioni qualitative sul funzionamento del processo didattico. La dimensione qualitativa, costituita da interviste a docenti e analisi narrative, ha fornito una prospettiva complementare, restituendo profondità interpretativa ai dati numerici. Tuttavia, la selezione dei partecipanti alle interviste è stata guidata da criteri di pertinenza e disponibilità, più che da criteri statistici di rappresentatività. Ne consegue che le evidenze emerse dalle narrazioni non possono essere considerate esaustive, ma rappresentative di casi emblematici, capaci di illuminare tendenze e fenomeni rilevanti in chiave interpretativa. Infine, la gestione di dati provenienti da contesti diversi (scuole, corsi universitari, percorsi formativi professionali) ha richiesto un accurato lavoro di armonizzazione, volto a garantire la coerenza dei criteri analitici e la comparabilità tra strumenti. Tale processo, pur accurato, comporta un inevitabile "margine di soggettività" nella classificazione delle variabili e nella lettura dei risultati.

c) Considerazioni sulla validità e sulla trasferibilità

Dal punto di vista epistemologico, la validità della ricerca non risiede tanto nella generalizzazione statistica, quanto nella coerenza interna del disegno metodologico e nella triangolazione dei dati. L'integrazione di analisi quantitative e qualitative, supportata da una documentazione accurata delle procedure, ha permesso di rafforzare la validità ecologica e la robustezza interpretativa dei risultati, in linea con i paradigmi delle *Learning Sciences*, che privilegiano l'osservazione di processi autentici e contestuali. La trasferibilità dei risultati è garantita dalla trasparenza dei criteri di analisi, dalla tracciabilità delle fasi di raccolta e trattamento dei dati e dalla descrizione puntuale dei contesti. Pur non perseguendo una replicabilità sperimentale in senso stretto, la ricerca si propone come modello metodologico replicabile: un riferimento per future indagini che intendano esplorare l'impatto dell'AI nei processi di apprendimento e nella formazione docente, adottando lo stesso impianto triangolato e contestuale.

d) Prospettive di miglioramento metodologico

Il riconoscimento dei limiti dell'indagine non si configura come mera operazione di cautela, ma come dispositivo euristico che consente di individuare traiettorie di sviluppo coerenti con l'impianto epistemologico del lavoro. Le prospettive di miglioramento che emergono non rappresentano semplici aggiustamenti tecnici, bensì naturali estensioni del disegno di ricerca. Un primo ambito riguarda la possibilità di estendere la ricerca in chiave longitudinale, così da monitorare nel tempo l'evoluzione delle competenze di *AI Literacy* e l'eventuale consolidarsi delle pratiche didattiche mediate dall'AI. Un'osservazione continuativa permetterebbe di cogliere non solo variazioni episodiche, ma le trasformazioni profonde che caratterizzano i processi di appropriazione pedagogica della tecnologia. Una seconda direzione di sviluppo riguarda l'integrazione di metodi di osservazione diretta e strumenti di analisi comportamentale, finalizzati a mettere in relazione i dati dichiarativi dei questionari con le evidenze situate emerse dalle dinamiche d'aula. Il confronto tra ciò che i partecipanti dichiarano e ciò che effettivamente agiscono costituirebbe un elemento decisivo per rafforzare la validità ecologica del modello. Un'ulteriore prospettiva concerne l'ampliamento della comparazione internazionale, attraverso l'inclusione di nuovi casi di studio e di contesti culturali eterogenei. Un'estensione cross-culturale consentirebbe di verificare la trasferibilità del framework Di.Ver.So., individuandone le dimensioni universali e quelle dipendenti dai sistemi formativi locali. Nel loro insieme, queste direttrici delineano una concezione della ricerca educativa come processo dinamico e ricorsivo, fondato su cicli di riflessione, validazione e ridefinizione metodologica, in continuità con il paradigma delle Learning Sciences e con la logica evolutiva del framework stesso.

e) Conclusione metodologica

Nel complesso, i limiti individuati non riducono la solidità scientifica del lavoro, ma ne definiscono il perimetro epistemologico e rafforzano la trasparenza del processo di costruzione della conoscenza. La forza del presente studio risiede nella capacità di coniugare rigore empirico e sensibilità pedagogica, superando la tradizionale dicotomia tra dato e significato. Il dialogo costante tra analisi quantitativa e qualitativa ha consentito di sviluppare una lettura complessa del fenomeno educativo, in cui la tecnologia è trattata non come variabile indipendente, ma come dispositivo epistemico capace di ridefinire i processi di apprendimento, collaborazione e riflessione critica.

In questa prospettiva, il framework Di.Ver.So. rappresenta l'esito coerente e naturale dell'intero percorso metodologico, ovvero non un punto di arrivo, ma una cornice evolutiva per progettare curricoli digitali verticali, sostenibili e umanamente centrati.

Il passaggio alla Parte III segna dunque la transizione dalla dimensione empirica a quella progettuale, in cui le evidenze raccolte vengono trasformate in principi pedagogici, architetture formative e strategie curricolari orientate alla sostenibilità cognitiva ed etica.

PARTE III – FRAMEWORK DI.VER.SO: MODELLIZZAZIONE E STRUTTURA CURRICOLARE

Capitolo V

Il Curricolo Digitale Verticale Sostenibile: principi e architettura

Modellizzazione e struttura curricolare

Con la terza parte della ricerca, la ricerca evolve dalla dimensione empirico-validativa a una progettuale e propositiva. Le evidenze raccolte e interpretate nella Parte II vengono qui rielaborate in una forma teorico-applicativa, finalizzata a costruire un modello organico per l'educazione digitale e per l'integrazione dell'Intelligenza Artificiale nei contesti scolastici. È in questo snodo che prende forma il framework Di.Ver.So., esito di un processo di sistematizzazione che trae origine da alcune criticità emerse nella fase empirica come la frammentarietà dei modelli di *AI Literacy*, la discontinuità verticale dei percorsi formativi e la necessità, sempre più evidente, di un equilibrio tra innovazione tecnologica, riflessione pedagogica e sostenibilità educativa. L'obiettivo di questa parte è duplice. Da un lato, delineare l'architettura teorico-curricolare del modello, costruita secondo una visione sistemica e longitudinale dell'educazione digitale, e dall'altro esplicitare i principi pedagogici e le strategie operative che rendono il framework trasferibile nei diversi ordini di scuola. Il framework Di.Ver.So. si configura come un dispositivo di connessione tra i livelli della formazione, capace di tradurre la verticalità del curricolo in un continuum di competenze digitali, etiche e riflessive. In questa prospettiva, l'AI non è considerata un oggetto tecnico da imparare a usare, ma un dispositivo epistemico e relazionale, un ambiente cognitivo in cui si intrecciano conoscenza, responsabilità e cittadinanza. La costruzione del curricolo digitale sostenibile assume così la forma di una pratica educativa complessa, che coinvolge studenti, docenti e istituzioni in un processo di apprendimento collettivo e progressivo.

Il Capitolo V introduce i fondamenti pedagogici e la visione sistemica su cui si basa Di.Ver.So., mettendo in luce la logica verticale che lo sostiene, i suoi moduli costitutivi e la struttura di mappatura che connette competenze, attività e criteri di valutazione.

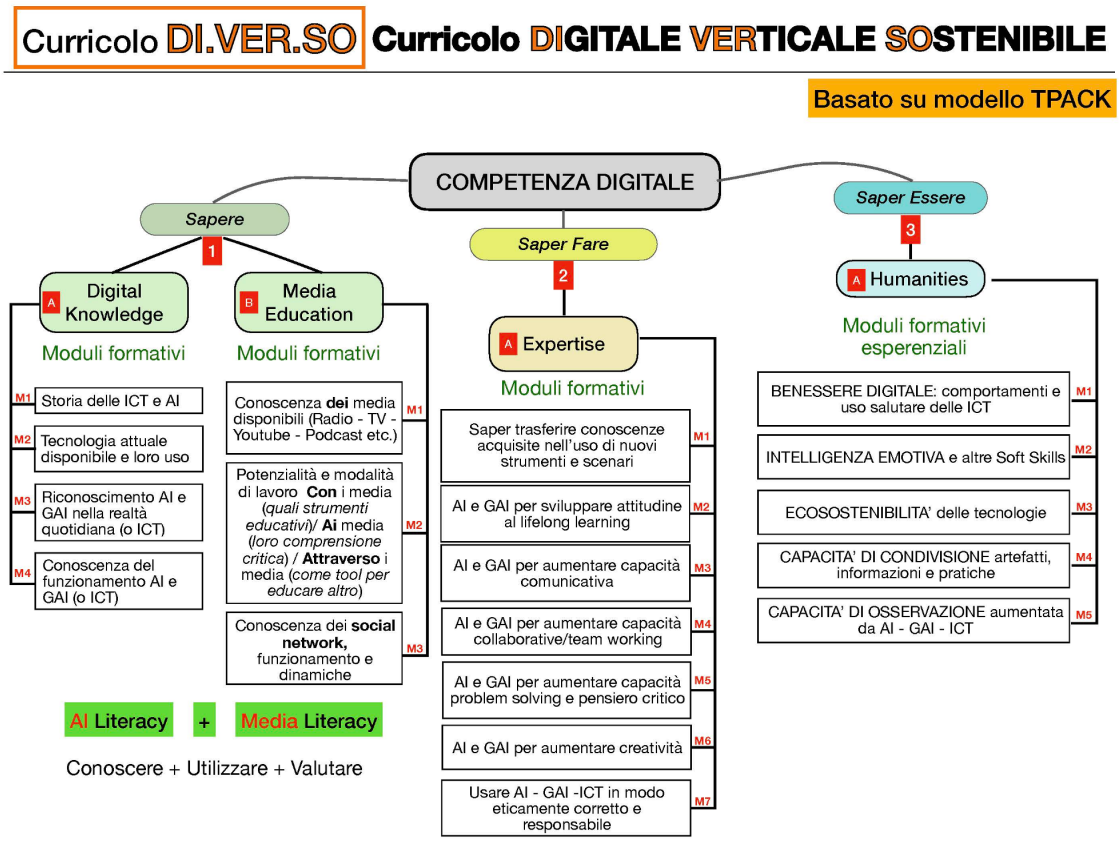


Fig. 3 - Articolazione del framework Di.Ver.So.

5.1 Fondamenti pedagogici e visione sistemica

Il framework Di.Ver.So. (Curricolo Digitale Verticale Sostenibile) nasce dall'esigenza, emersa nel corso della ricerca empirica, di disporre di un modello pedagogico capace di interpretare in chiave formativa la trasformazione innescata dall'AI nei sistemi educativi. Esso non si propone come l'ennesima tassonomia delle competenze digitali, ma come una struttura teorico-curricolare che integra sostenibilità, verticalità e consapevolezza etica entro un impianto sistemico. In questa prospettiva, l'obiettivo è superare la logica degli interventi episodici o tecnocentrici che caratterizzano molte politiche per il digitale, restituendo una visione unitaria dell'educazione nell'ecosistema tecnologico contemporaneo. I principali riferimenti teorici internazionali - dal TPACK (Mishra & Koehler, 2006) al DigCompEdu (Redecker, 2017), fino al Bloom-4AI (Long & Magerko, 2021) - pur costituendo tappe significative nello sviluppo della *AI Literacy*, mostrano limiti strutturali che ne riducono la capacità di incidere sulla trasformazione dei processi formativi. Rimangono, infatti, deboli le dimensioni di continuità verticale, sostenibilità didattica e profondità etica, che risultano cruciali per accompagnare la trasformazione dei processi formativi.

Da questa consapevolezza prende forma Di.Ver.So., che assume la digitalità non come dominio disciplinare separato, ma come orizzonte educativo e culturale entro cui si ridisegna il rapporto tra conoscenza, soggetti e società.

RADICI EPISTEMOLOGICHE

Il modello si colloca nel quadro delle Learning Sciences, che integrano evidenze empiriche e teorie dell'apprendimento, concependolo come processo situato, distribuito e sociale (Bruner, 1996; Greeno, 2006; Sawyer, 2014). In tale paradigma, la tecnologia non è un fine, ma un artefatto culturale di mediazione (Vygotskij, 1978; Pea, 2004), attraverso cui l'individuo amplia la propria capacità cognitiva e simbolica. L'apprendimento diventa così un processo ecologico, dialogico e collaborativo, in cui le conoscenze vengono costruite e trasformate all'interno di contesti di pratica significativi. Di.Ver.So. assume questo impianto epistemologico interpretando l'educazione come un ecosistema aperto, in cui dimensioni cognitive, emotive, sociali e valoriali si intrecciano in modo dinamico. L'introduzione dell'AI è letta non come sostituzione della mediazione umana, ma come opportunità per potenziare riflessività, personalizzazione e consapevolezza critica, orientando l'innovazione tecnologica verso forme di apprendimento profondamente sostenibili sul piano educativo.

PRINCIPI FONDATIVI DEL FRAMEWORK

Su tali basi epistemologiche si innestano i principi fondativi del Curricolo Digitale Verticale Sostenibile, che ne definiscono la coerenza interna e la valenza formativa:

- Continuità verticale

  L'educazione digitale viene concepita come processo evolutivo, coerente con lo sviluppo cognitivo e affettivo dell'alunno lungo l'intero percorso K-12. Tale principio risponde alla necessità di superare la discontinuità che spesso frammenta le esperienze formative, assicurando una progressione graduale nella costruzione delle competenze digitali e di *AI Literacy* (Voogt & Pareja Roblin, 2012).

- Modularità e integrazione trasversale

  Le competenze digitali e di *AI Literacy* non costituiscono ambiti separati, ma si intrecciano con le discipline, favorendo la progettazione di percorsi interdisciplinari. L'interdisciplinarità costituisce la chiave per una comprensione critica della tecnologia, evitando derive strumentalistiche e favorendo una prospettiva di *digital wisdom* (Prensky, 2012). La modularità consente di adattare il framework ai diversi contesti, promuovendo una didattica flessibile e scalabile, coerente con il principio di *adaptive learning* (Laurillard, 2012).

- Sostenibilità didattica

  L'innovazione educativa è considerata sostenibile solo quando garantisce equilibrio tra cambiamento e benessere, tra complessità cognitiva e accessibilità formativa. La sostenibilità didattica si traduce nella capacità del sistema scuola di integrare la tecnologia senza produrre sovraccarichi cognitivi o forme di esclusione (OECD, 2021), favorendo una cultura digitale orientata alla cura e alla durata.
- Etica e responsabilità sociale

  L'AI solleva questioni epistemologiche, etiche e politiche che richiedono consapevolezza formativa. Di.Ver.So. assume la responsabilità digitale come dimensione trasversale del curricolo, promuovendo nei docenti e negli studenti la capacità di agire con discernimento, rispetto e trasparenza (Floridi, 2019; UNESCO, 2023).

FINALITÀ EDUCATIVE

Le finalità educative del framework Di.Ver.So. si articolano lungo tre assi concettuali interdipendenti - *AI Literacy* critica, responsabilità etica e cittadinanza digitale attiva - che costituiscono l'ossatura di una formazione orientata alla sostenibilità cognitiva e sociale dell'innovazione tecnologica. In primo luogo, l'*AI Literacy* critica non si limita alla padronanza operativa degli strumenti digitali, ma si fonda sulla comprensione dei principi epistemici e dei processi cognitivi sottesi all'AI. Essa implica la capacità di decodificare le logiche algoritmiche, riconoscere i limiti dell'automazione e distinguere tra uso strumentale e appropriazione riflessiva della tecnologia. In tal senso, l'alfabetizzazione all'AI assume una valenza formativa complessa perché non consiste nel "saper usare", ma nel saper pensare con e saper pensare sull'AI, in una prospettiva metacognitiva e trasformativa (Ng, 2021). Il secondo asse, la responsabilità etica, si radica nella consapevolezza che ogni processo educativo mediato dall'AI è anche un atto politico e valoriale. Educare alla tecnologia significa educare al discernimento, alla cura dei dati, alla giustizia cognitiva e all'equità dell'accesso al sapere. In questa direzione, Di.Ver.So. assume l'etica non come appendice regolativa, ma come principio generativo del curricolo, capace di orientare scelte didattiche, pratiche valutative e forme di competenza digitale intese come responsabilità epistemica (Floridi, 2019; UNESCO, 2023). La terza direttrice, la cittadinanza digitale attiva, rappresenta l'esito educativo e sociale di questo impianto. Essa non si limita alla partecipazione consapevole negli ambienti online, ma implica la capacità di esercitare agency, giudizio critico e cooperazione all'interno di ecosistemi informazionali complessi. In linea con le *Key Competences for Lifelong Learning* (European Council, 2018), Di.Ver.So. interpreta la cittadinanza digitale come pratica di co-costruzione del sapere, nella quale dimensione collaborativa e riflessiva convergono nella creazione di spazi cognitivi condivisi e responsabili.

Nel loro insieme, questi tre assi delineano una concezione dell'educazione digitale che trascende il semplice aggiornamento tecnico, configurandosi come processo di emancipazione cognitiva e culturale. Di.Ver.So. si propone quindi come dispositivo formativo e culturale volto alla costruzione di comunità di apprendimento fondate su riflessività, cooperazione e sostenibilità, nelle quali l'AI diviene occasione per ripensare le forme del sapere e le condizioni del suo esercizio umano.

INNOVATIVITÀ E VALORE AGGIUNTO DEL MODELLO

L'innovatività del framework Di.Ver.So. risiede nella sua capacità di integrare e superare i limiti dei modelli precedenti, coniugando rigore teorico e applicabilità curricolare. Rispetto a DigCompEdu, che mantiene una struttura orizzontale e centrata sulle competenze professionali del docente, Di.Ver.So. introduce la dimensione verticale, garantendo la progressione e la continuità educativa lungo l'intero percorso scolastico. In rapporto al modello TPACK, esso amplia la triade tecnologia-pedagogia-contenuti, includendo la sostenibilità formativa, il benessere digitale e le soft skills come dimensioni costitutive del curricolo. Infine, rispetto alle tassonomie per l'AI in educazione come Bloom-4AI, il framework non si limita a classificare i livelli di competenza, ma li traduce in percorsi di apprendimento situato, capaci di sostenere la crescita cognitiva ed etica degli studenti.

SINTESI DELLA VISIONE PEDAGOGICA

In sintesi, il framework propone una visione dell'educazione digitale come pratica culturale e relazionale, fondata sull'idea che la tecnologia non vada semplicemente appresa, ma abitata criticamente. La sua struttura modulare e progressiva consente di progettare percorsi coerenti, inclusivi e scalabili, orientando la trasformazione della scuola non verso la mera digitalizzazione, ma verso un rinnovamento epistemico fondato su senso, responsabilità e consapevolezza.

5.2 Articolazione moduli: *Digital Knowledge, Media Education, Expertise, Humanities*

La logica modulare rappresenta il principio architettonico del framework Di.Ver.So., traducendo i suoi fondamenti pedagogici in una struttura operativa flessibile e progressiva. Più che una sequenza lineare di competenze, il modello configura un ecosistema curricolare fondato sulla connessione tra domini cognitivi e formativi complementari. In questa prospettiva, la modularità non produce frammentazione, ma agisce come dispositivo di coerenza, consentendo di adattare i percorsi ai diversi ordini scolastici garantendo continuità verticale, solidità epistemologica e sostenibilità educativa.

L'articolazione modulare di Di.Ver.So. è organizzata attorno a quattro dimensioni fondative e interdipendenti: *Digital Knowledge - Media Education - Expertise - Humanities*. Ciascun modulo rappresenta una soglia di competenza e, al tempo stesso, una prospettiva di sviluppo che attraversa l'intero percorso formativo K-12. La loro progressione riflette il principio di *spiral curriculum* (Bruner, 1960), secondo cui i saperi si costruiscono per approssimazioni successive, ritornando su concetti chiave con crescente complessità cognitiva e autonomia critica.

Ogni modulo include cinque integrazioni:

1. Competenze da sviluppare negli studenti per ogni livello scolastico.
2. Attività didattiche suggerite, con i dettagli specifici per ciascun ordine di scuola.
3. Competenze specifiche per i docenti: cosa devono sapere e saper fare per poter guidare queste attività.
4. Modalità di valutazione: necessarie per valutare di procedere con il grado superiore o rinforzare l'esistente.
5. Integrazioni disciplinari.

Al framework verranno allegate anche UDA più dettagliate rispetto alle attività indicate per avere esempio tangibile di programmazione integrata dalle tecnologie.

Andrà collegato anche uno *spazio web* dove verranno date informazioni aggiornate per la formazione professionale (portali, progetti, attività formative in corso etc.) e sarà presente una sezione dedicata ai tool con tutorial e schede di esempio per i loro uso.

Lo stesso dovrà fungere da *repository* di buone pratiche e community di docenti per un confronto costante.



Fig.4 - Elementi costituenti il framework

All'interno del framework è previsto anche un Piano di crescita e innovazione docente, concepito come dispositivo riflessivo e dinamico che accompagna l'evoluzione professionale dell'insegnante. Il piano si struttura come un percorso di autovalutazione continua, nel quale il docente è guidato a monitorare le proprie competenze, documentare le esperienze didattiche, raccogliere feedback e definire obiettivi di sviluppo realistici e progressivi. Gli strumenti che lo compongono (*rubriche di competenza, diari di riflessione, osservazioni tra pari, portfolio professionale, indicatori di innovazione metodologica e revisione annuale*) non rispondono a una logica meramente amministrativa, ma configurano un ecosistema di pratiche riflessive volto a sostenere *agency*, consapevolezza e crescita. In questa prospettiva, il Piano di Crescita diventa parte integrante del curricolo professionale, un ambiente di apprendimento continuo che favorisce la maturazione di competenze critiche. etiche e metodologiche, in coerenza con la visione sostenibile del framework Di.Ver.So.

PIANO CRESCITA E INNOVAZIONE DOCENTI

Esempio di Struttura del Modulo di Auto-valutazione e Piano di Crescita

Sezione	Dettagli e Strumenti
Competenze	Lista di competenze con rubriche di valutazione per ogni livello (base, intermedio, avanzato).
Diario di riflessione	Spazio per annotare esperienze, difficoltà e strategie di miglioramento.
Osservazioni tra pari	Checklist per osservazioni tra colleghi e feedback reciproco.
Portfolio professionale	Raccolta di attività, esempi di progetti, feedback degli studenti.
Obiettivi formativi	Obiettivi specifici e strategie per raggiungerli, con aggiornamenti periodici.
Feedback studenti	Strumenti per raccogliere feedback dagli studenti (sondaggi, domande aperte).
Innovazione didattica	Spazio per riflessioni sull'uso di nuove tecnologie/metodologie e loro impatto in classe.
Community e Mentoring	Suggerimenti di gruppi di supporto, mentori, o community per la crescita continua.
Revisione annuale	Revisione degli obiettivi raggiunti, analisi dei progressi e pianificazione per il prossimo anno.

Fig. 5 - Struttura del Piano di Crescita e Innovazione docenti

Sfera del "SAPERE" *: DIGITAL KNOWLEDGE + MEDIA EDUCATION*

→ Digital Knowledge: la competenza tecnica come base culturale

Il modulo **Digital Knowledge** fornisce le basi teoriche e pratiche dell'alfabetizzazione digitale, includendo la storia delle ICT e dell'AI, la conoscenza delle tecnologie disponibili e il loro uso consapevole. Esso costituisce la base cognitiva del framework e si fonda sulla padronanza consapevole degli strumenti digitali, delle logiche algoritmiche e dei principi di funzionamento dell'AI.

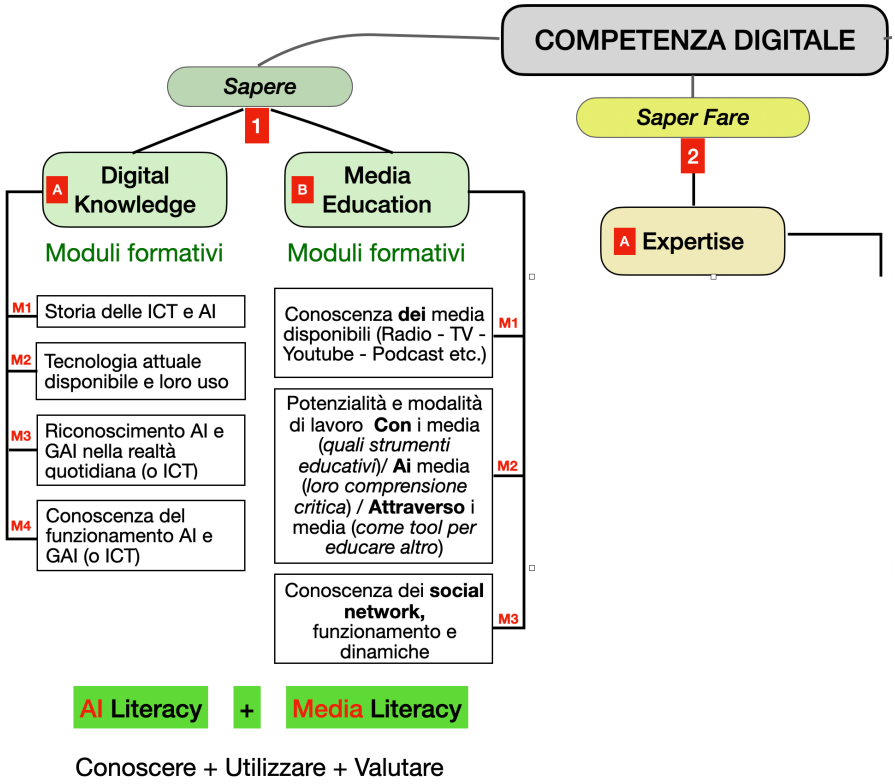


Fig.6 - Struttura della sezione "SAPERE"

Questa dimensione, coerente con la "*technological knowledge*" del modello TPACK (Mishra & Koehler, 2006), non coincide con l'acquisizione di abilità operative, ma con lo sviluppo di una *digital awareness* che permetta di interpretare criticamente i meccanismi di rappresentazione, automazione e interazione delle tecnologie.

L'obiettivo è formare utenti e produttori di conoscenza in grado di comprendere la tecnologia come sistema simbolico e culturale, piuttosto che come semplice infrastruttura funzionale. In questa direzione, il modulo rappresenta la condizione di accesso *all'alfabetizzazione algoritmica* e al *pensiero computazionale riflessivo*, indispensabili per l'esercizio di una cittadinanza digitale competente e consapevole.

INTEGRAZIONI AL MODULO

Competenze attese	Familiarizzazione con hardware e software, comprensione dei principi di funzionamento dell'AI e delle applicazioni generative, sicurezza informatica di base.
Attività didattiche	Dalla scoperta guidata degli strumenti digitali nella primaria, alla comprensione dei concetti di algoritmo e privacy nella secondaria di I grado, fino all'analisi dei sistemi di AI e del loro impatto sociale nella secondaria di II grado.
Competenze TPACK per i docenti	Conoscenza delle tecnologie di base, metodologie di insegnamento attivo, e capacità di collegare i contenuti disciplinari all'uso delle ICT.
Valutazione	Quiz e prove pratiche, diari di apprendimento, *checklist* di sicurezza digitale.
Integrazioni disciplinari	Scienze (uso dei sensori), educazione civica (diritti digitali), matematica (logica algoritmica).

→ Media Education: dalla fruizione critica alla produzione consapevole

Il secondo modulo, ***Media Education***, amplia la dimensione cognitiva della competenza digitale integrando gli aspetti comunicativi, semiotici e socioculturali dell'ecosistema informativo contemporaneo. Esso prevede la conoscenza del mondo mediatico, le potenzialità di lavoro con i media, attraverso i media e sui media, conoscenza del mondo social. L'educazione ai media - intesa nel solco di Buckingham (2003) e Rivoltella (2012) - viene assunta come ambito di formazione alla comprensione e alla produzione dei linguaggi digitali. Essa implica la capacità di riconoscere le logiche di costruzione della realtà mediale, di decodificare le strategie persuasive e di partecipare attivamente alla costruzione di contenuti, in una prospettiva etica e responsabile. All'interno del framework, *Media Education* assume un ruolo strategico: da un lato sviluppa la consapevolezza critica verso le fonti e la disinformazione mentre dall'altro, stimola la creatività e la collaborazione, favorendo pratiche di comunicazione autentica e intergenerazionale. Questa dimensione costituisce il ponte tra il sapere digitale e la riflessione socioculturale sull'AI come forma di mediazione cognitiva collettiva. Il modulo *Media Education* affronta le competenze critiche legate ai linguaggi digitali e alla cittadinanza mediale.

INTEGRAZIONI AL MODULO

Competenze attese	Capacità di decodificare e produrre contenuti multimediali, riconoscere bias informativi, valutare l'affidabilità delle fonti.
Attività didattiche	Simulazioni di social network cartacei per la primaria, analisi delle *fake news* e ricerca delle fonti nella Secondaria di I grado, studio delle dinamiche di influenza dei media e dei social nella Secondaria di II grado.
Competenze TPACK per i docenti	Padronanza degli strumenti di comunicazione digitale, conoscenza delle dinamiche psicologiche e sociali dei media, utilizzo di metodologie come *Debate* e *Problem Based Learning*.
Valutazione	Relazioni critiche, analisi di campagne comunicative, autovalutazione tramite diari digitali.
Integrazioni disciplinari	Lettere (analisi linguistica dei messaggi social), educazione civica (fake news e diritti), geografia (trend di ricerca locali), arte e musica (creazione di meme educativi). Illustrazione dei Tool.

Sfera del "SAPER FARE" : *EXPERTISE*

→ *Expertise*: la competenza applicativa e progettuale

Il modulo ***Expertise*** rappresenta la fase di consolidamento e trasferimento operativo delle competenze digitali, e si concentra sullo sviluppo di capacità progettuali, creative e metacognitive.

Qui la tecnologia è intesa come *environment for learning*, non come semplice risorsa.

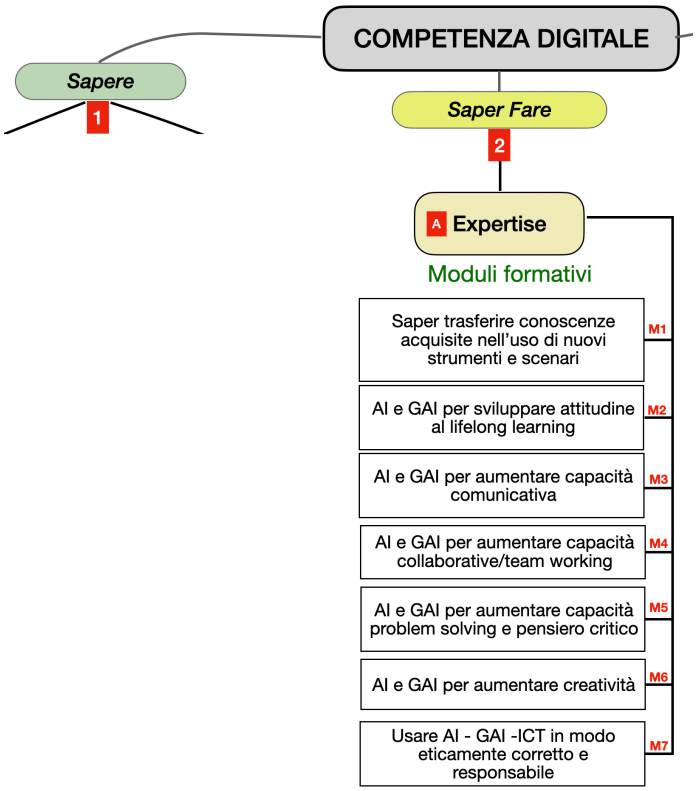


Fig. 7 -Struttura della sezione "SAPER FARE"

L'attività didattica mira a promuovere un apprendimento per problemi (*problem-based learning*) e per progetti (*project-based learning*), incoraggiando l'uso dell'AI come partner cognitivo nella produzione di artefatti digitali, modelli e simulazioni. In questo contesto, l'AI diviene un mezzo per esercitare autonomia, pensiero critico e collaborazione, potenziando la capacità di pianificare, valutare e migliorare i propri processi cognitivi. Il modulo *Expertise* si collega così direttamente alla dimensione di "*pedagogical knowledge*" del TPACK, poiché consente ai docenti di integrare la riflessione pedagogica con la competenza tecnica e progettuale, generando esperienze di apprendimento autentiche e significative. Il modulo *Expertise* rappresenta il livello più avanzato, dedicato all'uso creativo e progettuale dell'AI e delle ICT.

INTEGRAZIONI AL MODULO

Competenze attese	Pensiero computazionale, capacità di *problem solving* complesso, creatività digitale, uso collaborativo e comunicativo dell'AI.
Attività didattiche	Coding unplugged e robotica educativa per la Primaria, creazione di progetti digitali interdisciplinari con strumenti di AI nella Secondaria di I grado, uso di piattaforme di *machine learning* e simulazioni immersive nella Secondaria di II grado.
Competenze TPACK per i docenti	Conoscenze tecniche avanzate, metodologie progettuali e cooperative, connessione con contenuti disciplinari STEM e umanistici.
Valutazione	Portfolio digitale, rubriche di competenza, autovalutazioni guidate, prove pratiche di *problem solving*.
Integrazioni disciplinari	Scienze (simulazioni di fenomeni naturali con AI), matematica (modelli predittivi), storia (ricostruzioni digitali), arte (progetti creativi con la GAI).

Sfera del "SAPER ESSERE" : HUMANITIES

→ *Humanities*: l'etica come architettura del sapere digitale

Il modulo ***Humanities*** rappresenta la dimensione valoriale e riflessiva del framework, ovvero il luogo in cui prende forma la sua sostenibilità etica e culturale.

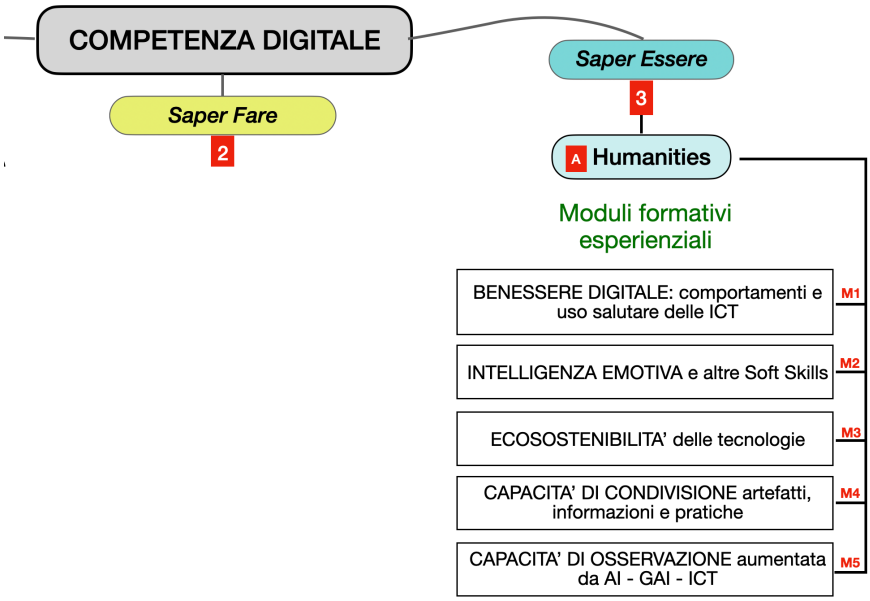


Fig. 8 -Struttura della sezione "SAPER ESSERE"

L'educazione all'AI richiede infatti un radicamento umanistico profondo, capace di orientare l'innovazione tecnologica attraverso il pensiero critico, la consapevolezza dei limiti epistemologici e l'attenzione alle ricadute sociali dell'automazione. Di.Ver.So. si inserisce in continuità con la tradizione delle *Digital Humanities (*Berry & Fagerjord, 2017), riconoscendo che l'incontro tra sensibilità umanistica e competenze digitali non costituisce un'aggiunta marginale, ma un elemento generativo che permette di interpretare l'AI come fenomeno culturale prima ancora che tecnico. All'interno di questa cornice, il modulo svolge una funzione di orientamento metariflessivo, aiutando a problematizzare la dimensione morale, estetica e sociale dell'innovazione, a interrogare gli equilibri di equità e inclusione e a costruire una responsabilità epistemica che accompagna l'uso consapevole dell'AI. Il riferimento alle *Humanities* permette quindi di rileggere il digitale non solo come insieme di strumenti, ma come ambiente di significati che richiede cura, giudizio e capacità di discernimento. Esso diviene così il punto di convergenza degli altri moduli, poiché ne assicura la coerenza valoriale e sostiene la formazione di cittadini capaci di abitare lo spazio digitale con maturità critica. È in questo snodo che il framework ritrova la propria vocazione "sostenibile", intesa come equilibrio tra innovazione tecnologica, riflessività pedagogica e responsabilità culturale.

INTEGRAZIONI AL MODULO

Competenze attese	Riflessione critica sull'impatto delle tecnologie, consapevolezza etica, responsabilità digitale, sviluppo di soft skills e intelligenza emotiva.
Attività didattiche	Giochi di ruolo sul benessere digitale per la primaria, discussioni su ecosostenibilità tecnologica e diritti digitali nella secondaria di I grado, analisi critica del ciclo di vita delle tecnologie e delle implicazioni sociali dell'AI nella secondaria di II grado.
Competenze TPACK per i docenti	Conoscenza delle implicazioni sociali e ambientali delle tecnologie, capacità di facilitare discussioni interdisciplinari, uso di metodologie partecipative.
Valutazione	Rubriche etico-critiche, dibattiti valutati, campagne di sensibilizzazione, progetti cross-disciplinari.
Integrazioni disciplinari	Educazione civica (sostenibilità digitale), scienze (carbon footprint delle tecnologie), geografia (aree di estrazione risorse), educazione alla salute (benessere digitale).

Coerenza sistemica e interconnessione dei moduli

Sebbene distinti sul piano teorico, i quattro moduli non operano come elementi separati, ma come parti interdipendenti di un unico ecosistema curricolare. La loro integrazione riflette la visione sistemica del framework, secondo cui l'apprendimento si sviluppa come processo ricorsivo e distribuito, capace di attraversare discipline, linguaggi e livelli scolastici. In questa logica, ogni modulo entra in relazione con gli altri generando una forma di "risonanza pedagogica": la *Conoscenza digitale* alimenta la riflessione etica; la *Media Education* sostiene il pensiero critico e la creatività; l'*Expertise* traduce teoria e consapevolezza in pratiche significative e le *Humanities* ne consolidano il fondamento culturale e valoriale. Il risultato è un curricolo non lineare, ma reticolare, orientato alla formazione di un pensiero complesso e interdipendente, in cui l'AI assume simultaneamente il ruolo di oggetto, strumento e contesto dell'apprendimento. L'articolazione modulare del framework Di.Ver.So. consente così di preservare l'unità nella diversità, rendendo il modello adattabile ai diversi ordini scolastici e coerente con la verticalità del percorso formativo. Nel suo insieme, questa architettura sostiene una *literacy* digitale integrale (tecnica, cognitiva, etica e umanistica) e promuove una rinnovata alleanza tra scuola, tecnologia e cultura. L'educazione all'AI si configura pertanto come pratica di cittadinanza riflessiva e come dispositivo per un autentico sviluppo sostenibile del pensiero.

5.3 Verticalità per ordini di scuola

CORNICE TEORICO–METODOLOGICA DELLA VERTICALITÀ

La verticalità, principio cardine del framework Di.Ver.So., interpreta l'educazione digitale come un processo evolutivo continuo, non come la somma di interventi isolati. Essa funge da struttura epistemica dell'intero curricolo, garantendo coerenza tra i livelli scolastici attraverso la rielaborazione ricorsiva di saperi, competenze e atteggiamenti.

In sintonia con il paradigma delle *Learning Progressions* (Corcoran, Mosher & Rogat, 2009), la conoscenza si sviluppa per passaggi graduali che integrano dimensioni cognitive, affettive e sociali, sedimentandosi e trasformandosi nel tempo. Nel framework, questa continuità è sostenuta da un'architettura modulare dinamica che si adatta agli stadi di sviluppo senza interrompere la linearità della crescita formativa. Ne deriva un percorso cumulativo di *literacy digitale* e intellettuale in cui le componenti tecniche, etiche e riflessive si stratificano in modo progressivo e armonico. La verticalità assicura così l'integrazione stabile tra sapere, saper fare e saper essere, articolandosi nei quattro moduli *Digital Knowledge, Media Education, Expertise* e *Humanities*. La progressione assume una forma spiraliforme: ogni ciclo riprende e approfondisce nuclei concettuali e pratiche, orientando *l'AI Literacy* verso esiti formativi di crescente complessità cognitiva, etica e sociale. Le sezioni che seguono traducono questa cornice in pratiche didattiche specifiche per i tre ordini scolastici.

STRUTTURA PER ORDINI SCOLASTICI

Scuola Primaria

Il framework avvia un'alfabetizzazione digitale elementare e consapevole, trattando la tecnologia come ambiente simbolico e comunicativo della quotidianità infantile. Il curricolo privilegia attività concrete, ludiche e cooperative (gioco, narrazione, *problem solving* guidato) che, in contesti situati di manipolazione e sperimentazione ICT, promuovono la familiarizzazione con strumenti e linguaggi e l'esplorazione delle prime logiche dell'AI. Fin dall'inizio vengono introdotti concetti di sicurezza e privacy con norme d'uso responsabile dei *device*; si coltivano competenze socio-emotive tramite pratiche narrative e visive e - in forma embrionale - prende avvio la dimensione critica (*decodifica di messaggi semplici, distinzione tra realtà e rappresentazione*). L'apprendimento digitale è inteso come costruzione di significato, in cui l'appropriazione delle tecnologie coincide con la scoperta di sé come soggetti attivi e responsabili.

Scuola Secondaria di I grado

In continuità con la fase esperienziale, il percorso assume una fisionomia più analitica e riflessiva, orientata allo sviluppo di competenze critiche e collaborative. Le tecnologie vengono affrontate come oggetti culturali, indagandone logiche di funzionamento, implicazioni etiche e ricadute socio-cognitive. L'introduzione sistematica alla *Media literacy* e all'AI offre agli studenti l'occasione di esplorare le dinamiche dei media digitali, dei social network e delle piattaforme interattive, imparando a riconoscere bias, stereotipi e strategie persuasive. La *Media literacy*, in questa prospettiva, diventa pratica di partecipazione responsabile, che intreccia analisi, espressione e assunzione di responsabilità all'interno dell'ecosistema comunicativo contemporaneo.

Le metodologie attive (*debate, problem-based learning, learning by doing*) favoriscono negoziazione di significati, argomentazione e cooperazione, trasformando l'aula in uno spazio discorsivo e laboratoriale. La tecnologia assume la duplice funzione di oggetto di indagine epistemologica e strumento di mediazione sociale, permettendo agli studenti di apprendere sia "attraverso" sia "sul" digitale. L'introduzione del pensiero computazionale e delle prime esperienze di *coding* consolida un linguaggio logico-creativo utile al *problem solving* complesso, mentre le attività progettuali di gruppo potenziano competenze trasversali quali comunicazione, pianificazione e responsabilità condivisa. Questa fase rappresenta un punto di svolta nella verticalità del framework: la curiosità esplorativa acquisita nella Scuola Primaria evolve in discernimento argomentato e in una prima forma di cittadinanza digitale consapevole, preparando il terreno alla successiva maturazione etica, interdisciplinare e progettuale della Scuola Secondaria di II grado.

Scuola Secondaria di II grado

Il percorso giunge alla sua fase di *maturazione cognitiva e progettuale*. Le competenze digitali assumono una configurazione critica, riflessiva e interdisciplinare, integrando padronanza tecnica e consapevolezza etico-sociale delle implicazioni dell'AI. Quest'ultima diventa allo stesso tempo oggetto di analisi, strumento di ricerca e contesto di innovazione didattica, mentre si consolidano competenze progettuali avanzate e la capacità di utilizzare strumenti complessi.

Il curricolo prevede attività ad elevato valore formativo (laboratori di *machine learning* semplificato, simulazioni, applicazioni creative, percorsi di ricerca) finalizzate a promuovere un uso consapevole, creativo e critico dell'AI. La *riflessione metacognitiva* si concentra sui processi decisionali automatizzati e sugli algoritmi, analizzandone impatti sociali, economici e ambientali. In questa fase assume particolare rilievo la *sostenibilità digitale*, affrontata nelle sue dimensioni energetiche, di equità algoritmica e di benessere personale e collettivo, in connessione con gli ambiti umanistici, economici e scientifici. Attraverso progetti integrati che coinvolgono scienze, arte, filosofia, economia e comunicazione, gli studenti consolidano la propria identità cognitiva all'interno di contesti autenticamente interdisciplinari e sviluppano una forma matura di cittadinanza epistemica, intesa come capacità di comprendere, valutare e contribuire alla costruzione del sapere nell'era dell'AI.

Il docente assume il ruolo di designer di esperienze, promotore di riflessione critica e facilitatore dell'autonomia, accompagnando gli studenti verso pratiche di apprendimento sempre più autodeterminate e consapevoli.



Fig.9 - Framework Di.Ver.So.: progressione per ordini scolastici

REGIA DIDATTICA E CORNICE TPACK

L'intero impianto riconosce il docente come mediatore cognitivo e affettivo lungo tutte le fasi del percorso e si colloca nella cornice TPACK, integrando in modo equilibrato le dimensioni tecnologica, pedagogica e disciplinare. In questa prospettiva, l'*AI Literacy* si configura come competenza civica e intellettuale, capace di connettere innovazione, etica e consapevolezza sociale. La verticalità non definisce soltanto che cosa si apprende, ma come: appropriazione attiva, negoziazione di significati e riflessione collettiva, in coerenza con i principi costruttivisti e socioculturali. Il framework accompagna progressivamente lo studente dalla semplice familiarizzazione con le tecnologie alla loro comprensione critica e creativa, sostenendo un percorso di maturazione epistemica e di responsabilità digitale.

Tabella 2: Struttura modulare del framework Di.Ver.So. con integrazione TPACK

Modulo del framework	Competenze generali	Attività didattiche	Competenze docenti (TPACK) TK=Technological Knowledge PK = Pedagogical Knowledge CK = Content Knowledge	Valutazione e integrazioni disciplinari
Digital Knowledge	Alfabetizzazione digitale Algoritmi di base Sicurezza online	▪ Scoperta strumenti digitali (Primaria) ▪ Comprensione concetti di algoritmo e privacy ▪ (Sec. I) ▪ Analisi sistemi AI e impatto sociale ▪ (Sec. II)	TK=uso strumenti ICT PK= didattica attiva CK= legame con contenuti disciplinari	Quiz e prove pratiche - Diari di apprendimento - Checklist di sicurezza Integrazioni: *scienze, ed.civica, matematica*

Media Education	Decodifica e produzione di contenuti Valutazione fonti Cittadinanza digitale	▪ Simulazioni social (Primaria) ▪ Analisi *fake news* (Sec. I) ▪ Studio dinamiche social e influenza mediatica ▪ (Sec. II)	TK= strumenti comunicativi digitali PK= *debate* - PBL CK=dinamiche psicologiche e sociali dei media	Relazioni critiche Analisi campagne comunicative - Diari digitali Integrazioni: *lettere, ed.civica, geografia, arte e musica*
Expertise	Pensiero computazionale *Problem solving* complesso Creatività digitale Uso collaborativo dell'AI	▪ Coding *unplugged* e robotica (Primaria) ▪ Progetti interdisciplinari con AI (Sec. I) ▪ *Machine Learning* e simulazioni immersive ▪ (Sec. II)	TK= competenze tecniche avanzate PK= metodologie progettuali e cooperative CK= connessioni STEM-umanistiche	Portfolio digitale Rubriche di competenza - prove pratiche Integrazioni: *scienze, matematica, storia, arte*
Humanities	Consapevolezza etica Responsabilità digitale Soft skills Benessere digitale	▪ Giochi di ruolo sul benessere (Primaria) ▪ Ecosostenibilità e diritti digitali (Sec. I) ▪ Analisi critica ciclo di vita tecnologie e AI (Sec. II)	TK=implicazioni socio-ambientali ICT PK = metodologie partecipative CK= connessioni educazione civica, filosofia, scienze sociali	Dibattiti valutati Rubriche etico/critiche - Campagne di sensibilizzazione Integrazioni: *ed.civica, scienze, geografia, educazione alla salute*

5.4 Mappatura delle competenze e integrazione curricolare in chiave verticale

Nel framework Di.Ver.So. la mappatura non rappresenta un semplice supporto procedurale, ma costituisce l'asse metodologico che *rende concreta la verticalità*. In assenza di una chiara corrispondenza tra ciò che il curricolo intende promuovere e le modalità attraverso cui tale sviluppo diventa osservabile, la progressione rischierebbe di restare una dichiarazione di principio. L'operazione di mappatura interviene proprio per evitare questo scarto, perché consente di trasformare costrutti formativi complessi in pratiche riconoscibili e in strumenti di documentazione che permettono di verificare nel tempo continuità, ricorsività e sostenibilità.

L'intero impianto si fonda su un equilibrio interno che collega dimensioni cognitive, metacognitive e valoriali. Ogni asse viene tradotto in compiti autentici, dall'unità interdisciplinare al laboratorio digitale, dal *project based learning* alle simulazioni, e in criteri condivisi di giudizio che comprendono rubriche di competenza, portfolio, diari riflessivi e forme partecipate di valutazione. La progettazione assume così una forma procedurale: l'obiettivo conduce al compito, il compito genera indicatori osservabili, gli indicatori alimentano un circuito di feedback che accompagna la revisione dei percorsi. La valutazione non opera più come certificazione conclusiva ma come un processo che sostiene la ciclicità tipica della verticalità.

La mappatura permette anche di assicurare "trasferibilità" tra contesti diversi. L'adozione di indicatori comuni costituisce un insieme di invarianti che rendono comparabili percorsi realizzati in scuole e ordini differenti senza appiattire la specificità delle singole realtà. Da una prospettiva di ricerca, questo assetto offre un protocollo di rilevazione delle progressioni che si accorda con la logica delle *Learning Progressions*, poiché la crescita non viene presupposta, ma documentata attraverso un tracciamento continuo delle evidenze.

Un altro elemento riguarda l' "integrazione dei saperi". Digitale e AI agiscono come principi organizzatori che mettono in relazione ambiti disciplinari apparentemente lontani. Nelle scienze favoriscono attività di modellizzazione e analisi dei dati, nelle discipline letterarie incoraggiano un lavoro critico sui linguaggi e sulle retoriche del digitale, nell'educazione civica aprono la riflessione su implicazioni etiche, giuridiche e sociali, nelle arti sollecitano una lettura estetica delle produzioni algoritmiche. La mappatura consente di rendere tali intersezioni strutturali, evitando che si riducano a episodi sporadici, e le collega in modo stabile a compiti significativi e a criteri di valutazione trasparenti.

Nel suo insieme la mappatura è indispensabile perché rende verificabili i principi della verticalità, è funzionale alla progettazione perché ordina la sequenza che lega obiettivi, attività, evidenze e feedback, ed è trasferibile perché poggia su invarianti valutative che possono essere adattate in contesti diversi senza compromettere la coerenza del modello. In questo quadro, l'*AI Literacy* assume un valore formativo pieno e non riducibile a un addestramento tecnico. Diventa una pratica documentata e riflessiva, in grado di sostenere decisioni didattiche consapevoli e di promuovere forme solide di cittadinanza critica.

MATRICE DI CORRISPONDENZA

La matrice si fonda su tre assi che sostengono la coerenza interna del framework e ne consentono l'operatività.

a. Competenze chiave

   Sono intese come costrutti trasversali di ordine cognitivo, metacognitivo e valoriale, pensiero critico, creatività, collaborazione, *problem solving*, responsabilità etica, consapevolezza socio-tecnologica/AI. Tali dimensioni non costituiscono ambiti separati, ma evolvono in modo progressivo e spiraliforme lungo la verticalità, fino ad assumere una configurazione sistemica.

b. Attività didattiche autentiche

   Rappresentano i contesti di manifestazione delle competenze come unità interdisciplinari, laboratori digitali, *project-based learning*, simulazioni. Ogni attività è progettata come spazio di interazione riflessiva tra contenuti disciplinari e processi cognitivi, così da sostenere il passaggio dall'esperienza alla concettualizzazione.

c. Valutazione formativa

Comprende i dispositivi e i criteri pubblici che documentano l'apprendimento (*rubriche di competenza, portfolio digitale, diario di apprendimento, pratiche di auto- e co-valutazione*). Questi strumenti producono evidenze empiriche dei processi cognitivi, metacognitivi e relazionali attivati, rendendo tracciabile la crescita individuale e collettiva.

Nel loro insieme, i tre assi fanno della matrice un dispositivo di traduzione epistemica tra livelli (teorico, curricolare, didattico) assicurando l'allineamento tra finalità educative, progettazione operativa e valutazione dei risultati. Per esemplificare la mappatura, la Tab. 3 riporta un estratto della matrice di corrispondenza, mentre per i relativi indicatori trasversali e nota metodologica della matrice si veda l'Appendice.

Tabella 3 — Estratto della matrice competenze–attività–valutazione–integrazioni (Di.Ver.So.)

Competenze chiave	Attività didattiche esemplificative	Strumenti di valutazione	Integrazioni disciplinari
Pensiero critico e analisi	Analisi di fake news e fonti digitali - *Debate* su casi di attualità tecnologica	▪ Rubriche di argomentazione ▪ Diari riflessivi ▪ Autovalutazione guidata	Ed. Civica, Lettere
Creatività e produzione digitale	Creazione di artefatti multimediali con strumenti di GAI - *Digital storytelling*	▪ Portfolio digitale ▪ Valutazione tra pari ▪ Osservazioni sistematiche	Arte, Musica, Lettere
Collaborazione e Comunicazione	Progetti interdisciplinari di gruppo - Simulazioni e lavori di coding cooperativo	▪ Griglie di osservazione ▪ Valutazione del processo ▪ Co-valutazione	Scienze, Matematica, Tecnologia
Responsabilità etica e Cittadinanza digitale	Discussioni su privacy, sostenibilità e impatto sociale dell'AI - Campagne di sensibilizzazione	▪ Rubriche etico-critiche ▪ Presentazioni orali ▪ Riflessioni scritte	Ed. Civica, Filosofia, Scienze sociali
***AI Literacy* critica**	Analisi di dataset - Studio del ciclo di vita dei dispositivi - Progettazione interdisciplinare con AI	▪ Relazioni di ricerca ▪ Rubriche di competenza ▪ Prove pratiche	Scienze, Geografia, Ed. Ambientale

Gli esempi sono indicativi: possono essere sostituiti da attività equivalenti purché restino invariati *criteri*, *indicatori* ed *evidenze*.

INTEGRAZIONE CURRICOLARE

Nel framework Di.Ver.So. l'integrazione curricolare non consiste in un'aggiunta tematica, ma in una "riorganizzazione epistemologica dei saperi". Digitale e AI assumono la funzione di principi ordinatori che mettono in relazione concetti, metodi e pratiche appartenenti a discipline differenti, trasformando il curricolo in un ambiente di apprendimento coeso, progressivo e valutabile. L'assunto di fondo è che le competenze non si sviluppano attraverso la semplice sommatoria di moduli, ma emergono dall'interazione tra conoscenze eterogenee mobilitate in "compiti autentici".

L'integrazione risulta realmente efficace solo quando tali relazioni vengono rese tracciabili mediante dispositivi valutativi condivisi, come rubriche, portfolio strutturati ed evidenze di processo. Tre sono le direttrici operative che guidano questa impostazione.

La prima riguarda la centralità dei problemi, poiché le unità di apprendimento si attivano a partire da questioni autentiche di natura etica, sociale, ambientale o culturale, che richiedono modellizzazione, argomentazione e decisione informata. La seconda concerne la doppia ancoratura, che prevede la dichiarazione esplicita sia dei nuclei disciplinari coinvolti sia delle dimensioni di competenza mobilitate, comprese quelle cognitive, metacognitive e valoriali. La terza direttrice riguarda la costruzione di evidenze pubbliche, poiché gli esiti delle attività vengono documentati attraverso prodotti, performance e riflessioni, valutati mediante criteri trasparenti e confrontabili tra ordini scolastici differenti. In questa prospettiva, l'integrazione curricolare diventa il dispositivo che garantisce continuità verticale, coerenza epistemologica e leggibilità valutativa, consentendo al digitale e all'AI di operare come catalizzatori di pratiche interdisciplinari e di sviluppo della cittadinanza critica.



Fig.10 - Principi operativi dell'integrazione curricolare

Declinazioni disciplinari (*esempi guida*)

- Scienze: analisi di dataset sperimentali e ambientali, uso di strumenti di AI per classificazione/riconoscimento, lettura del ciclo di vita dei dispositivi e dei relativi impatti. *Esiti = report di ricerca, protocolli replicabili, riflessioni su bias e incertezza.*
- Lettere: studio dei linguaggi e delle retoriche del digitale; *digital storytelling* e riscritture multimodali con la GAI, con controllo delle scelte semantiche e citazionali. *Esiti = dossier critico, commento metatestuale, rubrica su coerenza e pertinenza.*
- Educazione civica: privacy, diritti digitali, sostenibilità e giustizia algoritmica; simulazioni deliberative e *debate* informato.

Esiti: position paper, rubriche etico-critiche, diario riflessivo.

- Arti e musica: pratiche generative e remix culturale; analisi dell'estetica algoritmica e dei modelli di paternità/attribuzione.
  Esiti: artefatti multimediali con scheda tecnica e nota etica.
- Matematica e tecnologia: pensiero computazionale, modellizzazione, coding cooperativo, valutazione di prestazioni di modelli (metriche, *overfitting*, generalizzazione).
  Esiti: notebook commentati, prove pratiche, rubriche di processo.

MECCANISMO DI COERENZA

Nel framework Di.Ver.So. ogni unità integrata esplicita con chiarezza la relazione tra obiettivo, compito, evidenza e feedback, rendendo trasparente il modo in cui la competenza viene attivata, osservata e rielaborata. La progettazione indica le conoscenze disciplinari chiamate in gioco, le dimensioni di competenza della matrice illustrata nel paragrafo §5.4.1 e gli indicatori osservabili utilizzati nel processo valutativo. In questa prospettiva l'interdisciplinarità non è più un'aggregazione contingente, ma una forma stabile di progettazione, che produce percorsi comparabili, cumulabili e suscettibili di miglioramento progressivo.

ESITO ATTESO

Un'integrazione curricolare costruita in questo modo garantisce al percorso una solidità articolata su tre piani: continuità didattica lungo la verticalità del curricolo, attendibilità scientifica grazie alla documentazione delle evidenze e responsabilità etica nell'uso dell'AI. Ne scaturisce un curricolo in grado di sostenere una *AI Literacy* critica e culturalmente fondata, capace di evitare tanto la dispersione enciclopedica quanto il ricorso a un tecnocentrismo puramente strumentale.



Fig.11 - La catena progettuale del framework Di.Ver.So.

Allineamento Europeo e Nazionale

La mappatura proposta da Di.Ver.So. si colloca in continuità critica con DigCompEdu. Ne condivide l'impianto orientato allo sviluppo professionale dei docenti e alla promozione delle competenze digitali degli studenti, ma introduce due elementi distintivi: la prospettiva verticale e l'ancoraggio valutativo. Le competenze non vengono semplicemente descritte, bensì rese osservabili attraverso compiti autentici, criteri pubblici e forme di documentazione che consentono di monitorare l'evoluzione dei percorsi nei diversi ordini di scuola.

In questa logica, il framework non si limita a certificare livelli, ma sostiene processi di crescita professionale e pratiche di miglioramento continuo fondate su evidenze.

Sul piano nazionale, Di.Ver.So. si raccorda con la visione di Scuola 4.0, traducendo l'innovazione infrastrutturale in una trasformazione didattica ed epistemica capace di incidere sulle pratiche quotidiane. La mappatura diventa il punto in cui la visione pedagogica prende forma operativa: connette finalità, attività e valutazione, prevenendo approcci tecnocentrici e garantendo la coerenza dello sviluppo curricolare. Il percorso delineato nei capitoli precedenti ha mostrato come sostenibilità digitale, verticalità formativa e integrazione delle competenze trasversali costituiscano gli assi fondativi del framework. La piena realizzazione di questo impianto richiede tuttavia che il docente interpreti il digitale non come semplice dotazione tecnica, ma come *ambiente cognitivo e culturale* entro cui progettare, valutare e riflettere in modo professionale.

Il Capitolo VI approfondisce tale prospettiva attraverso tre snodi fondamentali: l'applicazione della cornice TPACK al modello Di.Ver.So., le pratiche di autovalutazione e progressione professionale nell'uso dell'AI e nella progettazione sostenibile del curricolo e il ruolo dei repository e delle piattaforme condivise per documentare e disseminare pratiche. In questo orizzonte, la formazione continua diventa la condizione che assicura tenuta al curricolo, ne sostiene la verticalità e ne amplifica la portata trasformativa.

Capitolo VI

Formazione e crescita professionale docente

La piena attuazione del framework Di.Ver.So. richiede che il digitale venga assunto dalla professionalità docente come linguaggio culturale e dispositivo epistemico, non come semplice dotazione tecnica. In questa chiave, il docente diventa la condizione costitutiva della verticalità: è colui che traduce i principi del modello in compiti autentici, rende tracciabili le progressioni di apprendimento attraverso criteri pubblici e stabilizza pratiche valutative coerenti, evitando derive strumentali. Il capitolo VI sviluppa, in continuità con la mappatura del §5.4, un percorso organico di sviluppo professionale che integra tre direttrici: l'applicazione del TPACK come griglia decisionale capace di tenere in equilibrio componenti tecnologiche, pedagogiche e disciplinari; la pratica riflessiva dell'autovalutazione orientata alla progressione professionale nell'uso dell'AI e nella progettazione verticale; la costruzione di repository e piattaforme di documentazione condivisa che rendano le evidenze comparabili, riusabili e cumulabili. L'obiettivo generale è definire un modello di crescita docente che assicuri coerenza tra progettazione, azione didattica e valutazione, dentro l'orizzonte dell'*AI Literacy* e della sostenibilità digitale.

6.1 Applicazione del modello TPACK al framework Di.Ver.So.

Come anticipato nel Capitolo II, il modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) di Mishra & Koehler (2006) costituisce il riferimento teorico per comprendere la relazione tra dimensione tecnologica, pedagogica e disciplinare. Nel presente impianto, tuttavia, esso non è richiamato per ribadire la sua struttura, ma per mostrarne la riconfigurazione all'interno della logica verticale e sostenibile del framework Di.Ver.So. La sua natura originariamente descrittiva viene reinterpretata in "chiave dinamica", non come una tassonomia, ma una matrice decisionale che orienta le scelte progettuali lungo l'intero arco scolastico. In questa prospettiva, la *conoscenza tecnologica* (TK) non coincide con la padronanza episodica degli strumenti, ma con una competenza evolutiva che si costruisce attraverso pratiche progettuali, riflessive e situate. La *conoscenza pedagogica* (PK) assume la forma di *learning design* fondato su metodologie attive, processi valutativi ricorsivi e ambienti partecipativi capaci di sostenere il cambiamento degli stili cognitivi. La *conoscenza disciplinare* (CK) viene riletta come infrastruttura epistemica che, attraverso l'uso delle tecnologie, favorisce forme di ibridazione tra linguaggi, metodi e culture.

L'adattamento di TPACK al modello Di.Ver.So. introduce tre ampliamenti concettuali indispensabili alla sua tenuta: (i) una prospettiva di *sostenibilità educativa* che bilancia

innovazione e cura dei processi; (ii) un'attenzione al *benessere digitale* come elemento costitutivo dei contesti di apprendimento; (iii) una funzione di *mediazione culturale* che affida al docente il compito di connettere strumenti, valori e significati. In questa configurazione il docente non è semplice utilizzatore di tecnologie, ma attore epistemico: traduce i principi del framework in compiti autentici, rende tracciabili le progressioni attraverso criteri pubblici e assicura la trasferibilità del curricolo nei diversi contesti formativi. La professionalità docente diventa, così, componente strutturale del modello, e non condizione esterna al suo funzionamento.

6.2 Processi di autovalutazione e progressione professionale

La crescita professionale non coincide con un avanzamento lineare di competenze, ma si configura come un processo riflessivo continuo, più vicino alla documentazione che alla mera certificazione. In questa prospettiva, l'autovalutazione assume una funzione eminentemente metacognitiva, poiché consente al docente di rendere visibile, e quindi discutibile, l'evoluzione della propria pratica. Strumenti quali *rubriche di progressione, portfolio digitali con versioning* e *diari riflessivi* permettono di inscrivere l'esperienza professionale entro traiettorie evolutive che si sviluppano sui tre livelli operativo, progettuale e riflessivo-trasformativo. Il livello operativo riguarda l'uso consapevole ed eticamente orientato dell'AI e la capacità di adattare strumenti e strategie al contesto. Il livello progettuale si esprime nella padronanza della matrice TPACK e nella capacità di integrare le tecnologie in percorsi interdisciplinari motivati, evitando tanto il tecnocentrismo quanto la subordinazione passiva agli strumenti. Il livello riflessivo–trasformativo, infine, si manifesta attraverso pratiche di *mentorship*, *leadership* pedagogica e partecipazione a comunità di pratica orientate alla ricerca e all'innovazione didattica. Questa progressione ha natura *formativa* e *autoregolativa*, in coerenza con le *Learning Sciences*, che concepiscono l'apprendimento professionale come processo situato, distribuito e socialmente mediato (Sawyer, 2014; Bransford, Brown, & Cocking, 2001). Si fonda anche sull'alternanza fra riflessione sull'azione (*reflection-on-action*) e riflessione nella pratica (*reflection-in-action*) (Schön, 1987), dando luogo a un ciclo ricorsivo in cui l'interpretazione dell'esperienza alimenta nuove decisioni progettuali e ridefinisce l'identità professionale. La valutazione viene ad assumere la forma di un dispositivo narrativo e trasformativo, dato che la documentazione sistematica delle esperienze rende visibile la conoscenza professionale situata, favorisce l'emergere di pattern ricorrenti e sostiene scelte didattiche fondate su criteri espliciti e condivisi. L'autovalutazione si configura così come esercizio di *agency*, capace di orientare percorsi individuali e collettivi verso una cultura professionale riflessiva, collaborativa e sostenibile.

Nel modello Di.Ver.So. tale processo non è accessorio, ma costitutivo perché il docente è al tempo stesso soggetto e architetto del proprio sviluppo.

La sua progressione alimenta la verticalità del curricolo digitale, contribuendo a connettere innovazione didattica, responsabilità etica e consapevolezza epistemologica in una prospettiva di *AI Literacy* critica e culturalmente fondata.

6.3 Repository digitale e comunità di conoscenza

La sostenibilità di Di.Ver.So. non si esaurisce nella dimensione curricolare o nello sviluppo professionale del singolo docente, ma richiede un'infrastruttura digitale capace di connettere documentazione, formazione e comunità professionali. In questa prospettiva, il *repository* svolge una funzione di cerniera tra orientamenti istituzionali e pratiche didattiche dal basso, preservando la coerenza metodologica del framework e promuovendo una cultura della condivisione e della riflessività. Ispirato al modello delle *Knowledge Building Communities* (Scardamalia & Bereiter, 2006), esso sostiene un approccio collaborativo alla produzione, alla rielaborazione e alla disseminazione della conoscenza educativa: i docenti non sono utenti di materiali preconfezionati, ma co-autori di significati, impegnati nella documentazione critica delle esperienze e nella loro evoluzione iterativa. All'interno del *repository* confluiscono unità di apprendimento, progetti interdisciplinari, strumenti valutativi, annotazioni riflessive e protocolli didattici, in un processo cumulativo di *knowledge building* che alimenta la crescita professionale e la tenuta della verticalità curricolare. La piattaforma integra risorse formative (*tutorial, linee guida, percorsi di aggiornamento coerenti con differenti livelli di padronanza tecnologica, pedagogica e disciplinare*), ambienti collaborativi per la co-progettazione e il confronto, e procedure di revisione che garantiscono qualità e allineamento con i riferimenti europei (DigCompEdu) e nazionali, inclusi gli indirizzi di Scuola 4.0. In questa configurazione, il *repository* diventa il luogo in cui la conoscenza professionale assume forma pubblica e condivisibile. La pratica didattica, una volta documentata, acquisisce tracciabilità, diventa oggetto di riflessione critica e alimenta processi di revisione informata. Il *repository* funge così da infrastruttura epistemica che sostiene la continuità del curricolo digitale e ne garantisce la qualità nel tempo, trasformando il contributo dei docenti in patrimonio comune e consolidando una cultura educativa orientata alla ricerca, alla responsabilità e alla cura dei processi.

6.4 Integrazione di AI Generativa nella progettazione didattica

Come discusso nel Capitolo I, gli strumenti di AI Generativa (GAI) sollevano questioni cognitive, etiche e metodologiche che impongono una riflessione avvertita sull'autorialità, sul pensiero critico e sul ruolo del discernimento umano nei processi di costruzione della conoscenza. Allo stesso tempo, come evidenziato nel Capitolo V, tali strumenti possono diventare risorse progettuali e riflessive quando sono inscritte in un curricolo strutturato e guidato da principi di sostenibilità didattica.

Nel framework Di.Ver.So. l'integrazione della GAI non assume mai una prospettiva tecnocentrica, ma si colloca in un orizzonte pedagogico ed epistemico in cui la tecnologia opera come meta-strumento capace di ampliare il raggio d'azione professionale dell'insegnante. Il docente lavora lungo traiettorie che si rafforzano reciprocamente: la prima, di natura *progettuale*, amplia lo spazio esplorativo attraverso idee, mappe, scenari e proposte che successivamente vengono vagliati, selezionati e raffinati; una seconda, più propriamente *riflessiva*, attiva cicli di verifica, adattamento e contestualizzazione che trasformano gli *output* generati in conoscenza didattica argomentata. Una terza infine, *metacognitiva*, sostiene la valutazione di pertinenza, coerenza e affidabilità delle risposte, alimentando vigilanza epistemica e capacità critica. Da questo impianto deriva una "regia pedagogica" rafforzata.

La GAI non assume un ruolo autoriale ma agisce come partner cognitivo, mentre l'interazione tra docente e sistema rimane una pratica dialogica in cui la responsabilità educativa resta pienamente umana. Ne emerge un ambiente di "apprendimento aumentato" che non semplifica la complessità dell'insegnare ma la rende più leggibile, documentabile e valutabile. L'innovazione non coincide con la novità tecnologica ma con la capacità di generare esperienze in cui creatività, rigore critico e sostenibilità epistemologica risultano realmente osservabili. Su queste basi si sviluppa il capitolo successivo, dedicato alla traduzione operativa del modello in Unità di Apprendimento e in strumenti di didattica aumentata.

In questa sezione i principi di sostenibilità, verticalità e integrazione trovano riscontro empirico in pratiche replicabili e metodologicamente fondate.

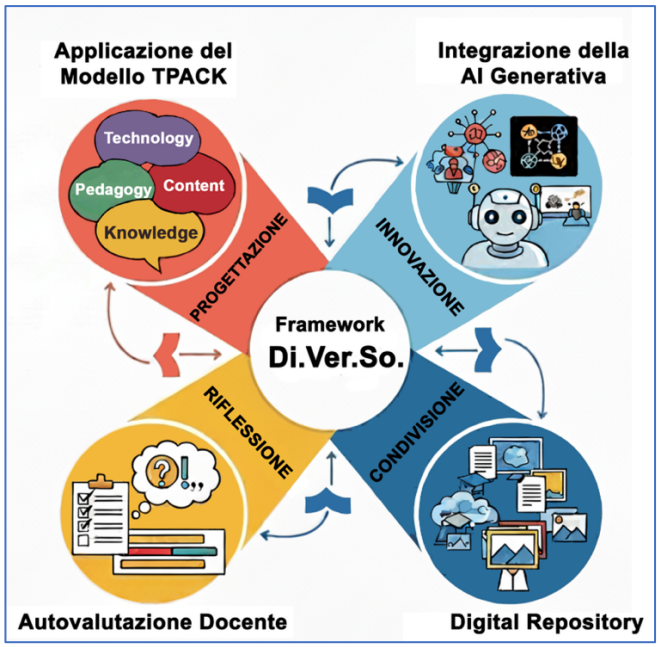


Fig.12 – Le dinamiche che guidano la crescita professionale docente.

Capitolo VII

Unità di Apprendimento e strumenti per la didattica aumentata

7.1 UdA modello per i diversi livelli scolastici

Le Unità di Apprendimento (UdA) rappresentano il luogo in cui la dimensione curricolare del modello prende forma in modo pieno e operativo. Non aggiungono contenuti, ma traducono i principi di verticalità e sostenibilità in pratiche che possono essere osservate, documentate e valutate. In questa prospettiva, le UdA funzionano come dispositivi progettuali capaci di raccordare la cornice epistemologica con l'azione didattica quotidiana, mantenendo un impianto flessibile che si adatta ai quattro moduli del modello (*Digital Knowledge - Media Education - Expertise - Humanities*) senza assumere carattere prescrittivo. L'impostazione spiraliforme consente di reinterpretare le finalità per ordine di scuola già delineate nei capitoli precedenti, evitando ripetizioni inutili. Alla Primaria prevale una familiarizzazione responsabile con il digitale, nella Secondaria di I grado emergono analisi critica e cittadinanza digitale, mentre nella Secondaria di II grado si consolidano progettualità interdisciplinare e *AI Literacy* critica. Ciò che distingue l'UdA è la capacità di allineare in modo trasparente obiettivi, compiti autentici e criteri pubblici di evidenza, rendendo tracciabili le progressioni e comparabili le implementazioni nei diversi contesti educativi. L'attenzione al nesso tra obiettivo, compito, evidenza e feedback permette inoltre di documentare il processo di apprendimento e di valorizzare il ruolo riflessivo del docente nel guidare percorsi che conservano stabilità metodologica e apertura al miglioramento.

7.2 Strumenti di GAI e strategie di integrazione

Nel modello Di.Ver.So. l'integrazione degli strumenti di AI non risponde a una logica di disponibilità tecnologica, ma a un criterio di pertinenza epistemica e didattica. La tecnologia viene introdotta solo quando consente di *attivare processi cognitivi e metacognitivi* difficilmente raggiungibili con mezzi tradizionali e quando rende possibile la *produzione di evidenze osservabili*, utili alla valutazione formativa e alla documentazione delle progressioni.

All'interno di questa cornice, gli strumenti si articolano in 3 famiglie operative che svolgono funzioni distinte ma convergenti. I sistemi generativi testuali e visivi supportano la fase esplorativa e progettuale, offrendo idee, mappe, scenari e materiali preliminari che, una volta rielaborati sotto la guida del docente, diventano occasione per esercitare validazione argomentativa e revisione critica. Le applicazioni didattiche di *machine learning*, basate su dataset semplificati, permettono di rendere trasparenti i nuclei concettuali della

classificazione, della predizione e del riconoscimento, mettendo in evidenza il rapporto tra dati, algoritmi e decisioni in una prospettiva laboratoriale e interdisciplinare. Gli ambienti immersivi e di realtà aumentata collocano invece l'apprendimento in contesti autentici e partecipativi, nei quali l'interazione con l'AI assume una valenza cognitiva, relazionale ed esperienziale.

L'intero impianto è sostenuto da metodologie attive e riflessive, come il *problem-based learning*, il *debate* e il *collaborative learning*, che garantiscono un coinvolgimento epistemicamente fondato. In questa prospettiva, la" regia pedagogica" svolge un ruolo decisivo perché tutela la duplice natura della tecnologia, che è *oggetto di conoscenza* quando se ne analizzano limiti, bias e affidabilità, e diventa *strumento di conoscenza* quando media processi di progettazione, simulazione e visualizzazione. Questa impostazione scongiura usi passivi centrati sul semplice consumo dell'output generato, rende tracciabili le progressioni di apprendimento e sostiene un rapporto con la GAI improntato a criticità, consapevolezza e responsabilità.

7.3 Criteri di valutazione e progressione modulare

In continuità con la mappatura del §5.4 e con i processi di crescita professionale delineati nel §6.2, la valutazione nelle UdA assume una funzione *documentale* e *riflessiva*. Registra le traiettorie di apprendimento, orienta le decisioni didattiche in itinere e sostiene lo sviluppo della consapevolezza metacognitiva degli studenti. La qualità dell'apprendimento è letta attraverso criteri unitari che privilegiano la *trasferibilità delle competenze digitali* e la capacità di *mobilizzare conoscenze* e *abilità in compiti autentici*. Rientrano in questo quadro anche la *consapevolezza critica* nell'interazione con la GAI e le *pratiche collaborative* orientate alla costruzione condivisa del significato, elementi che consolidano la maturazione intellettuale degli studenti. Gli strumenti di valutazione si inseriscono coerentemente in tale impianto. Le *rubriche* rendono trasparenti i livelli di padronanza e i criteri di giudizio. Il *portfolio digitale* documenta in modo progressivo artefatti e riflessioni, restituendo continuità e profondità al lavoro svolto. Le *pratiche di auto- e co-valutazione* rafforzano l'assunzione di responsabilità cognitiva e sostenendo forme più consapevoli di partecipazione. La progressione è modulata lungo l'architettura del framework in modo cumulativo. Le basi concettuali e operative dei linguaggi digitali trovano spazio nella sezione *Digital Knowledge;* la lettura critica e la competenza comunicativa emergono nella *Media Education*; la progettualità integrata e il *problem solving* supportato dal pensiero computazionale caratterizzano il modulo *Expertise*. Infine, l'inquadramento etico-culturale delle tecnologie e dell'AI è affrontato nel modulo *Humanities*. In questo movimento graduale, conoscenze, abilità e atteggiamenti concorrono alla costruzione di un profilo digitale maturo e responsabile, capace di integrarsi in modo saldo con le pratiche valutative delle UdA.

7.4 Esempi di progettazione disciplinare integrata:

La prospettiva trasversale di Di.Ver.So. richiede che competenze digitali e *AI Literacy* si intreccino con i saperi disciplinari, evitando dicotomie tra dimensioni tecniche e umanistiche. Gli esempi che seguono non costituiscono UdA complete, ma quadri dimostrativi che illustrano come la GAI possa sostenere obiettivi formativi circoscritti all'interno delle diverse discipline.

- Scienze = Analisi di dataset ambientali per stimare consumi energetici e impatti del ciclo di vita dei dispositivi, con uso mirato di strumenti AI per generare visualizzazioni e discutere ipotesi.
  Esiti attesi: modellizzazione di dati, lettura critica dell'output algoritmico, consapevolezza ecologica.
- Lettere = Produzione guidata e decostruzione di testi generati da AI per riflettere su tono, coerenza, strategie discorsive e attendibilità delle fonti.
  Esiti attesi: sensibilità autoriale, comprensione delle retoriche digitali, criteri di affidabilità.
- Educazione civica. Progettazione di campagne di cittadinanza digitale su privacy, diritti e giustizia algoritmica, con elaborati multimediali creati con la GAI.
  Esiti attesi: argomentazione pubblica, etica dell'AI, partecipazione informata.
- Arti e musica. Sperimentazioni con GAI per artefatti visivi e sonori e analisi dell'estetica algoritmica, con particolare attenzione ai temi dell'autorialità.
  Esiti attesi: creatività informata, lettura critica dei processi generativi, documentazione del percorso.

Nel presente capitolo gli esempi non assumono la forma di UdA complete. Si configurano invece come quadri esemplificativi, ciascuno dei quali isola un nucleo concettuale del framework e ne mostra la resa operativa entro un contesto disciplinare specifico, preservando la catena di coerenza obiettivo → compito → evidenza → feedback.

L'estensione dei quadri è intenzionalmente essenziale. Ogni esempio circoscrive un *obiettivo formativo* ben definito, propone un *compito autentico* che ne rende osservabile l'attivazione e *chiarisce* in che modo l'AI generativa supporti la prototipazione testuale o visiva, oppure come algoritmi di *machine learning*, introdotti in forma semplificata, possano facilitare l'analisi di pattern. Vengono inoltre resi espliciti i criteri pubblici di valutazione e le evidenze attese, così da garantire trasparenza e leggibilità del processo. Questi quadri non anticipano la regia didattica completa né la struttura temporale di una UdA, ma hanno invece funzione di prova di concetto. Servono a verificare la coerenza interna del framework, la tenuta delle scelte valutative e la trasferibilità delle pratiche nei diversi ordini di scuola, senza vincolare l'azione docente a format prescrittivi.

Tab. 4 – Esempi di progettazione UdA per ordine scolastico

Ordine scolastico	Obiettivi formativi	Attività esemplificative	Strumenti AI/ICT	Criteri di valutazione
Scuola Primaria	▪ Familiarizzazione con strumenti digitali ▪ Uso sicuro e responsabile ▪ Collaborazione e creatività	▪ Simulazione analogica di un social network ▪ Coding *unplugged* e giochi logico-sequenziali ▪ *Digital storytelling* guidato	▪ App per coding visuale (*ScratchJr*) ▪ Chatbot didattici semplificati ▪ Ambienti digitali protetti	▪ *Osservazione di comportamenti collaborativi* ▪ *Rubriche per uso sicuro dei device* ▪ *Diari riflessivi e autovalutazioni guidate*
Secondaria di I grado	▪ Analisi critica dei media e delle fonti ▪ Sviluppo del pensiero computazionale ▪ Cittadinanza digitale consapevole	▪ *Fact-checking* su notizie online ▪ Creazione collaborativa di contenuti multimediali ▪ Progetti di coding di base	▪ Tool di verifica fonti e bias ▪ Assistenti generativi per ricerche guidate ▪ Piattaforme a blocchi (*Scratch*)	▪ *Rubriche di pensiero critico* ▪ *Portfolio digitale* ▪ *Auto- e co-valutazione tra pari*
Secondaria di II grado	▪ Uso progettuale e interdisciplinare delle tecnologie ▪ Riflessione etica e sostenibile sull'AI ▪ Produzione creativa e critica	▪ Analisi del ciclo di vita dei dispositivi ▪ Progettazione di campagne digitali sulla sostenibilità ▪ Artefatti con AI generativa	▪ Strumenti di GAI (testo/immagine) ▪ ML semplificato (piattaforme no-code/low-code) ▪ Ambienti immersivi e AR	▪ *Rubriche di creatività e responsabilità etica* ▪ *Relazioni di ricerca e presentazioni* ▪ *Portfolio digitale evolutivo*

Nota. La tabella sintetizza della U.d.A. solo obiettivi formativi, attività esemplificative, strumenti AI/ICT e criteri di valutazione per ciascun ordine scolastico nel framework Di.Ver.So.

Gli esempi presentati confermano il carattere non prescrittivo ma generativo di Di.Ver.So., che orienta la progettazione in chiave interdisciplinare e sostenibile. In tale prospettiva, l'educazione digitale non costituisce una disciplina autonoma, bensì il tessuto connettivo del curricolo, in cui saperi, competenze e valori vengono integrati.

La "progettazione integrata" diventa dunque il terreno privilegiato per la formazione di una cittadinanza digitale critica e creativa, capace di abitare con consapevolezza l'ecosistema cognitivo dell'AI.

PARTE IV – EVIDENZE E IMPLICAZIONI PEDAGOGICHE

CAPITOLO VIII

Evidenze empiriche e validazione pedagogica del framework

La presente sezione inaugura la Parte IV della ricerca, dedicata all'analisi e all'interpretazione delle evidenze empiriche derivanti dalle indagini condotte nei diversi contesti formativi.

Dopo aver delineato nella Parte II il disegno metodologico e nella Parte III la strutturazione teorico-curricolare del framework Di.Ver.So., il capitolo avvia la verifica della tenuta empirica e della coerenza pedagogica del modello, collocandone la validazione entro una prospettiva interpretativa di tipo sistemico. L'analisi si sviluppa su un duplice piano di osservazione: da un lato, la misurazione quantitativa dei cambiamenti rilevati nelle dimensioni di conoscenza, atteggiamento e intenzione d'uso della AI/GAI, mentre, dall'altro, la lettura qualitativa delle rappresentazioni e delle pratiche emergenti, finalizzata a ricostruire la dimensione riflessiva, etica e professionale dei processi osservati. In questa prospettiva il dato empirico non è trattato come semplice verifica, ma come traccia interpretativa che permette di mettere a fuoco i significati pedagogici dell'incontro tra GAI ed esperienza educativa.

La validazione del framework si articola lungo 3 direttrici complementari. La prima è di natura *epistemologica* e interpreta le evidenze alla luce dei principi delle *Learning Sciences*, che definiscono la conoscenza come processo situato e riflessivo; la seconda è *pedagogica* e mira a verificare la coerenza tra i risultati empirici e gli obiettivi di sostenibilità cognitiva, etica e curricolare che sorreggono il modello. La terza è *empirico-applicativa* e riguarda la trasferibilità del framework nei diversi ordini scolastici e nei contesti di formazione docente.

L'impianto analitico adottato segue il disegno misto sequenziale esplicativo descritto nel capitolo metodologico e l'intento non è la generalizzazione statistica dei risultati, ma la ricostruzione di coerenze educative e professionali capaci di confermare la solidità teorico-empirica del modello e la sua pertinenza rispetto alle sfide della formazione digitale sostenibile.

8.1 Struttura e logica dell'analisi empirica

L'analisi empirica qui presentata risponde all'esigenza di verificare, in termini di coerenza interna e validità pedagogica, il framework Di.Ver.So. Il capitolo non si limita alla restituzione dei dati raccolti, ma ne propone una lettura interpretativa capace di mettere in relazione evidenze, principi teorici e finalità formative, in continuità con l'impianto epistemologico delineato nel percorso metodologico.

Il disegno analitico si colloca entro un approccio *mixed methods di tipo sequenziale esplicativo* e integra la rilevazione quantitativa con l'interpretazione qualitativa in una logica cumulativa. La fase quantitativa offre la struttura descrittiva attraverso cui osservare cambiamenti nelle dimensioni di conoscenza, atteggiamento e comportamento; la successiva fase qualitativa approfondisce significati, rappresentazioni e pratiche, restituendo la complessità riflessiva ed etica che caratterizza il rapporto tra AI e processi formativi. L'intreccio fra i due piani consente di superare la tradizionale separazione tra misurazione e comprensione, in linea con la prospettiva delle *Learning Sciences*, che concepiscono la conoscenza educativa come esito di triangolazione fra dati, contesti e processi interpretativi.
Dal punto di vista operativo, l'analisi è articolata su 3 livelli complementari:

a) Livello descrittivo-quantitativo → finalizzato a rilevare i cambiamenti nelle dimensioni di conoscenza, atteggiamento e comportamento dei partecipanti (docenti e studenti). I risultati vengono esaminati non come meri indicatori statistici, ma come tracce di trasformazione cognitiva e professionale, da interpretare alla luce delle dimensioni del framework (*Digital Knowledge*, *Media Education*, *Expertise*, *Humanities*).
b) Livello interpretativo-qualitativo → prende forma attraverso l'esame delle risposte aperte e delle interviste, permettendo di cogliere i vissuti formativi, la qualità della riflessione docente, la percezione del valore educativo dell'AI e la complessità delle dinamiche relazionali attivate.
c) Livello integrativo-triangolato → integra i due precedenti e ricompone l'insieme in un quadro unitario, individuando convergenze, divergenze e relazioni di senso che conferiscono solidità teorica ed ecologica ai risultati.

L'intero processo è orientato da una duplice istanza. Da un lato emerge la *cura metodologica*, sostenuta da procedure di controllo della qualità dei dati, selezione dei campioni e trasparenza delle operazioni analitiche. Dall'altro si riconosce la *finalità pedagogica*, che guida l'interpretazione verso la comprensione dei processi di apprendimento, delle pratiche professionali e delle implicazioni etiche connesse all'introduzione dell'AI nei contesti educativi. In questa prospettiva, le evidenze empiriche non costituiscono un punto d'arrivo, ma un passaggio critico di verifica e riflessione. Esse rappresentano il terreno su cui valutare la capacità del framework Di.Ver.So. di trasformare i dati in conoscenza formativa e la sperimentazione in validazione pedagogica.

La sezione successiva sviluppa tale percorso presentando, in ordine progressivo, i risultati quantitativi, le analisi qualitative e la loro integrazione, così da delineare un quadro coerente, fondato e trasferibile della ricerca.

8.2 Risultati quantitativi

L'analisi quantitativa, basata su questionari pre-post e *survey* somministrate nei diversi contesti formativi (formazione iniziale, in servizio e sperimentazioni K-12), ha l'obiettivo di verificare in che misura i percorsi intrapresi abbiano favorito lo sviluppo di conoscenze, atteggiamenti e pratiche coerenti con i principi pedagogici del framework Di.Ver.So. I risultati sono interpretati come evidenze formative che documentano la qualità dei processi di cambiamento, in termini di crescita cognitiva, maturazione professionale e consapevolezza etica.

CONOSCENZE DICHIARATE (PRE-POST)

I dati relativi ai docenti in servizio mostrano un incremento significativo delle conoscenze dichiarate sia sull'AI in ambito educativo sia sulla GAI. L'aumento medio di 1,46 punti sulla conoscenza generale sull'AI e di 2,12 punti sulla GAI (entrambi con significatività statistica elevata) conferma un avanzamento stabile e diffuso. Il miglioramento osservato non può essere ricondotto a un semplice incremento informativo, ma va letto come indizio di una trasformazione cognitiva e metariflessiva. La crescente familiarità con le tecnologie intelligenti si accompagna infatti a una comprensione più solida del loro significato epistemico e del loro potenziale didattico. In prospettiva pedagogica, questa evidenza mostra l'efficacia del framework Di.Ver.So. nel promuovere un apprendimento che intreccia conoscenza e riflessione, sostenendo il passaggio da una competenza prevalentemente tecnica a una competenza critica e interpretativa. L'aumento delle conoscenze dichiarate segnala una revisione dei significati attribuiti all'AI: da presenza esterna e marginale rispetto alla pratica didattica diventa strumento culturale attraverso cui immaginare, progettare e rinnovare le forme dell'insegnare e dell'apprendere. Ne emerge un progresso qualitativo in quanto il sapere digitale non si estende soltanto, ma si approfondisce, acquisendo valore interpretativo e capacità trasformativa nei processi educativi.

DAL "DIRE" AL "FARE" (TEST DI MCNEMAR)

Il secondo indicatore di validazione riguarda il passaggio dall'intenzione all'azione, rilevato attraverso la variazione delle risposte pre e post-intervento. La quota di docenti che dichiarano l'intenzione di integrare strumenti di GAI nella didattica passa dal 46% al 72%, con un cambiamento statisticamente significativo. Questo risultato non si limita a esprimere una maggiore disponibilità all'uso delle tecnologie, ma segnala una trasformazione professionale più profonda. La formazione ha prodotto un avvicinamento tra ciò che i docenti affermano di sapere e ciò che si sentono in grado di fare, rafforzando la coerenza tra conoscenza, intenzione e pratica.

In termini pedagogici, emerge l'assunzione di una *agency* educativa più consapevole. L'AI non è più percepita come elemento estraneo o potenzialmente minaccioso, ma come risorsa che amplifica la mediazione didattica e sostiene processi progettuali collaborativi. Il cambiamento registrato riflette quindi un'evoluzione nell'atteggiamento professionale in quanto l'insegnante si posiziona come protagonista di un processo di innovazione riflessiva, nel quale la tecnologia non sostituisce la responsabilità educativa, ma ne amplia le possibilità. In questa prospettiva, l'esito del Test di McNemar rappresenta una conferma empirica della dimensione *Expertise* del framework, mostrando come la competenza digitale possa radicarsi in pratiche situate, sostenibili e pedagogicamente fondate.

ATTEGGIAMENTI E OSTACOLI POST-INTERVENTO

L'analisi delle risposte successive alla formazione evidenzia un profilo marcatamente positivo, prevalendo curiosità, interesse e percezione di utilità della GAI per la scuola. Gli ostacoli riportati sono di natura prevalentemente operativa (mancanza di tempo, dotazioni tecnologiche insufficienti, limitata formazione tecnica) e non valoriale. Questa distinzione è pedagogicamente rilevante. L'assenza di resistenze valoriali o epistemiche indica che la questione non riguarda più la legittimità dell'AI in educazione, ma la sua sostenibilità istituzionale e organizzativa. Il profilo attitudinale emerso testimonia una consapevolezza etica matura, coerente con la dimensione *Humanities* del framework. I docenti chiedono "accompagnamento", non sostituzione; "contesti formativi stabili", non soluzioni estemporanee. In tal senso, il superamento dell'opposizione "AI sì/AI no" segna il passaggio da un dibattito tecnologico a un discorso pedagogico e sistemico, in cui il nodo critico non è l'adozione dello strumento, ma la qualità della mediazione educativa che lo rende significativo.

DIFFERENZE TRA ORDINI DI SCUOLA (ANOVA)

L'analisi delle varianze (ANOVA) condotta su docenti dell'Infanzia, Primaria e Secondaria di I grado non evidenzia differenze significative nei livelli di conoscenza o familiarità con AI e GAI. L'assenza di scostamenti rilevanti assume valore interpretativo: suggerisce che il rapporto con l'AI è trasversale agli ordini scolastici e dipende più dalla cultura pedagogica che dal segmento educativo di appartenenza. Tale esito conferma la scalabilità verticale del framework Di.Ver.So., pensato per attraversare in continuità l'intero arco K-12. Questa coerenza rappresenta una prima validazione empirica del principio di continuità verticale, mostrando come i processi di crescita cognitiva e riflessiva possano svilupparsi in modo progressivo e sistemico.

RELAZIONI TRA VARIABILI (CORRELAZIONI)

Le analisi di correlazione mostrano una relazione positiva e moderata tra familiarità con l'AI e con la GAI, suggerendo che una comprensione generale del campo favorisce un uso più competente degli strumenti generativi. Non emergono invece legami significativi con età o anzianità di servizio. Questo dato è pedagogicamente rilevante perché indica che l'apprendimento digitale e lo sviluppo dell'*AI Literacy* non dipendono da variabili anagrafiche, ma da opportunità formative e da una disposizione riflessiva verso l'innovazione. L'*AI Literacy* appare dunque come una competenza dinamica, che si consolida nella pratica e si nutre di un'interazione ricorsiva tra comprensione, applicazione critica e rielaborazione metacognitiva. L'andamento osservato conferma inoltre la coerenza interna del framework perché conoscenze, atteggiamenti e pratiche risultano tra loro allineati. Chi possiede una maggiore consapevolezza dei principi dell'AI tende a impiegarla in modo più critico e creativo, generando un processo di crescita progressiva che trova nelle pratiche educative il proprio terreno di consolidamento.

8.3 Analisi qualitativa delle evidenze

La componente qualitativa della ricerca approfondisce i significati pedagogici sottesi ai risultati quantitativi, rileggendo le trasformazioni cognitive e professionali attivate dall'uso dell'AI nei contesti educativi. Le risposte aperte e le interviste semi-strutturate sono state analizzate secondo una codifica tematica induttivo-deduttiva, con l'obiettivo di far emergere non solo ciò che i partecipanti dichiarano, ma il modo in cui interpretano l'AI, la integrano nella pratica e ne percepiscono le implicazioni formative, insieme ai bisogni formativi che esprimono rispetto al proprio sviluppo professionale. L'analisi non si è limitata alla frequenza dei termini, ma ha privilegiato la densità concettuale delle riflessioni, intesa come indicatore della profondità metacognitiva e della consapevolezza professionale dei soggetti coinvolti. Dalla codifica dei testi emergono tre macroaree tematiche che descrivono la traiettoria evolutiva del rapporto tra docente, tecnologia e apprendimento: le *rappresentazioni dell'AI*, oscillanti tra fiducia e cautela; le *pratiche didattiche emergenti*, orientate alla personalizzazione, alla creatività e all'inclusione; i *bisogni formativi* e le *prospettive di sviluppo professionale*, legati alla richiesta di formazione continua e di sostegno istituzionale.

a) RAPPRESENTAZIONI DELL'AI: TRA FIDUCIA E CAUTELA

Le narrazioni restituiscono un'immagine dell'AI come oggetto culturale ambivalente, capace di suscitare curiosità e slancio innovativo, ma anche prudenza e interrogativi etici. La maggior parte dei docenti riconosce il potenziale trasformativo dell'AI, pur sottolineando la necessità di comprenderne i limiti epistemologici e le implicazioni educative.

Questa ambivalenza riflette una postura riflessiva: l'AI non è percepita come semplice supporto tecnico, ma come tecnologia del pensiero che ridefinisce le forme della conoscenza e richiede un riposizionamento del ruolo docente. Le interviste mostrano l'emergere di un atteggiamento critico e vigile, coerente con la dimensione *Humanities* del framework, che interpreta la digitalità come spazio di responsabilità cognitiva ed etica.

b) PRATICHE DIDATTICHE EMERGENTI: PERSONALIZZAZIONE, CREATIVITÀ, INCLUSIONE

Le risposte qualitative evidenziano una transizione metodologica, dall'uso episodico delle tecnologie digitali a un'integrazione intenzionale e progettuale dell'AI nei processi di insegnamento. I docenti riferiscono esperienze in cui strumenti generativi e analitici hanno sostenuto percorsi personalizzati, ampliato le modalità di espressione, facilitato la valutazione formativa e favorito la partecipazione degli studenti, soprattutto quelli più fragili. L'AI è percepita come alleato della mediazione didattica, capace di amplificare creatività, riflessione e collaborazione senza sostituire la centralità dell'intervento umano. Accanto a queste potenzialità, emerge una forte richiesta di sistematicità e accompagnamento formativo, cornici metodologiche condivise, comunità di pratica e tempi adeguati di sperimentazione, condizione per rendere sostenibile l'integrazione dell'AI. Queste osservazioni confermano che la sostenibilità pedagogica non dipende dall'efficacia tecnica degli strumenti, ma dal grado di coerenza tra le scelte metodologiche e la visione educativa sottostante.

c) BISOGNI FORMATIVI E SVILUPPO PROFESSIONALE

La terza area tematica riguarda la dimensione evolutiva della professionalità docente. Le testimonianze convergono nella richiesta di percorsi formativi continui, capaci di integrare competenze tecniche, consapevolezza etica e capacità progettuale. L'AI è percepita come occasione di crescita e ripensamento del ruolo professionale e molti docenti riconoscono che l'introduzione dell'AI li ha spinti a riconsiderare la propria identità pedagogica, trasformando la formazione da aggiornamento strumentale a processo riflessivo permanente. Questa prospettiva rispecchia la dimensione *Expertise* del framework Di.Ver.So., centrata sulla crescita professionale situata e sulla capacità di trasformare la conoscenza in pratica educativa consapevole.

SINTESI INTERPRETATIVA

Le evidenze qualitative rivelano una trasformazione del ruolo docente: da utilizzatore di strumenti digitali a mediatore epistemico e culturale. L'AI diventa contesto di riflessività e non semplice risorsa operativa, un ambiente cognitivo nel quale i docenti negoziano significati, rielaborano pratiche e maturano nuove forme di consapevolezza professionale.

Le tre dimensioni emerse - rappresentazioni, pratiche e bisogni formativi - compongono un quadro coerente con le assunzioni del framework Di.Ver.So., che si conferma dispositivo trasformativo. La convergenza tra dati quantitativi e qualitativi mostra che la formazione sostenuta dal modello non produce soltanto conoscenza dichiarata, ma cambiamento riflessivo e identitario, restituendo all'educazione digitale la sua funzione più alta: formare soggetti competenti, critici e responsabili nell'era dell'AI.

8.4 Triangolazione e implicazioni pedagogiche

TRIANGOLAZIONE DEI RISULTATI

La triangolazione costituisce la fase integrativa dell'impianto empirico. Non si limita a sovrapporre dati quantitativi e qualitativi, ma ne ricostruisce la coerenza epistemologica, restituendo una visione unitaria dei processi formativi osservati. Le evidenze numeriche - crescita delle conoscenze, passaggio dall'intenzione all'azione, stabilità degli atteggiamenti positivi verso l'AI - trovano conferma nelle testimonianze, che ne chiariscono le motivazioni cognitive, etiche e professionali. Questa convergenza indica che i cambiamenti non derivano da un effetto formativo episodico, ma da un processo di apprendimento trasformativo, nel quale la riflessione sull'AI diventa leva di consapevolezza didattica. La triangolazione rafforza la validità interna del disegno di ricerca, mostrando che i due piani di analisi non procedono in parallelo ma si illuminano reciprocamente componendo un quadro interpretativo solido e contestualmente radicato.

COERENZA TEORICA CON IL FRAMEWORK DI.VER.SO.

L'interpretazione congiunta dei risultati conferma la coerenza del framework verticale e sostenibile proposto lungo i suoi tre assi costitutivi. La *verticalità* emerge nella continuità delle progressioni osservate, dalla familiarizzazione degli alunni più giovani fino alle pratiche riflessive dei docenti. La *sostenibilità*, intesa in senso cognitivo, etico e professionale, si manifesta nella capacità dei partecipanti di interpretare l'AI come occasione di rinnovamento equilibrato e responsabile. L'*interdisciplinarità* appare nella varietà dei contesti di applicazione e nella riconnessione dei linguaggi disciplinari, che la tecnologia contribuisce a integrare senza sostituire.

VALIDITÀ ECOLOGICA E TRASFERIBILITÀ

La varietà dei contesti coinvolti (Scuole Primarie e Secondarie, percorsi universitari, formazione iniziale e in servizio, collaborazioni nazionali e internazionali) ha permesso di verificare la *trasferibilità* situata del modello. Questa eterogeneità non rappresenta dispersione, bensì condizione di prova della sua robustezza pedagogica, poiché consente di

osservare il comportamento del framework in ambienti autentici caratterizzati da culture professionali, risorse e vincoli differenti. La *replicabilità* del Di.Ver.So. non riguarda la riproduzione meccanica dei protocolli operativi, ma l'adesione a una visione condivisa di sostenibilità educativa. L'efficacia del modello emerge quando istituzioni e docenti riconoscono l'AI come ambiente di apprendimento e ne interpretano l'uso alla luce di finalità formative comuni, non quando si limitano a replicare strumenti o procedure. È in questo allineamento tra intenzioni pedagogiche e pratiche progettuali che la ricerca trova conferma della *validità sostenibile* del framework. La convergenza dei risultati in contesti molto diversi tra loro mostra che Di.Ver.So. è in grado di mantenere stabile la propria coerenza concettuale pur adattandosi alle specificità locali. La sua architettura si rivela quindi scalabile, flessibile e culturalmente sensibile, qualità che ne sostengono l'applicabilità nei sistemi educativi contemporanei e ne confermano la portata trasformativa.

IMPLICAZIONI PEDAGOGICHE E PROSPETTIVE

La triangolazione delle evidenze restituisce un quadro che non si esaurisce nella convergenza tra numeri e narrazioni, ma mostra la natura trasformativa del rapporto tra soggetti, conoscenza e tecnologie intelligenti. L'AI non emerge come semplice ambiente operativo, bensì come spazio cognitivo che costringe a ripensare l'atto educativo nella sua interezza. La scuola che prende forma attraverso i dati raccolti è una scuola capace di rinegoziare i propri paradigmi, poiché l'introduzione dell'AI rende visibili processi che spesso rimangono impliciti nella pratica quotidiana, come la costruzione dei significati, la strutturazione delle decisioni didattiche e la qualità della riflessione professionale. Le evidenze mostrano che l'innovazione non risiede nell'adozione di strumenti digitali, ma nella capacità di interpretare tali strumenti all'interno di una visione pedagogica fondata. L'AI diviene un amplificatore della riflessività, mentre la progettazione assume la forma di un lavoro epistemico che connette contenuti, linguaggi e processi metacognitivi. Ne deriva un'evoluzione del ruolo docente, sempre meno ancorato alla gestione delle attività e sempre più orientato alla mediazione cognitiva e alla costruzione di ambienti di apprendimento che combinano rigore concettuale e sensibilità etica. Il quadro prospettico che emerge richiede una formazione continua non intesa come aggiornamento episodico, ma come processo ricorsivo che intreccia esperienza, indagine e progettazione. La competenza sull'AI non coincide con la familiarità tecnica, ma con la capacità di leggere e governare la complessità cognitiva ed educativa che la tecnologia introduce, con attenzione alla qualità delle interazioni, alla leggibilità dei processi decisionali e alla sostenibilità emotiva degli ambienti digitali. La dimensione riflessiva diventa così il principale luogo di crescita professionale, perché consente di trasformare l'AI da oggetto di studio a contesto di significazione. I risultati relativi alla motivazione, alla curiosità e alla disponibilità verso l'AI non devono essere interpretati come una legittimazione di forme di

delega cognitiva ai sistemi generativi. Il rischio, discusso nel Capitolo I, riguarda la possibile contrazione dell'elaborazione autonoma, dell'apprendimento profondo e del controllo metacognitivo quando l'output algoritmico viene accolto senza verifica. In questa prospettiva, i moduli Media Education e Humanities assumono una funzione di antidoto pedagogico. Media Education promuove l'analisi delle fonti, dei linguaggi, delle intenzioni comunicative e dei meccanismi di produzione dei contenuti; Humanities introduce domande relative a responsabilità, bias, autorialità, benessere digitale e conseguenze sociali delle decisioni algoritmiche. La loro integrazione sostiene una forma di vigilanza epistemica attraverso cui lo studente è chiamato non soltanto a utilizzare l'AI, ma a interrogare gli output, confrontarli con altre fonti, motivarne l'accettazione o il rifiuto e mantenere il controllo metacognitivo sul processo di apprendimento. Di.Ver.So. configura pertanto l'AI come occasione di esercizio critico e non come sostituto dell'elaborazione cognitiva personale.

In questa prospettiva, la progettazione curricolare sostenibile assume un ruolo decisivo. Il framework Di.Ver.So. offre una struttura che permette di integrare l'AI lungo traiettorie verticali e interdisciplinari, senza generare dispersione o tecnocentrismo. Le evidenze mostrano che l'AI, quando è collocata entro un impianto pedagogico coerente, rafforza la continuità del percorso formativo e consente di rendere la scuola un luogo in cui il pensiero critico, la responsabilità cognitiva e la consapevolezza etica non sono aggiunte marginali, ma condizioni costitutive dell'apprendere.

La Parte IV si chiude quindi con una constatazione che non è conclusiva, ma generativa. La validazione empirica non rappresenta un punto di arrivo, bensì un passaggio che illumina la direzione evolutiva del modello. La conoscenza prodotta da questa ricerca assume la forma di una conoscenza operativa, capace di orientare politiche formative, scelte curricolari e pratiche quotidiane.

La Parte V approfondirà questa direzione, traducendo le evidenze in un'architettura teorico-curricolare che restituisce al framework la sua natura di paradigma sostenibile per la scuola dell'AI.

PARTE V – VALIDAZIONE INTERNAZIONALE E PROGETTI SPERIMENTALI

CAPITOLO IX

Il MOOC europeo su AI e Scienze Umane

Premessa

La validazione internazionale del framework Di.Ver.So. costituisce la fase conclusiva della traiettoria empirica e permette di verificarne *trasferibilità*, *scalabilità* e *sostenibilità pedagogica* in contesti educativi e culturali differenti. Dopo aver consolidato nella Parte IV la solidità interna del modello attraverso l'integrazione di analisi quantitative e qualitative, questa sezione si concentra sulla prova di applicabilità esterna, osservando come il framework operi in ambienti reali caratterizzati da discipline, comunità professionali e culture istituzionali eterogenee. In coerenza con le *Learning Sciences*, la validazione assume una prospettiva ecologica e riflessiva. Non mira a replicare procedure in modo meccanico, ma a osservare come il modello interagisca con sistemi formativi complessi, in cui si intrecciano dimensioni cognitive, etiche, estetiche e culturali. I casi di studio presentati nei capitoli seguenti non rappresentano un campione statistico, bensì situazioni intenzionali che consentono di esplorare il comportamento del framework in domini diversi e di valutarne la capacità trasformativa.

Le tre sperimentazioni internazionali delineano un campo di verifica multilivello. Il MOOC europeo dedicato all'AI e alle Scienze Umane indaga la dimensione accademica e formativa. Il progetto audiovisivo realizzato con l'Università di Dublino esplora il potenziale creativo e mediale dell'AI. La collaborazione con l'Università di Milano approfondisce la dimensione civica e sostenibile, con particolare attenzione alla comunicazione ambientale e alla cittadinanza digitale responsabile. Insieme mostrano come il framework possa adattarsi a differenti tradizioni disciplinari e a vari gradi di complessità educativa. Queste esperienze permettono di valutare la coerenza metodologica del modello, la sua capacità di generare apprendimento significativo e la sua pertinenza rispetto alle politiche europee in materia di AI e sostenibilità digitale. L'obiettivo non è certificare il modello, ma interpretarne le implicazioni trasformative, osservando come esso possa contribuire alla costruzione di un paradigma educativo capace di coniugare *AI Literacy*, responsabilità etica e cittadinanza cognitiva globale. Da questa prospettiva, la validazione internazionale non rappresenta la chiusura del percorso di ricerca, ma il suo naturale prolungamento nel dominio della pratica riflessiva, dove

teoria, metodo e formazione convergono in un processo continuo di apprendimento istituzionale e professionale.

9.1 Contesto istituzionale e obiettivi formativi

Il MOOC *Artificial Intelligence for the Humanities* si sviluppa in un contesto in cui Università ed Enti europei condividono l'urgenza di comprendere e governare l'impatto dell'AI nei processi di produzione e interpretazione della conoscenza. La collaborazione con la Library dell'European University Institute (EUI) colloca l'iniziativa in un crocevia strategico tra innovazione metodologica, formazione permanente e riflessione epistemologica sull'impatto dell'AI. La scelta di rivolgersi alle *Humanities* non è una delimitazione disciplinare, bensì il riconoscimento del loro ruolo nell'indagare le trasformazioni del significato, della rappresentazione e dell'interpretazione nell'epoca dell'intelligenza artificiale. Proprio in questi ambiti l'AI emerge come fenomeno complesso, al tempo stesso oggetto culturale e strumento di indagine, capace di ridefinire archivi, testi, narrazioni e pratiche interpretative. Gli obiettivi formativi del MOOC riflettono questa prospettiva e possono essere ricondotti a *tre linee di sviluppo* tra loro intrecciate. La prima riguarda la costruzione di un quadro concettuale chiaro e aggiornato sul funzionamento dell'AI, con particolare attenzione ai modelli generativi, alle logiche computazionali che li sostengono e ai processi di mediazione algoritmica che intervengono nella produzione del sapere. La seconda linea riguarda la sperimentazione ragionata di strumenti, piattaforme ed ecosistemi digitali utilizzati nella ricerca e nelle pratiche creative, evitando un approccio addestrativo e privilegiando un uso orientato alla comprensione dei processi. La terza linea mette al centro la formazione etica e critica, promuovendo una consapevolezza riflessiva sui rischi epistemici, sulle responsabilità interpretative e sulle implicazioni sociali che accompagnano l'adozione dell'AI. In questa configurazione, il MOOC non assume la forma di un percorso tecnico, ma di un dispositivo formativo ad alta intensità cognitiva. La finalità non è fornire un manuale d'uso, bensì sostenere la maturazione di uno sguardo capace di leggere, valutare e governare i processi di trasformazione che l'AI attiva nei domini umanistici. La dimensione formativa si combina così con una postura epistemologica più ampia, che riconosce nell'intelligenza artificiale non soltanto una tecnologia emergente, ma una sfida culturale e interpretativa che investe il modo stesso in cui le discipline umanistiche costruiscono e condividono conoscenza.

9.2 Struttura, metodologia e strategie didattiche

In questa prospettiva, la struttura del MOOC non si configura come una semplice successione di moduli, ma come un percorso argomentativo che conduce i partecipanti dall'inquadramento teorico alle applicazioni disciplinari, fino all'esame delle questioni etiche e regolative.

La sequenza dei contenuti rispecchia l'idea che l'AI richieda un equilibrio costante tra fondazione concettuale, esplorazione delle opportunità d'uso e riflessione critica sugli effetti sociali, culturali e cognitivi.

ARCHITETTURA DEL CORSO

Il percorso si articola in sei moduli, organizzati entro una cornice modulare volutamente flessibile, concepita per adattarsi a un'utenza internazionale e interdisciplinare. Ogni modulo integra contenuti che concorrono alla costruzione di un sapere progressivo ma aperto, non lineare, volto a privilegiare la comprensione dei processi più che la memorizzazione delle nozioni. L'adozione di strumenti come Quarto e Visual Studio Code non risponde a un intento tecnicistico, ma la possibilità di dare ai partecipanti una piattaforma di formazione a cui attingere che sia chiara ed esaustiva, in linea con le pratiche reali della ricerca contemporanea. La produzione di documenti in formato Markdown, la costruzione di micro-progetti e la sperimentazione controllata di modelli generativi rappresentano, in questa logica, occasioni per sviluppare una familiarità non superficiale con l'AI, evitando l'illusione di un apprendimento basato esclusivamente sull'interazione con interfacce semplificate.

METODOLOGIA

La metodologia didattica che sostiene il MOOC si fonda su un impianto *modulare* ed *esplorativo*. Il corso adotta una logica aperta che consente ai partecipanti di muoversi in modo flessibile tra i contenuti, senza vincoli sequenziali, favorendo un apprendimento situato, in cui ciascuno seleziona ciò che gli è utile nel momento in cui ne percepisce la necessità. La struttura compatta dei moduli, organizzati intorno a obiettivi chiari e materiali essenziali, trasforma ogni unità in un microambiente di apprendimento, rapido da consultare ma sufficientemente denso da sostenere processi cognitivi significativi. Questa architettura di *microlearning esplorativo* alimenta un apprendimento per scoperta, guidato dall'interesse e dalla rilevanza percepita, e sostiene una fruizione agile che si integra con i tempi irregolari della formazione adulta e accademica.

SINTESI INTERPRETATIVA

La struttura del MOOC riflette, dunque, una precisa postura pedagogica: l'intelligenza artificiale viene presentata come oggetto di studio prima ancora che come risorsa applicativa; come spazio di interrogazione critica più che come insieme di competenze tecniche da acquisire; come fenomeno culturale che attraversa le *Humanities*, obbligandole a riposizionarsi nei confronti della produzione, circolazione e interpretazione della conoscenza.

Il corso intende così offrire un modello di formazione capace di coniugare rigore teorico, operatività controllata e responsabilità etica, ponendo le basi per pratiche di ricerca e di

insegnamento che riconoscano la complessità sociotecnica dell'AI e ne esplorino le implicazioni con un approccio riflessivo e culturalmente situato.

In Appendice sono dettagliati i vari argomenti per sezione.

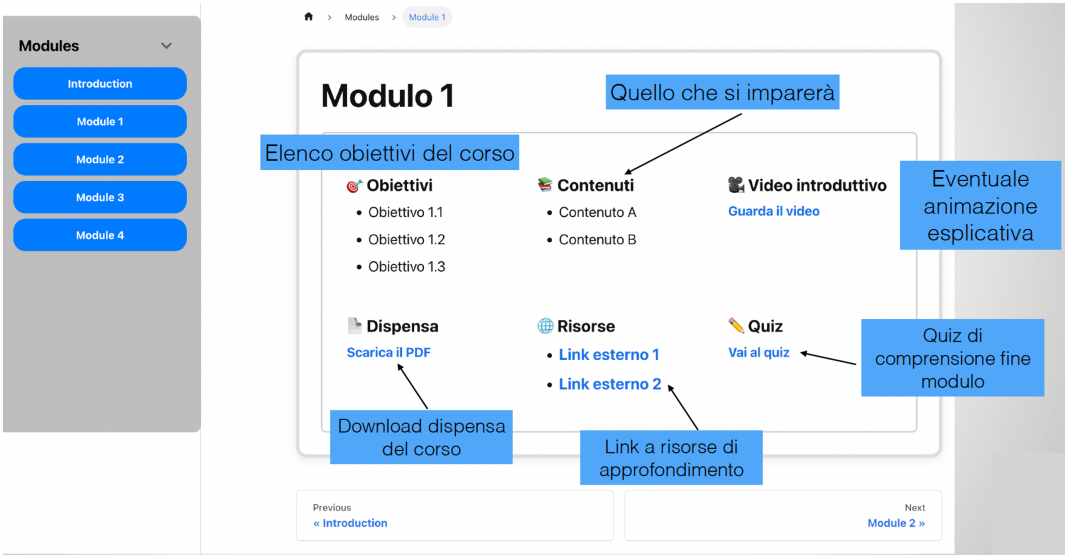


Fig.13 – Struttura del MOOC per la EUI Library

9.3 Risultati attesi e potenziali impatti sullo sviluppo professionale

Sebbene il MOOC "Artificial Intelligence for the *Humanities*" non sia ancora stato sottoposto a una sperimentazione sistematica, la struttura metodologica e il quadro teorico che ne informano la progettazione consentono di formulare previsioni fondate circa i possibili impatti sullo sviluppo professionale dei partecipanti. Tali previsioni non assumono carattere speculativo, ma derivano dall'analisi comparativa di iniziative analoghe documentate in letteratura, nonché dai principi pedagogici richiamati nei capitoli precedenti. In primo luogo, ci si attende un rafforzamento della *competenza concettuale legata all'AI*, in particolare per quanto riguarda la comprensione delle logiche computazionali, delle architetture dei modelli generativi e delle loro implicazioni epistemiche. La presenza di moduli, dedicati sia ai fondamenti sia alle applicazioni, favorisce un apprendimento che procede in modo cumulativo, secondo una traiettoria che integra conoscenza dichiarativa, proceduralità e capacità interpretativa. È ragionevole ipotizzare che i partecipanti sviluppino un repertorio concettuale più solido e maggiormente capace di distinguere tra strumenti, metodi e narrative sull'AI, evitando riduzioni tecnicistiche o letture mitizzanti. Sul piano operativo, la struttura laboratoriale del MOOC lascia prevedere un incremento della capacità di *sperimentare strumenti digitali complessi* in contesti di ricerca e produzione culturale. Le attività di microprogettazione e le esercitazioni guidate, unite a momenti di riflessione metacognitiva, sono progettate per sostenere una transizione dalla mera esposizione teorica a una pratica consapevole dell'AI.

Non si tratta, tuttavia, di un orientamento addestrativo: le esercitazioni mirano a modellizzare l'uso critico e contestualizzato degli strumenti, evitando che la competenza operativa si esaurisca in una semplice esecuzione tecnica. Particolarmente rilevante, in prospettiva, è il potenziale impatto sul *piano identitario e professionale*. Il MOOC è stato ideato per sollecitare una revisione delle rappresentazioni dell'AI, spostando l'attenzione dall'idea di tecnologia autonoma o sostitutiva a quella di "mediatore epistemico", capace di riorganizzare pratiche interpretative, processi di costruzione dell'evidenza e forme di comunicazione disciplinare. Tale riposizionamento è coerente con le ricerche che documentano come ambienti formativi ad alta intensità riflessiva possano incidere sulle teorie implicite dei partecipanti, modifichino i loro criteri di valutazione e generino nuove posture interpretative nei confronti del digitale. Infine, sul *piano etico e normativo*, il percorso - strutturato in dialogo con linee guida internazionali - è configurato per promuovere una consapevolezza critica rispetto ai rischi epistemologici, ai dilemmi etici e alle implicazioni sociali dell'AI. Ciò consente di ipotizzare che il MOOC possa contribuire allo sviluppo di un habitus professionale capace di coniugare innovazione, responsabilità e sostenibilità, alimentando una postura valutativa che non separa la pratica dall'impatto culturale e sociale delle tecnologie.

In sintesi, pur in assenza di dati empirici derivanti da una sperimentazione diretta, la progettazione del MOOC lascia prevedere effetti significativi sulla crescita professionale dei partecipanti. Tali effetti includono il consolidamento delle competenze teoriche e applicative, la rielaborazione critica delle rappresentazioni dell'AI, la generazione di comunità epistemiche internazionali e la maturazione di un'etica dell'uso tecnologico coerente con la complessità contemporanea. In assenza, al momento, di una sperimentazione estesa con gruppi di partecipanti, è tuttavia possibile delineare gli impatti professionali attesi del MOOC sulla base della sua architettura pedagogica e delle evidenze provenienti dai modelli internazionali di formazione avanzata in ambito AI.

La Tab. 5 sintetizza tali ricadute in termini di sviluppo cognitivo, operativo e riflessivo.

Gli impatti qui delineati non costituiscono previsioni astratte, ma proiezioni fondate sulla coerenza interna del design formativo e sulla letteratura relativa allo sviluppo professionale digitale.

Sarà la fase di implementazione a consentire una validazione empirica di queste ipotesi, offrendo indicazioni ulteriori sulla capacità del MOOC di generare trasformazioni stabili nei profili professionali dei partecipanti.

Tabella 5 – Impatti professionali attesi dal MOOC "*Artificial Intelligence for the Humanities*"

Dimensione	Descrizione dell'impatto atteso	Fondamento teorico-metodologico
Sviluppo concettuale	Rafforzamento delle conoscenze teoriche sull'AI e sulle logiche computazionali; maggiore capacità di distinguere tra modelli, applicazioni e narrative.	Approccio modulare progressivo; *learning design* basato su fondamenti, applicazioni e riflessione.
Competenze operative	Incremento della capacità di utilizzare strumenti generativi in attività di ricerca e produzione culturale; passaggio dall'esposizione teorica alla sperimentazione guidata.	Laboratori digitali, microprogetti, esercitazioni *situated task.*
Riposizionamento professionale	Rielaborazione delle rappresentazioni dell'AI: da oggetto tecnico a mediatore epistemico; revisione delle teorie implicite sul ruolo della tecnologia nelle *Humanities*.	*Inquiry-based learning; reflective practice; epistemic design.*
Partecipazione collaborativa	Attivazione di comunità epistemiche transnazionali; scambio di pratiche e interpretazioni tra partecipanti di discipline diverse.	Forum tematici moderati; *peer review*; ambienti dialogici.
Consapevolezza etica e critica	Sviluppo di un habitus valutativo capace di integrare rischi, dilemmi etici e implicazioni sociali dell'AI.	Moduli dedicati a etica, bias, *accountability*; allineamento con linee guida internazionali.
Accessibilità e inclusione	Ampliamento della partecipazione grazie a materiali multilingua, sottotitoli adattivi e progettazione UDL.	*Universal Design for Learning*; strategie di accessibilità cognitiva e linguistica.

Capitolo X

Il progetto di Dublino: materiali audiovisivi con la GAI

10.1 Obiettivi e contesto di realizzazione

La collaborazione con il centro universitario di Dublino si inserisce nel percorso di validazione internazionale del framework Di.Ver.So. ed è tra i casi più significativi per esplorare il potenziale comunicativo ed espressivo dell'AI generativa in ambito educativo. A differenza di altre esperienze descritte nella presente Parte V, il progetto non si configura come attività didattica tradizionale, ma come intervento di comunicazione scientifica orientato alla produzione di materiali audiovisivi destinati alla sensibilizzazione di docenti e comunità pubblica sul ruolo dell'AI nella didattica. Il progetto è stato sviluppato in collaborazione con la Prof.ssa Dr Claudette Pretorius Assistant Professor dell'UCD School of Computer Science della University College Dublin, istituzione caratterizzata da una lunga tradizione nelle *Digital Humanities* e nei *Media Studies*. Tale contesto - ricco di competenze interdisciplinari e dotato di un ambiente tecnologico avanzato - ha offerto condizioni particolarmente favorevoli per una sperimentazione orientata alla *augmented creativity*, intesa come integrazione consapevole tra creatività umana e strumenti generativi.

L'iniziativa si è articolata attorno a tre obiettivi principali:

a) Esplorare l'integrazione della GAI nella comunicazione audiovisiva educativa
   Sono state analizzate le possibilità offerte dagli strumenti generativi nelle diverse fasi del processo creativo - ideazione, scrittura, visualizzazione, montaggio - con l'obiettivo di comprendere come la componente algoritmica trasformi flussi di lavoro, scelte narrative e modalità di rappresentazione.

b) Promuovere una riflessione critica sulla cultura visuale dell'AI
   Il lavoro ha consentito di interrogarsi sulle implicazioni epistemiche, etiche e semiotiche dell'uso dell'AI nella creazione di contenuti divulgativi, con particolare attenzione ai temi della veridicità dell'immagine, della responsabilità comunicativa e della trasparenza algoritmica.

c) Produrre materiali audiovisivi a fini divulgativi
   L'esito principale dell'esperienza è stato la realizzazione di brevi spot informativi, destinati al momento all'uso istituzionale in Ambito Accademico. Tali prodotti, interamente ideati e montati con il supporto della GAI, mirano a rendere accessibili al grande pubblico i benefici dell'integrazione dell'AI nella didattica, in un linguaggio comunicativo efficace, contemporaneo e culturalmente situato.

L'esperienza ha offerto una valida conferma empirica delle dimensioni *Expertise* e *Humanities* del framework Di.Ver.So., mostrando come la GAI possa ampliare le possibilità narrative e comunicative senza sostituire la progettualità dell'autore. La produzione audiovisiva si è così configurata come spazio di incontro tra intenzionalità umana e potenzialità algoritmica, aprendo nuove prospettive per una mediazione culturale più ricca, consapevole e sostenibile.

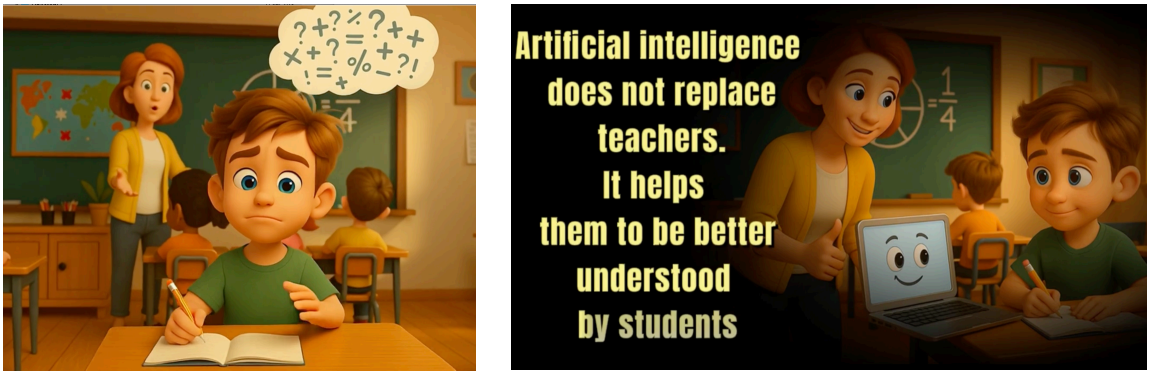


Fig.14 – Screenshot del 1° spot sull'uso dell'AI nella didattica - "L'AI per la personalizzazione dell'insegnamento".

10.2 Sviluppo dei contenuti e processi produttivi

La realizzazione dei materiali prodotti nell'ambito del progetto di Dublino ha seguito un percorso strutturato, ispirato a un modello di *augmented workflow* che integra in modo controllato la regia progettuale umana con il contributo generativo dell'AI. Questo impianto ha permesso di osservare sul campo come la tecnologia possa sostenere la comunicazione accademica senza sostituirsi ai processi interpretativi e decisionali dell'autore.

a. ELABORAZIONE DELLO STORYBOARD

La fase iniziale ha riguardato la definizione dello storyboard, utilizzato come matrice concettuale e visuale dell'intero prodotto. L'intero processo è stato condotto senza supporti algoritmici, in modo da garantire il pieno controllo autoriale sulle sequenze narrative, sui tempi, sui nodi concettuali e sulle scelte estetiche. La struttura dello storyboard ha seguito tre criteri fondamentali: *essenzialità concettuale* (per garantire coerenza con i messaggi chiave sull'AI educativa); *rigore comunicativo* (in linea con le finalità divulgative del progetto) e *scalabilità visuale*, al fine di consentire un passaggio fluido dalla progettazione umana alla generazione delle immagini.

b. GENERAZIONE E RIFINITURA DEI CONTENUTI TESTUALI TRAMITE CHATGPT

La fase successiva ha previsto l'impiego di ChatGPT come dispositivo di supporto linguistico e argomentativo. Il suo contributo non ha sostituito l'attività di scrittura, ma l'ha ampliata, coerentemente con la dimensione *Expertise* del framework Di.Ver.So. Lo strumento è stato utilizzato per produrre bozze preliminari di *voice-over* e slogan, verificare la coerenza

retorica e terminologica dei testi, e simulare diverse alternative discorsive basate su scenari comunicativi differenti (es. tono istituzionale, tono motivazionale, tono informativo). Le versioni finali sono state ottenute attraverso un processo iterativo di revisione umana, che ha garantito la piena accuratezza epistemica e la conformità ai principi etici e comunicativi dell'Istituzione partner.

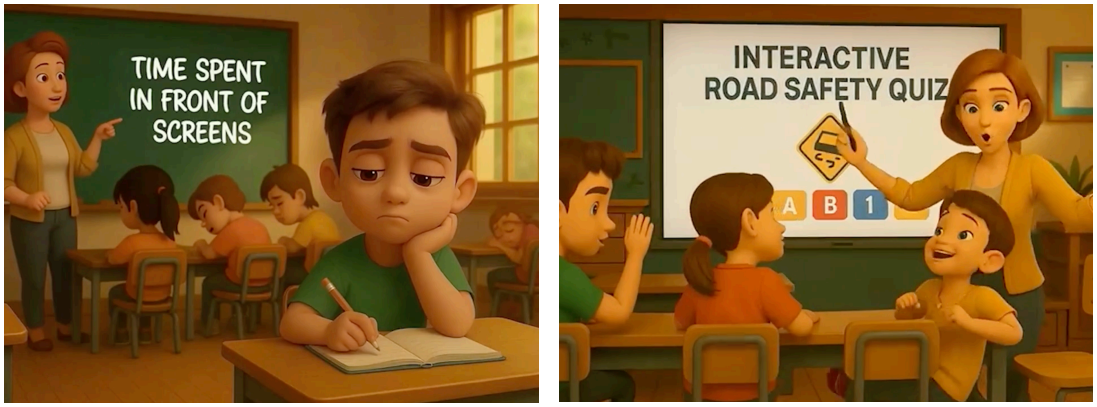


Fig.15 – Screenshot del 2° spot sull'uso dell'AI nella didattica – "L'interattività per aumentare l'engagement".

c. PRODUZIONE DELLE COMPONENTI VISUALI CON MIDJOURNEY

Una volta definito lo storyboard e stabilita la linea testuale, la fase visuale ha previsto l'impiego del tool Midjourney per la generazione delle immagini. La scelta dello strumento è stata motivata dalla capacità di rappresentare concetti astratti (es. creatività aumentata, educazione digitale, sostenibilità tecnologica) in forme visuali ad alta densità simbolica, e la possibilità di esplorare varianti iconografiche che sarebbero difficili o costose da produrre con tecniche tradizionali. Ogni immagine generata è stata sottoposta a valutazione manuale per verificarne qualità semantica, coerenza narrativa e rispetto dei criteri etici del progetto. Nella logica dell'*augmented creativity*, la tecnologia ha offerto opzioni iconografiche e suggestioni stilistiche, ma la selezione, l'interpretazione e la cura compositiva sono rimaste prerogative dell'autore umano.

d. MONTAGGIO E ASSEMBLAGGIO AUDIOVISIVO

La fase conclusiva ha integrato materiali umani e contenuti generati dall'AI in un prodotto audiovisivo coerente. Il montaggio, realizzato in ambiente professionale, ha previsto la sincronizzazione audio-video, la costruzione narrativa secondo lo storyboard, l'inserimento di *caption* esplicative e la verifica dell'impatto comunicativo complessivo. Gli spot risultanti, destinati alla disseminazione istituzionale e accademica, assumono la funzione di strumenti di sensibilizzazione alla cultura dell'AI educativa.

Rappresentano inoltre un esempio concreto di come la GAI possa sostenere la comunicazione scientifica e promuovere forme di narrazione visiva più accessibili, senza rinunciare alla profondità pedagogica.

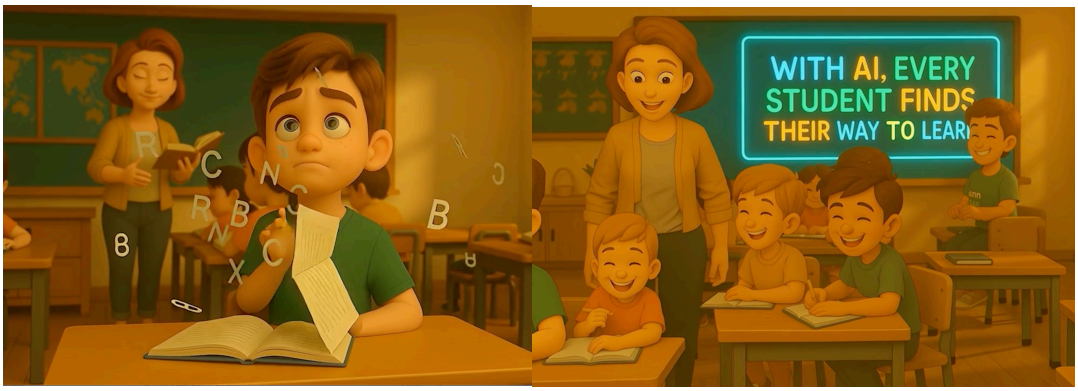


Fig.16 – Screenshot del 3° spot sull'uso dell'AI nella didattica – "L'AI a supporto della didattica speciale".

10.3 Impatti formativi e di sensibilizzazione

Il progetto audiovisivo realizzato con l'Università di Dublino non è stato concepito come un intervento formativo diretto, bensì come un dispositivo di comunicazione scientifica orientato a esplorare il potenziale della GAI nella produzione di contenuti divulgativi. In assenza, al momento, di una fase strutturata di distribuzione e valutazione, gli impatti vanno considerati come scenari plausibili, dedotti dalla progettazione e dal confronto con iniziative analoghe documentate in letteratura. Questa posizione non riduce il valore dell'esperienza, ma ne definisce i limiti interpretativi, evitando inferenze premature.

IMPATTI FORMATIVI ATTESI

Non essendo stata avviata una valutazione con destinatari reali, l'impatto formativo va considerato come effetto anticipato, basato su quanto emerso nella fase di progettazione e nelle riflessioni con i partner istituzionali. I prodotti audiovisivi generati possiedono il potenziale per assumere diverse funzioni educative. Possono operare come dispositivi di alfabetizzazione visiva sull'AI, capaci di rendere accessibili concetti complessi attraverso narrazioni sintetiche e culturalmente situate; possono diventare strumenti di introduzione critica all'AI nella formazione superiore, particolarmente utili in contesti accademici in cui la conoscenza dell'AI risulta disomogenea e spesso polarizzata tra entusiasmi ingenui e resistenze epistemiche. Possono infine fungere da materiali generativi per discussioni meta-didattiche, attivando nei docenti e negli studenti riflessioni sulle forme interpretative, creative e comunicative che l'AI rende possibili. Questi impatti restano al momento proiezioni ragionate e non evidenze osservate. La loro effettiva portata potrà essere verificata solo attraverso successive fasi di test, valutazione e revisione iterativa.

PROSPETTIVE DI SENSIBILIZZAZIONE

Nel contesto europeo, caratterizzato da una diffusione dell'AI ancora discontinua e culturalmente non omogenea, gli audiovisivi realizzati a Dublino hanno il potenziale per operare come strumenti di mediazione culturale. Potrebbero contribuire a superare narrazioni polarizzate, promuovere un linguaggio condiviso tra Università, Enti di formazione e comunità educative, e offrire a un pubblico più ampio rappresentazioni dell'AI calibrate su criteri epistemici anziché sensazionalistici. L'effettiva ricaduta dipenderà dalle strategie di disseminazione, dalla ricezione istituzionale e dalla disponibilità dei destinatari a confrontarsi con contenuti che valorizzano la complessità più che la spettacolarizzazione tecnologica.

VALORE NEL QUADRO DEL FRAMEWORK DI.VER.SO.

Pur senza evidenze empiriche immediate, il progetto costituisce un tassello importante nel percorso di validazione del framework Di.Ver.So. La sperimentazione mostra infatti come la GAI possa sostenere, oltre all'insegnamento, anche la comunicazione accademica e istituzionale, estendendo la capacità narrativa e culturale degli autori. Consente inoltre di osservare in un contesto reale la logica della *augmented creativity*, centrata sull'uso dell'AI come estensione dell'intenzionalità umana e non come sostituzione dell'autorialità. Infine, prefigura modalità di disseminazione educativa sostenibile che potranno essere sviluppate in future iniziative. In questa prospettiva, il progetto funge da prova concettuale più che da verifica sperimentale, offrendo un importante contributo alla coerenza metodologica e all'espansione applicativa del modello.

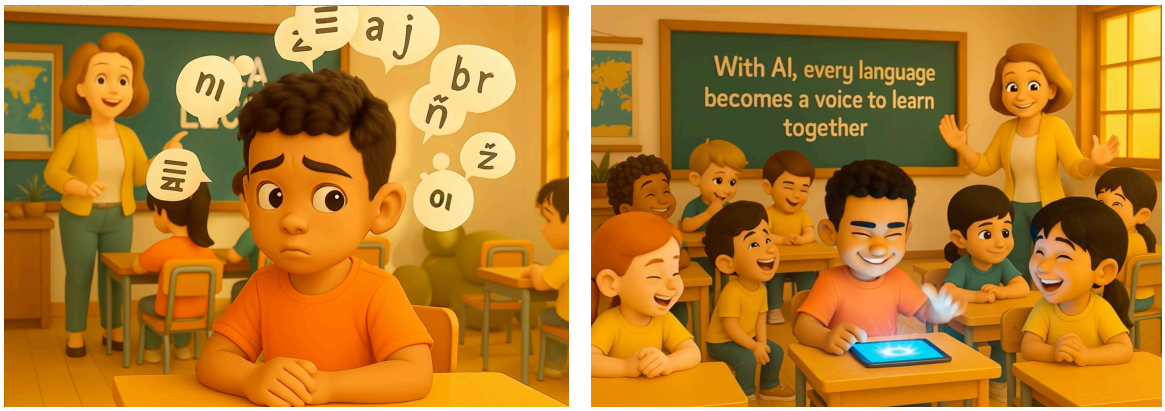


Fig.17 – Screenshot del4°spot sull'uso dell'AI nella didattica - "L'AI come integrazione linguistica".

Capitolo XI

Collaborazione con l'Università degli Studi di Milano

La collaborazione con l'Università degli Studi di Milano, sviluppata con il Gruppo di Ricerca in Glaciologia e Cambiamenti Climatici (Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali - APGEST), si inserisce nella fase di validazione tematica del framework Di.Ver.So., configurandosi come un terreno di sperimentazione avanzata in cui l'AI viene interrogata non come tecnologia autonoma, ma come mediatore cognitivo e culturale all'interno della comunicazione scientifica contemporanea. Il lavoro si inserisce nel quadro delle iniziative dedicate alla divulgazione glaciologica e alla sostenibilità climatica, ambiti in cui l'urgenza comunicativa si intreccia con la necessità di rendere accessibili fenomeni ad elevata complessità epistemica.

11.1 L'AI per la comunicazione ambientale e la sostenibilità

L'interesse del gruppo milanese per la GAI muove dalla consapevolezza che l'evoluzione dei fenomeni climatici richiede oggi nuovi linguaggi di rappresentazione capaci di restituire la profondità temporale e la fragilità dei sistemi ambientali. In questa prospettiva, l'AI - nelle sue componenti generative, predittive e di analisi visuale - non è impiegata come strumento sostitutivo della competenza del ricercatore, ma come estensione cognitiva utile a tradurre dati glaciologici, misure termiche e serie storiche in forme comunicative comprensibili e culturalmente situate. L'approccio adottato si colloca nel solco dello *Universal Design for Learning* e dei paradigmi dell'Educazione alla Sostenibilità, interpretando la comunicazione scientifica come un processo di mediazione culturale. La costruzione del significato, in questa logica, non coincide con il semplice trasferimento di contenuti, ma con la ricontestualizzazione dei dati entro un'ecologia di strumenti, immagini e narrazioni. In questo quadro, l'AI permette di sperimentare modalità comunicative capaci di superare la dicotomia tra linguaggio tecnico ed esperienza comune.

Tale direzione è esemplarmente rappresentata da prodotti recenti della ricerca accademica, come il modello transnazionale sviluppato in "*Empowering Youth for Climate Resilience: A Geographical Education Model from Italy and Turkey*" (Senese et al., 2025a), che mostra come visualizzazioni digitali, dataset ambientali e narrazioni geografiche possano concorrere alla costruzione di una *climate literacy* partecipata. L'esperienza milanese conferma, dunque, la capacità del framework Di.Ver.So. di dialogare con ambiti disciplinari complessi, rafforzando l'asse della sostenibilità e offrendo una prova di coerenza tematica nella prospettiva della comunicazione scientifica contemporanea.

11.2 Attività svolte e prodotti generati

L'apporto della ricerca presentata in questa tesi si è concretizzato lungo tre direttrici operative.

(1) Produzione multimediale e design glaciologico

Sono stati sviluppati pannelli interattivi, visualizzazioni dinamiche e materiali multimediali destinati ai percorsi glaciologici, costruiti a partire dai dataset forniti dai gruppi di ricerca milanesi. L'impiego mirato della GAI ha consentito di modellare immagini, animazioni e ricostruzioni sceniche che facilitano la percezione dei processi di fusione, regressione dei ghiacciai e variazioni microclimatiche. Questa modalità espressiva ha migliorato la leggibilità dei fenomeni, rendendoli accessibili anche a pubblici non specialisti e rafforzando il valore comunicativo dei contenuti scientifici.

(2) Supporto alla formazione universitaria e tutoraggio nei laboratori

Nell'ambito dei corsi dedicati alla comunicazione geoscientifica e all'AI applicata alle scienze della Terra, sono stati svolti interventi di tutoraggio e accompagnamento progettuale, orientati allo sviluppo di una competenza critica nell'uso degli strumenti AI.

(3) Ricerca condivisa e disseminazione scientifica

La collaborazione ha portato alla redazione congiunta di articoli scientifici volti a esplorare l'intersezione tra AI, comunicazione climatica ed educazione geoscientifica.

11.3 Esiti scientifici e pubblicazioni

Sul piano scientifico, la collaborazione ha prodotto alcuni contributi di rilievo internazionale, che costituiscono i principali riferimenti per la validazione della ricerca.

a) Il modello europeo di educazione geografica e climatica è stato formalizzato nell'articolo sopra citato **pubblicato** da Geographies (Senese et al., 2025), realizzato in collaborazione con il gruppo APGEST dell'Università di Milano. Il lavoro propone un framework replicabile di educazione alla resilienza climatica fondato su metodologie partecipative e strumenti digitali immersivi.

b) La sperimentazione sull'uso didattico della GAI è stata presentata nello studio "*Comparing Human-Designed and AI-Enhanced Science Lessons: A Pilot Study in K-5 Education*" **pubblicato** sull'Iris Journal of Educational Research (Senese, Marzano et al., 2025). La ricerca, di tipo *mixed methods*, ha confrontato l'efficacia di lezioni scientifiche tradizionali e di unità progettate con supporto della GAI in classi della Scuola dell'Infanzia e Primaria. I risultati hanno evidenziato la complementarità tra dimensione umana e artificiale nei processi di insegnamento scientifico, confermando che l'AI può potenziare l'*engagement* e l'apprendimento concettuale, a condizione che sia mediata da una guida pedagogica intenzionale. Lo studio, condotto in sinergia tra Università di Milano e

Università di Foggia, costituisce una delle prime validazioni empiriche del paradigma Di.Ver.So. applicato all'educazione scientifica di base.

c) La sperimentazione glaciologica e comunicativa in corso è confluita nell'articolo "*The challenges of the "ephemeral path". Problems and issues of explaining climate change and its environmental impact through the development of glaciological trails*", attualmente ***under review*** presso Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria (Senese et al., 2025). Il lavoro, derivante dalla collaborazione avviata con l'Università di Milano e Legambiente, analizza le criticità legate alla comunicazione dei fenomeni glaciologici e alle strategie narrative per la divulgazione del cambiamento climatico.
d) Una versione italiana di questo articolo - "*Ephemeral paths: the "glaciological trails" between science and dissemination"* (Smiraglia et al., 2025) - è già è stato **pubblicato** da parte del Comitato Scientifico del CAI.
e) Un contributo è stato anche fornito per la realizzazione dell'articolo "*Cryosphere Ecosystem Services: a systematic review of assessment methods*", **sottomesso** per la pubblicazione presso la Ecosysem Services (Filippelli et al. 2025). Esso che offre una rassegna sistematica sui servizi ecosistemici della criosfera, analizzando 62 studi dal 2000 al 2025, ed evidenzia quali servizi sono stati maggiormente studiati, quali metodi di valutazione vengono utilizzati e dove persistono le principali lacune geografiche e metodologiche, mostrando la necessità di approcci più integrati e inclusivi.
f) La sperimentazione, presentata anche al Congresso Nazionale di Geoscienze (SGI-SIMP, Padova 2025), ha introdotto l'uso di pannelli multimediali e percorsi interattivi, basati su AI e AR, per rendere accessibile al pubblico la dinamica evolutiva dei ghiacciai alpini. Di questo è stato **pubblicato** l'Abstract Book.

11.4 Prospettive di estensione del framework Di.Ver.So.

L'esperienza sviluppata con l'Università degli Studi di Milano rappresenta una validazione tematica del framework Di.Ver.So., poiché ne mette alla prova i principi costitutivi al di fuori del contesto scolastico K-12 e ne verifica la trasferibilità in ambiti di ricerca avanzata e di comunicazione scientifica. L'interazione con domini come la glaciologia, la geografia fisica e la divulgazione ambientale mostra che verticalità, sostenibilità e integrazione interdisciplinare non sono proprietà circoscritte al curricolo scolastico, ma criteri generativi utili alla costruzione di modelli formativi in contesti ad alta complessità cognitiva. In questa prospettiva, la verticalità curricolare si traduce in una continuità educativa che collega scuola, Università e spazi di divulgazione pubblica, mentre la sostenibilità cognitiva emerge nell'esigenza di rendere intelligibili fenomeni climatici caratterizzati da temporalità profonde e processi non intuitivi. L'integrazione interdisciplinare prende forma nel dialogo organico tra geoscienze, pedagogia, comunicazione digitale e studi sull'AI, generando configurazioni di

conoscenza non riconducibili a un singolo dominio. Da tale convergenza nasce un concetto operativo che attraversa l'intera collaborazione: *l'AI Literacy ambientale*. Non indica soltanto l'abilità di utilizzare strumenti algoritmici nella ricerca scientifica, ma una competenza complessa che integra lettura critica dei dati, interpretazione delle rappresentazioni, responsabilità etica e mediazione comunicativa. È una forma emergente di cittadinanza ecologica e digitale, situata all'incrocio tra educazione scientifica e cultura tecnologica. L'esperienza milanese mostra così che l'AI, collocata entro configurazioni riflessive e pedagogicamente controllate, può agire come dispositivo trasformativo capace di connettere produzione scientifica, formazione superiore e partecipazione pubblica alla conoscenza. In questo senso diviene non un semplice ausilio tecnologico, ma un agente epistemico che contribuisce alla costruzione culturale della sostenibilità.

11.5 Prospettive di ricerca

I risultati ottenuti suggeriscono lo sviluppo di una linea di ricerca capace di integrare stabilmente GAI, comunicazione ambientale ed educazione scientifica, riconoscendone la complementarità epistemica. L'intersezione tra dataset glaciologici, strumenti generativi e modelli narrativi mostra la possibilità di elaborare un paradigma formativo orientato alla sostenibilità cognitiva, nel quale la co-creazione dei materiali diventa occasione per approfondire in modo qualitativamente nuovo la comprensione della crisi climatica. Una prospettiva strategica consiste nella costruzione di una rete europea di *AI Literacy ambientale*, in grado di connettere competenze accademiche, pratiche educative e modelli di comunicazione pubblica. Una rete di questo tipo avrebbe il compito di consolidare metodologie condivise, promuovere scambi tra comunità professionali diverse e sostenere percorsi di ricerca comparativa su scale territoriali differenti, rafforzando l'infrastruttura epistemica necessaria alla formazione climatica contemporanea. In questo quadro, l'AI non si configura né come mero oggetto di indagine né come strumento operativo, ma come forma di pensiero per la sostenibilità. Funziona da catalizzatore che favorisce l'incontro tra scienza, società e cultura e contribuisce alla costruzione di nuove ecologie cognitive attraverso cui fenomeni ambientali complessi diventano intelligibili, comunicabili e pedagogicamente trattabili.

11.6 Verso una sintesi

La Parte V ha approfondito la validazione internazionale del framework Di.Ver.So., mostrando come i suoi principi generativi (*verticalità, sostenibilità e integrazione interdisciplinare*) mantengano coerenza anche quando traslati in contesti accademici, culturali e scientifici ad alta complessità. Le tre esperienze analizzate, pur diverse per finalità e configurazione, convergono nel delineare un quadro unitario dove l'AI non agisce come tecnologia estrinseca ai processi educativi, ma come dispositivo epistemico che riorganizza

forme di conoscenza, pratiche interpretative e modalità di partecipazione culturale. Il MOOC europeo su AI e *Humanities* ha mostrato la capacità del framework di sostenere percorsi formativi avanzati fondati su rigore concettuale, operatività controllata e riflessività etica. Il progetto audiovisivo con l'Università di Dublino ha evidenziato il potenziale trasformativo della GAI nella comunicazione accademica, attestando la possibilità di una *augmented creativity* capace di ampliare la portata narrativa senza ridurre l'intenzionalità autoriale. La collaborazione con il gruppo di glaciologia dell'Università di Milano ha infine offerto un esempio di validazione tematica in un dominio scientifico ad alta densità cognitiva, introducendo il concetto di *AI Literacy* ambientale come forma emergente di competenza ecologica e digitale. Nel loro insieme, tali casi configurano una validazione multilivello che conferma la solidità pedagogica del Di.Ver.So. e la sua trasferibilità oltre il perimetro scolastico. Il framework mostra di poter dialogare con le esigenze della formazione universitaria, della divulgazione scientifica e della comunicazione pubblica, mantenendo continuità con il suo impianto teorico e ampliandone il raggio d'azione. La prospettiva che ne deriva non è quella di un modello prescrittivo, ma di un dispositivo culturale capace di orientare pratiche e significati nei diversi luoghi in cui si costruisce conoscenza sull'AI.

La Parte V si chiude dunque con un'evidenza chiara: l'AI, quando inscritta in configurazioni educative riflessive e culturalmente situate, diviene un agente di trasformazione cognitiva e sociale. Il framework proposto ne interpreta e governa questa complessità, offrendo un paradigma per una formazione digitale sostenibile che coniuga responsabilità, immaginazione e cittadinanza cognitiva.

La Parte VI proseguirà su questo piano di coerenza, formalizzando la modellizzazione teorico-curricolare del framework e delineandone le implicazioni per la scuola dell'AI e per le politiche educative del prossimo futuro.

PARTE VI – DISCUSSIONE, IMPLICAZIONI E PROSPETTIVE

Capitolo XII

Produzione scientifica e diffusione dei risultati

La disseminazione scientifica sviluppata nel corso del dottorato non rappresenta un elemento marginale, ma una componente strutturale della validazione epistemologica e metodologica del framework Di.Ver.So. Le attività realizzate - *pubblicazioni, sperimentazioni empiriche, collaborazioni internazionali, partecipazioni a conferenze e iniziative di terza missione* - hanno accompagnato in modo ricorsivo le diverse fasi del lavoro, operando come dispositivo di verifica esterna e come forma di riconoscimento comunitario.

Il percorso si è aperto con la *review* sistematica *open access* **pubblicata** su Technology, Knowledge and Learning di Springer Nature - "*Generative Artificial Intelligence (GAI) in Teaching and Learning Processes at the K-12 Level: A Systematic Review"* (Marzano, 2025) - che ha delineato il quadro teorico di riferimento e anticipato i principi cardine del modello, in particolare verticalità curricolare, modularità formativa e sostenibilità cognitiva.

L'articolo **under review** presso il *Curriculum Journal* di BERA (British Educational Research Association) - "*Generative Artificial Intelligence in Education: models, frameworks and the proposal for a new vertical K-12 Digital Curriculum"* (Marzano et al., 2025) - approfondisce la proposta del nuovo framework in dialogo con i modelli esistenti, mentre l'articolo **pubblicato** *open access* su Education Sciences & Society di Franco Angeli - "*La formazione degli insegnanti sull'uso delle TIC nella didattica e l'integrazione di AI e GAI: un'analisi critica tra passato e prospettive future*" (Marzano, 2025) - analizza l'evoluzione delle politiche di *Digital Literacy* nella formazione degli insegnanti, evidenziando la necessità di un approccio critico all'integrazione di AI e GAI nella didattica.

Gli studi empirici successivi hanno rappresentato il banco di prova applicativo della ricerca. L'articolo "*Comparing Human-Designed and AI-Enhanced Science Lessons: A Pilot Study in K-5 Education"* (Senese et al., 2025), **pubblicato** su *Iris Journal of Educational Research*, ha confrontato due progetti di lezione - tradizionale e *AI-augmented* - offrendo una prima validazione sperimentale dei presupposti del framework. In parallelo, l'indagine nazionale su oltre mille docenti ha prodotto un dataset originale che documenta percezioni, attitudini e pratiche relative all'AI nel sistema educativo italiano, contribuendo alla definizione di future politiche formative. La disseminazione ha assunto una dimensione pienamente internazionale attraverso i progetti di collaborazione con Enti europei, come con la Library dell'European University Institute (EUI) e l'Università di Dublino, ampiamente descritti nei paragrafi precedenti.

Un ruolo strategico è stato svolto anche dalla collaborazione con l'Università degli Studi di Milano, collocata nell'ambito della comunicazione ambientale e della glaciologia con la quale sono stati prodotti gli articoli illustrati nel §11.3.

Tra gli esiti più significativi della disseminazione figura la monografia "*Prompt… attenti v…AI! Capire finalmente l'Intelligenza Artificiale Generativa e come usarla a scuola*" (Marzano, 2024), **pubblicata** per Accademia Edizioni & E., un volume concepito come strumento di mediazione tra ricerca accademica e pratiche didattiche. Il testo traduce i principi del framework in strumenti operativi per docenti, articolati in tre sezioni dedicate alla comprensione teorica dell'AI, alla progettazione didattica e alla riflessione critica sulla relazione educativa.

Interessante anche il contributo "*Informatica e New Literacies*", scritto con Alessandro Ricci e Ylenia Battistini, nel manuale "*Didattica e New Literacies*" (Panciroli&Rivoltella et al, 2025) **pubblicato** da Mondadori Education, il quale ha sviluppato il tema delle *Digital Literacy, AI Literacy e Media Literacy,* integrando prospettive tecnologiche, pedagogiche ed etiche. Numerosi saggi del volume affrontano temi affini a quelli sviluppati nel framework Di.Ver.So., confermandone la rilevanza concettuale nel panorama attuale della ricerca educativa.

Infine, significativa la partecipazione a conferenze e contesti istituzionali come il Congresso Nazionale di Geoscienze (SGI–SIMP, Padova 2025), nel quale è stato possibile parlare dei vantaggi della GAI nell'apprendimento.

Nel complesso, le attività di diffusione realizzate nel triennio documentano la maturità del percorso, la solidità interna del framework Di.Ver.So. e la sua capacità di generare conoscenza trasferibile in contesti formativi e scientifici differenti.

L'elenco completo delle pubblicazioni è riportato in appendice come testimonianza empirica di un processo che da modello teorico si è evoluto in dispositivo condiviso di analisi, progettazione e trasformazione educativa.

Capitolo XIII

Impatto e prospettive future

13.1 Contributi originali della ricerca

La presente ricerca apporta contributi originali su tre piani complementari - *epistemologico, metodologico e progettuale* - che nel loro insieme delineano l'autonomia scientifica e la rilevanza innovativa del percorso dottorale.

A) CONTRIBUTO EPISTEMOLOGICO

Sul versante teorico, il framework Di.Ver.So. propone una rilettura critica dei modelli consolidati (TPACK, DigCompEdu) e ne supera i limiti descrittivi introducendo tre dimensioni finora marginali nel panorama internazionale: la *verticalità curricolare* come continuità evolutiva delle competenze digitali lungo l'intero arco formativo; la *modularità progressiva*, che permette al modello di adattarsi a contesti e livelli diversi; la *sostenibilità educativa*, intesa come equilibrio tra innovazione, responsabilità e benessere cognitivo. Queste dimensioni collocano Di.Ver.So. come dispositivo concettuale originale, capace di integrare *AI Literacy*, cittadinanza digitale e competenze trasversali in una prospettiva pedagogica non tecnocentrica. Il contributo epistemologico risiede nella capacità del modello di ridefinire la relazione tra AI e formazione, orientando l'attenzione verso processi di conoscenza riflessiva mediati dall'AI e non verso l'uso meramente strumentale delle tecnologie.

B) CONTRIBUTO METODOLOGICO

Dal punto di vista metodologico, la ricerca adotta un disegno misto sequenziale esplicativo (*explanatory sequential mixed methods*) che consente una triangolazione robusta fra dati quantitativi e qualitativi. L'integrazione di survey nazionali, interviste, focus group e analisi documentali produce una lettura multilivello delle percezioni e delle pratiche dei docenti, riducendo i rischi di interpretazioni parziali e aumentando la validità contestuale dei risultati. L'approccio, ispirato alla *design-based research*, ha reso possibile la validazione progressiva del modello attraverso cicli successivi di progettazione, implementazione e revisione, conferendo alla ricerca un carattere riflessivo e generativo più che meramente verificativo.

C) CONTRIBUTO PROGETTUALE

Sul piano applicativo, le sperimentazioni condotte in Italia e in ambito internazionale confermano la trasferibilità del modello e la sua scalabilità in contesti formativi, accademici e culturali eterogenei.

Le attività realizzate nelle scuole, il MOOC europeo sull'AI e le scienze umane, il progetto audiovisivo con l'Università di Dublino e la collaborazione con il gruppo di glaciologia dell'Università di Milano mostrano come Di.Ver.So. possa guidare pratiche di innovazione sostenibile, rafforzare la professionalità docente e sostenere processi di comunicazione scientifica avanzata. Il framework si dimostra così capace di utilizzare l'AI come mediatore cognitivo e culturale, promuovendo forme di apprendimento riflessivo, etico e partecipativo.

Nel loro insieme, questi contributi delineano l'identità della ricerca, un percorso che parte da un *impianto teorico solido*, si *sviluppa attraverso una metodologia rigorosa* e *si traduce in un modello operativo* che produce effetti osservabili nella formazione, nella comunicazione scientifica e nella progettazione didattica.

Il lavoro svolto conferma il ruolo della pedagogia come disciplina capace di orientare l'innovazione tecnologica, offrendo strumenti critici e progettuali per abitare consapevolmente la scuola e la società dell'intelligenza artificiale.

13.2 Valore innovativo del framework Di.Ver.So.

Il framework Di.Ver.So. introduce una prospettiva pedagogica originale sull'educazione all'AI, distinguendosi per la capacità di integrare, in un'unica architettura concettuale, tre dimensioni strutturali (verticale, modulare e sistemica) tradizionalmente considerate in modo separato nella letteratura internazionale sulle *Digital Literacies* e sui modelli di AI in educazione. La forza innovativa del modello risiede precisamente nella coerenza con cui tali dimensioni sono coordinate, dando vita a un impianto formativo che supera approcci frammentari, episodici o strettamente tecnocentrici.

a) PROSPETTIVA VERTICALE

La *verticalità curricolare* rappresenta il primo elemento di discontinuità rispetto ai modelli esistenti. Essa garantisce continuità e progressione dall'Infanzia all'Università e consente di superare la natura episodica di molte iniziative legate al digitale. La competenza sull'AI si sviluppa così lungo un *percorso evolutivo* che cresce in complessità e profondità. Questa impostazione assume un valore formativo, perché sostiene la costruzione graduale *dell'AI Literacy*, e al tempo stesso un valore politico, perché offre un modello di coerenza longitudinale utile per la definizione di policy nazionali e sovranazionali.

b) DIMENSIONE MODULARE

Il secondo elemento innovativo è la *modularità progressiva*. Il framework può essere scomposto in unità flessibili e adattabili ai diversi ordini di scuola, alle discipline e ai contesti culturali. Ogni modulo funziona come elemento autonomo o come parte di un curricolo integrato, favorendo un approccio personalizzabile e inclusivo.

La modularità risponde alle esigenze di trasferibilità e scalabilità emerse nelle sperimentazioni e rende Di.Ver.So. una piattaforma metodologica adatta alla formazione iniziale e continua dei docenti.

c) LOGICA SISTEMICA E SOSTENIBILE

Di.Ver.So. si distingue, infine, per la sua logica sistemica e sostenibile, che supera l'idea di competenza digitale come semplice abilità tecnica, includendo la dimensione etica, il benessere digitale e la sostenibilità ambientale. Il modello integra principi di *well-being digitale*, *ethics-by-design* e *sustainability literacy*, proponendo una visione olistica dell'educazione all'AI. Essa viene considerata non solo come strumento tecnologico, ma come oggetto culturale e relazionale, la cui comprensione richiede consapevolezza cognitiva, responsabilità sociale e pensiero critico.

Queste tre dimensioni collocano Di.Ver.So. oltre le prospettive tecnocentriche o competenziali dominanti, conferendogli una natura pedagogico–sistemica. Il framework interagisce con le principali politiche educative europee (DigCompEdu) e nazionali (PNRR, Piano Scuola 4.0), ma se ne differenzia per l'intento di integrare la tecnologia con la formazione della persona e della cittadinanza critica. In tal modo, Di.Ver.So. non si limita a recepire linee guida istituzionali, ma offre un contributo originale al dibattito scientifico internazionale, proponendo una concezione di AI Education fondata su sostenibilità cognitiva, riflessività etica e continuità formativa.

13.3 Impatto sulla scuola, le *policies* e l'Università

Le ricadute della ricerca possono essere lette lungo tre livelli tra loro interdipendenti - scuola, policies, Università - nei quali il framework Di.Ver.So. opera come dispositivo di mediazione tra innovazione pedagogica, sviluppo professionale e trasformazione istituzionale.

A) IMPATTO SULLA SCUOLA

Nel sistema scolastico, Di.Ver.So. offre ai docenti una cornice stabile per integrare la GAI nei processi di insegnamento e apprendimento attraverso pratiche riflessive e sostenibili. Il modello sostiene la progettazione di percorsi che intrecciano competenze disciplinari, trasversali e metacognitive, favorendo una *AI Literacy* capace di alimentare pensiero critico, creatività e responsabilità etica. La struttura verticale e modulare del framework permette di costruire curricoli progressivi, inclusivi e coerenti con i ritmi di sviluppo degli studenti, mantenendo centrale la dimensione umanistica dell'educazione. Le evidenze empiriche presentate nella Parte IV confermano inoltre che la GAI, quando mediata da una guida

pedagogica solida, può diventare parte del processo cognitivo e non un semplice ausilio tecnico, generando ambienti di apprendimento più riflessivi e partecipati.

B) IMPATTO SULLE POLICIES

Le indagini condotte su larga scala e le attività di validazione internazionale offrono elementi utili alla definizione di politiche formative basate su evidenze. Di.Ver.So. si configura come strumento di progettazione strategica capace di dialogare con i principali riferimenti istituzionali (DigCompEdu, Piano Scuola 4.0, Raccomandazioni Europee sull'AI), proponendo un orientamento centrato sulla sostenibilità cognitiva, sull'equità educativa e sul benessere digitale. Il modello mostra in che modo un approccio sistemico all'AI possa informare la governance scolastica, sostenendo scelte capaci di integrare innovazione tecnologica e responsabilità formativa. In questa prospettiva, Di.Ver.So. diventa un supporto per politiche curricolari che superano interventi episodici e promuovono una visione lunga dell'educazione digitale.

C) IMPATTO SULL'UNIVERSITÀ E SULLA RICERCA

Nel mondo accademico, la tesi contribuisce a rafforzare il ruolo delle Learning Sciences come spazio interdisciplinare dedicato allo studio dell'AI nei contesti educativi. Le collaborazioni con Dublino, Milano ed EUI hanno mostrato la possibilità di integrare *AI Literacy* critica, produzione multimediale, ricerca teorica e sperimentazioni sul campo all'interno di percorsi universitari e *post-graduate*. In questo scenario, Di.Ver.So. si propone come piattaforma concettuale per progettare modelli formativi innovativi e per costruire comunità di ricerca orientate a un'AI educativa etica, sostenibile e culturalmente situata. Il suo impatto va oltre il contesto nazionale e si colloca nel dibattito internazionale promosso da UNESCO e OECD, che interpretano l'AI come infrastruttura cognitiva capace di trasformare la formazione, la ricerca e le pratiche di cittadinanza contemporanea.

13.4 Limiti dello studio

L'impianto teorico e la consistenza delle evidenze raccolte conferiscono solidità al percorso di ricerca, ma è necessario esplicitare alcuni limiti strutturali e metodologici, in un'ottica di rigore epistemologico e continuità riflessiva. La loro discussione non indebolisce il modello, bensì ne chiarisce la portata e apre direzioni di sviluppo coerenti con la natura incrementale della *Design-based research*.

Un primo limite riguarda la survey nazionale, costruita attraverso partecipazione volontaria e non probabilistica. Sebbene il campione sia ampio e diversificato, permangono possibili bias di auto-selezione che riducono la rappresentatività statistica dei risultati. I dati

forniscono un quadro stabile delle percezioni e delle pratiche dei docenti, ma la loro forza risiede nella coerenza interpretativa più che nella generalizzazione inferenziale.

Un secondo limite concerne le sperimentazioni progettuali, condotte in contesti caratterizzati da una predisposizione favorevole all'innovazione. Tale configurazione può aver facilitato l'accoglienza dell'AI come risorsa didattica, rendendo necessario, in studi futuri, il coinvolgimento di scuole e istituzioni con diversi livelli di maturità digitale, per testare la robustezza del framework in condizioni più eterogenee. Un terzo limite riguarda l'implementazione del modello Di.Ver.So., validato in molteplici esperienze, ma non ancora sottoposto a monitoraggi longitudinali. La valutazione degli effetti nel medio e lungo periodo - in particolare sulla formazione docente, sulla sostenibilità cognitiva degli apprendimenti e sulla costruzione di curricoli verticali coerenti - richiede analisi sistematiche che superino la dimensione sperimentale.

Infine, la rapida evoluzione delle tecnologie di AI introduce un rischio intrinseco di obsolescenza metodologica. Strumenti, piattaforme e modelli cambiano con celerità, imponendo un aggiornamento continuo dei protocolli e dei materiali di riferimento. Questo limite non compromette la validità della ricerca, ma sottolinea la necessità di un approccio adattivo, capace di integrare nuovi sviluppi nel solco del framework e di mantenerne nel tempo la pertinenza pedagogica. In questa prospettiva, la *trasparenza sui limiti* non rappresenta una fragilità, ma un indicatore di qualità scientifica. Essa orienta le future linee di approfondimento, sostiene la progettazione di ulteriori fasi di ricerca e rafforza il dialogo fra teoria, pratica e verifica empirica, confermando la natura evolutiva del modello.

13.5 Linee di ricerca futura e sintesi conclusiva

Alla luce delle evidenze emerse e dei limiti discussi nei paragrafi precedenti, le linee di sviluppo future si dispiegano lungo le tre domande che hanno orientato l'intero percorso dottorale: (i) *in che modo l'AI può trasformare i processi di insegnamento-apprendimento e la cittadinanza digitale*; (ii) *quali modelli teorici e metodologici risultano più efficaci per integrare l'AI nei curricoli in modo sostenibile ed eticamente fondato*; (iii) *in che misura il framework Di.Ver.So. rappresenta un contributo originale e trasferibile alla ricerca educativa, alla formazione docente e alle politiche d'innovazione*.

In questa prospettiva, le direttrici di ricerca futura non costituiscono un'aggiunta esterna al modello, ma l'evoluzione naturale di un framework che nasce come architettura dinamica e generativa.

1. Estensione internazionale e adattabilità interculturale

   Una priorità riguarda l'attivazione di sperimentazioni pilota in sistemi educativi eterogenei, per verificare la trasferibilità del modello oltre il contesto italiano. Tale

operazione consentirebbe di esplorare variabili culturali, curricolari e organizzative, contribuendo alla definizione di una *AI Literacy* comparativa e interculturalmente fondata. In tale quadro, le collaborazioni già avviate a livello internazionale e le esperienze maturate nei MOOC e nei progetti europei rappresentano un terreno privilegiato per sviluppare studi multi-sito e reti di ricerca transnazionali.

2. Studi longitudinali e monitoraggio delle competenze

   Una seconda direttrice riguarda il passaggio da misurazioni puntuali a disegni longitudinali, necessari per monitorare nel medio e lungo termine gli effetti cognitivi e motivazionali dell'adozione verticale del curricolo Di.Ver.So. sugli studenti. Studi pluriennali permetterebbero di verificare la stabilità degli apprendimenti e l'evoluzione della motivazione, della curiosità epistemica, dell'autoregolazione e della metacognizione, nonché l'impatto sul benessere digitale. Tale approccio richiede lo sviluppo di strumenti sensibili alla dimensione verticale del curricolo, capaci di rilevare la progressiva interiorizzazione di pratiche di AI Literacy critiche e consapevoli e di distinguere gli effetti iniziali legati alla novità tecnologica dai cambiamenti cognitivi e motivazionali più profondi e duraturi.

3. Educazione scientifica di frontiera e cittadinanza ecologica

   Una prospettiva particolarmente significativa deriva dalla collaborazione con l'Università degli Studi di Milano nell'ambito della glaciologia, della comunicazione ambientale e dell'educazione alla resilienza climatica. Tale esperienza mostra come Di.Ver.So. possa estendersi oltre l'alfabetizzazione digitale in senso stretto e dialogare con l'educazione scientifica di frontiera, traducendo dati, modelli e fenomeni climatici complessi in esperienze didattiche accessibili, partecipative e criticamente mediate. L'integrazione tra AI, comunicazione scientifica e sostenibilità apre così una direttrice di sviluppo orientata alla cittadinanza ecologica: gli studenti non sono soltanto destinatari di informazioni ambientali, ma soggetti capaci di interpretare evidenze, riconoscere la complessità dei fenomeni e partecipare responsabilmente alla costruzione di significati e decisioni collettive. Questo ambito rappresenta uno dei terreni più promettenti per la futura estensione interdisciplinare del framework.

4. Evoluzione epistemica del ruolo docente

   L'introduzione dell'AI nelle pratiche educative solleva interrogativi profondi sulla trasformazione della professionalità docente. Futuri studi dovranno indagare come si ristrutturano le competenze interpretative, valutative e metacognitive degli insegnanti in ambienti di apprendimento aumentati dall'AI, e in che modo essi agiscono come mediatori critici tra automazione, significazione e responsabilità. Il framework offre una lente per analizzare la ridefinizione del ruolo docente come "infrastruttura cognitiva" e garante

dell'etica dell'interpretazione, mettendo a fuoco tensioni, resistenze e potenzialità di questo processo di ri-professionalizzazione.

5. Piattaforme condivise e comunità di pratica

   Un ulteriore asse riguarda lo sviluppo di ambienti digitali collaborativi in grado di supportare comunità di pratica tra docenti, formatori e ricercatori. *Repository* di attività, strumenti co-creativi, dispositivi di *peer review* e spazi di documentazione riflessiva possono favorire la circolazione di buone pratiche, la co-costruzione di risorse didattiche aumentate dall'AI e la nascita di veri e propri ecosistemi professionali. In questo quadro, Di.Ver.So. può fungere da infrastruttura concettuale e operativa per progettare piattaforme formative - inclusi MOOC e *percorsi blended* - che integrino curricolo, accompagnamento professionale e ricerca sul campo.

6. Dialogo con le *policies* globali e definizione di standard internazionali

   Infine, una prospettiva strategica riguarda il rafforzamento del dialogo con le principali policy globali (UNESCO, OECD, Commissione Europea) sull'AI in educazione. Il framework può contribuire alla definizione di standard internazionali fondati su sostenibilità cognitiva, equità, inclusione e tutela dei diritti digitali, offrendo alle politiche educative un modello *evidence-informed* capace di integrare teoria, metodo e responsabilità. L'obiettivo non è produrre un'ulteriore norma prescrittiva, ma fornire un riferimento concettuale e operativo per interpretare l'AI come infrastruttura culturale e formativa

In continuità con queste linee di sviluppo indicate, la sintesi conclusiva della ricerca consente di ricomporre i diversi livelli del lavoro (*teorico, metodologico, empirico e progettuale*) in una visione unitaria. La costruzione del framework Di.Ver.So. si colloca in un momento storico in cui l'AI attraversa la soglia che la separava da semplice tecnologia applicativa, assumendo i tratti di un dispositivo epistemico che ridefinisce forme, tempi e finalità dell'apprendere. La ricerca non si è limitata a descrivere tale transizione, ma ha mirato a elaborare una struttura pedagogica in grado di governarne la complessità, proponendo un modello sistemico e trasferibile.

Il "contributo originale" della tesi si articola lungo tre direttrici convergenti:

- Sul piano epistemologico, Di.Ver.So. riorganizza l'*AI Literacy* come pratica riflessiva, culturale e progressiva, superando approcci frammentati e ristretti alla dimensione tecnica. L'intelligenza artificiale è trattata come infrastruttura cognitiva che interroga i modi in cui la pedagogia costruisce conoscenza e interpreta i processi educativi.
- Sul piano metodologico, il disegno *mixed methods* adottato (articolato in analisi pre-post, rilevazioni quantitative e approfondimenti qualitativi) ha permesso di osservare il fenomeno tramite più lenti, fino alla loro integrazione interpretativa. Tale scelta ha

mostrato come l'introduzione dell'AI nei contesti educativi non produca solo cambiamenti nelle pratiche, ma richieda una ridefinizione delle categorie con cui docenti e ricercatori interpretano il proprio oggetto di studio e il proprio ruolo professionale.

- Sul piano progettuale, le sperimentazioni nazionali e internazionali hanno messo in evidenza la capacità del modello di adattarsi a contesti differenti - dalla scuola di base ai progetti audiovisivi, dalla comunicazione ambientale universitaria ai percorsi MOOC europei - mostrando come la logica del framework possa sostenere sia la formazione iniziale sia lo sviluppo professionale continuo. Di.Ver.So. si è rivelato un dispositivo flessibile, capace di abitare luoghi formativi diversi mantenendo coerenza di principi e adattabilità di forme.

Da tali evidenze emerge il tratto più significativo della tesi: l'AI non agisce in termini sostitutivi, ma rilancia il bisogno di mediazione, responsabilità e interpretazione; l'elemento algoritmico non riduce il ruolo dell'insegnante, bensì gli richiede nuove forme di consapevolezza valutativa e progettuale. È qui che la professionalità docente riacquista centralità, come infrastruttura cognitiva dell'apprendimento e garante dell'etica dell'interpretazione.

La parte conclusiva ha mostrato come Di.Ver.So. possa fungere da ponte tra ricerca educativa, politiche formative e progettazione curricolare, delineando un modello di educazione digitale capace di tenere insieme tecnologia, cittadinanza e cultura.

Le ricadute potenziali coinvolgono la scuola, che dispone di una struttura verticale per integrare l'AI senza ricadere in interventi episodici; le *policy*, che possono trovare nel framework un riferimento coerente con criteri di sostenibilità cognitiva; l'Università e la Ricerca, che trovano una base per percorsi interdisciplinari e studi comparativi sull'*AI Education*. La riflessione sui limiti - natura volontaria del campione, necessità di sperimentazioni longitudinali, rapida evoluzione delle tecnologie - non riduce la portata del lavoro, ma ne conferma la natura aperta e incrementale. Proprio da questi limiti scaturiscono le prospettive più promettenti: estendere il framework in contesti interculturali, consolidarne la validazione nel lungo periodo, approfondire le trasformazioni epistemiche del ruolo docente e contribuire alla definizione di standard internazionali di *AI Literacy* in dialogo con le principali agenzie globali.

Di.Ver.So. si configurerà così come una piattaforma di ricerca e formazione in evoluzione, più che come modello chiuso o prescrittivo. La sua forza risiede nella capacità di coniugare rigore teorico, fondazione empirica e visione politica, proponendo un'idea di *AI Education* che integra sostenibilità cognitiva, responsabilità etica e cura della dimensione umana dell'apprendimento. Lungi dall'offrire risposte definitive, il framework delinea un orizzonte metodologico entro cui affrontare criticamente l'intreccio tra tecnologia, educazione e società. In ultima istanza, il framework può essere letto come una pedagogia dell'intelligenza

aumentata, nella quale l'AI è chiamata a potenziare - e non a sostituire - la capacità dei soggetti e delle istituzioni di comprendere, interpretare e trasformare il mondo.

In questa prospettiva, la ricerca educativa assume una nuova posizione nel dibattito contemporaneo: non più semplice osservatrice delle trasformazioni in atto, ma co-costruttrice di un paradigma educativo sostenibile, capace di orientare istituzioni, docenti e cittadini verso forme mature e consapevoli di convivenza con l'Intelligenza Artificiale.

Ringraziamenti

Giunta al termine di questo percorso triennale, desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a tutte le persone e alle Istituzioni che hanno contribuito, in modi diversi, alla realizzazione di questa ricerca. Un ringraziamento profondo va al Collegio dei Docenti del Dottorato e al Coordinatore Pier Cesare Rivoltella, per l'opportunità offerta di intraprendere un lavoro scientifico di ricerca che mi ha permesso di sfruttare tutte le esperienze e competenze maturate in trent'anni di lavoro nell'ICT per la didattica.

La mia riconoscenza va in particolare al mio co-tutor Prof. Alessandro Ricci dell'Università di Bologna non solo per la sua totale disponibilità, ma per l'orientamento scientifico, il costante confronto e supporto, nonché per la fiducia dimostratami nel corso di ogni fase di questa mia ricerca triennale.

Desidero esprimere un sentito ringraziamento alle Università e ai Centri di Ricerca che hanno accolto e sostenuto le collaborazioni internazionali sviluppate nel corso del dottorato. In particolare, ringrazio la Library dell'European University Institute di Firenze, l'University College Dublin e, soprattutto, l'Università degli Studi di Milano, che mi ha offerto l'opportunità di contribuire a progetti di ricerca capaci di arricchire in modo significativo la dimensione empirica e comparativa del mio lavoro. Tali esperienze mi hanno consentito non solo di applicare concretamente la GAI nei contesti di apprendimento, ma anche di aprirmi a orizzonti di collaborazione scientifica ampi e stimolanti. Un ringraziamento speciale e una profonda gratitudine vanno alle Prof.sse Antonella Senese e Guglielmina Diolaiuti dell'Università degli Studi di Milano, autentici modelli di rigore scientifico e competenza a cui fare costante riferimento. Oltre ad avermi coinvolta in importanti opportunità di ricerca, la Prof.ssa Senese mi ha assistito con continuità anche nel percorso metodologico e nella pratica quotidiana della mia ricerca, offrendo un sostegno prezioso sia sul piano scientifico sia su quello umano.

Un pensiero riconoscente va poi ai docenti e alle scuole che hanno partecipato alle indagini e alle sperimentazioni, condividendo esperienze, riflessioni e tempo con spirito di collaborazione scientifica e apertura innovativa. Senza il loro contributo diretto, la validazione del framework non avrebbe potuto raggiungere la sua piena dimensione educativa e comunitaria. Un grazie poi al Prof. Elvis Mazzoni dell'Università di Bologna per i suggerimenti sull'avvio della sperimentazione sul campo, al Prof. Mirko Gabriel Briglia per l'aiuto nell'elaborazione statistica dei dati raccolti e a Giacomo De Simone il supporto nell'uso applicativo della GAI nella multimedialità.

Infine, un grazie a chi ha condiviso il tempo, gli spazi e i silenzi necessari alla scrittura e a chi ha creduto nel valore umano e civile della ricerca, ricordandomi ogni giorno che la conoscenza non è mai un traguardo individuale, ma un cammino collettivo verso la continua ricerca ed evoluzione.

Bibliografia

Acevedo-Borrega, J., Valverde-Berrocoso, J., & Garrido-Arroyo, M. D. C. (2022). Computational thinking and educational technology: A scoping review of the literature. Education Sciences. https://doi.org/10.3390/educsci12010039

Adamoli, M. (2020). Media Education as an educational framework for an ethical approach in relation to digital revolution. Q-times Webmagazine, 12(1–2), 34–45. https://hdl.handle.net/11585/956890

Aldunate, R., & Nussbaum, M. (2013). Teacher adoption of technology. Computers in Human Behavior, 29(3), 519–524.

Addo, S. A. (2023). Are you ready to teach AI in schools? Teachers' perspectives of teaching AI in K-12 settings. In Proceedings of the 2023 Conference on United Kingdom & Ireland Computing Education Research (UKICER 2023). https://doi.org/10.1145/3610969.3610973

AGCOM. (2019). Educare digitale. Lo stato di sviluppo della scuola digitale. https://www.agcom.it/pubblicazioni/rapporti/educare-digitale-lo-stato-di-sviluppo-della-scuola-digitale-un-sistema

AGCOM. (2023). Educazione digitale e media literacy in Italia. Roma: Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni.

Ahmad, S., Alshurideh, M. T., Al Kurdi, B., & Al-Hamad, H. K. (2023). The role of artificial intelligence on enhancing learning outcomes in higher education. International Journal of Data and Network Science, 7(1), 185–194.

Ahmad, K., Iqbal, W., El-Hassan, A., Qadir, J., Benhaddou, D., Ayyash, M., & Al-Fuqaha, A. (2023). Data-driven artificial intelligence in education: A comprehensive review. IEEE Transactions on Learning Technologies. https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3314610

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179–211.

Alférez-Pastor, M., Collado-Soler, R., Lérida-Ayala, V., et al. (2023). Training digital competencies in future primary school teachers: A systematic review. Education Sciences. https://doi.org/10.3390/educsci13050461

Ali, S., Payne, B. H., Williams, R., Park, H. W., & Breazeal, C. (2019). Constructionism, ethics, and creativity: Developing primary and middle school artificial intelligence education. In International Workshop on Education in Artificial Intelligence K-12 (EDUAI'19). https://www.media.mit.edu/publications/constructionism-ethics-and-creativity/

Allam, H., Dempere, J., Akre, V., Parakash, D., et al. (2023). Artificial Intelligence in Education: An argument of Chat-GPT use in education. In 9th International Conference on Information Technology Trends (ITT 2023). https://doi.org/10.1109/ITT59889.2023.10184267

Aviram, A., & Eshet-Alkalai, Y. (2006). Towards a theory of digital literacy: Three scenarios for the next steps. European Journal of Open, Distance and E-Learning, 9(1). http://www.eurodl.org/materials/contrib/2006/Aharon_Aviram.htm

Ayyildiz, P., & Yilmaz, A. (2023). A New Chapter Is Being Written about Writing Instruction: Instructional Leadership at K-12 Levels in the Age of Artificial Intelligence (AI). Educational Policy Analysis and Strategic Research, 18(4), 82-101.

Bailey, D. B., & Palsha, S. A. (1992). Qualities of the stages of concern questionnaire and implications for educational innovations. The Journal of Educational Research, 85(4), 226–232.

Bandura, A. (2000). Autoefficacia: Teoria e applicazioni (G. Lo Iacono, Trad.). Erickson.

Banzato, M., & Midoro, V. (2006). ICT e formazione degli insegnanti: il contesto globale e il quadro di riferimento. In Lezioni di tecnologie didattiche (pp. 42–64). Edizioni Menabò Didattica.

Battigelli, S., Marmorato, L., Messina, I., & Sugliano, A. M. (2010). Repertori di competenza per il docente che usa le tecnologie: la localizzazione dello standard UNESCO ICT-CFT. Journal of e-Learning and Knowledge Society, 6, 51–60.

Berry, D. M., & Fagerjord, A. (2017). Digital Humanities: Knowledge and critique in a digital age. John Wiley & Sons.

Bransford, J. D., Brown, A. L., Cocking, R. D., & Royer, J. M. (2001). Learning Science as a Guide to Educational Practice. PsycCRITIQUES, 46(6), 570-572.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brosnan, M. J. (1998). The impact of computer anxiety and self-efficacy upon performance. Journal of Computer Assisted Learning, 14(3), 223–234.

Brosnan, M. J. (2002). Technophobia: The psychological impact of information technology. Routledge.

Buabeng-Andoh, C. (2012). Factors influencing teachers' adoption and integration of information and communication technology into teaching: A review of the literature. International Journal of Education and Development Using ICT, 8(1).

Bueno-Rocha, J. M., Martins, A. D. R. J., Almeida, A. M., & Antunes, M. J. (2023). The Potential of Artificial Intelligence and Emerging Technologies for Digital Accessibility in Childhood Literacies: A Critical Review of the Literature. CSEDU (2), 104-112.

Cacciamani, S., & Messina, R. (2011). Knowledge building community: Genesi e sviluppo del modello. QWERTY–Interdisciplinary Journal of Technology, Culture and Education, 6(2), 32–54.

Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The digital competence framework for citizens. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/38842

Cardona, M. A. (2023). Artificial intelligence and the future of teaching and learning.

Casal-Otero, L., Catala, A., Fernández-Morante, C., Taboada, M., Cebreiro, B., & Barro, S. (2023). *AI literacy* in K-12: A systematic literature review. International Journal of STEM Education, 10(1), 29. https://doi.org/10.1186/s40594-023-00412-2

Casiraghi, D., Sancassani, S., Tomasini, A., Corti, P., & Brambilla, F. (2020). Il modello "Pedagogy-Space-Technology" come framework strategico a supporto dell'innovazione didattica. Reports on E-learning, Media and Education Meeting, 8, 64–69.

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. IEEE Access, 8, 75264–75278.

Chiu, T. K. (2022). School learning support for teacher technology integration from a self-determination theory perspective. Educational Technology Research and Development, 70(3), 931–949. https://doi.org/10.1007/s11423-022-10134-1

Chiu, T. K., Ahmad, Z., Ismailov, M., & Sanusi, I. T. (2024). What are artificial intelligence literacy and competency? A comprehensive framework to support them. Computers and Education Open, 6, 100171. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100171

Chiu, T. K., Falloon, G., Song, Y., Wong, V. W., Zhao, L., & Ismailov, M. (2024). A self-determination theory approach to teacher digital competence development. Computers & education, 214, 10501741

Chounta, I. A., Bardone, E., Raudsep, A., & Pedaste, M. (2022). Exploring teachers' perceptions of artificial intelligence as a tool to support their practice in Estonian K-12 education. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 32(3), 725–755.

Chukwuemerie, O. C., Anurugwo, A. O., & Oshia, E. C. (2024). Dealing with technophobia among lecturers (adult learners) in the use of emerging technologies in African education and development. Unizik Orient Journal of Education, 12(2).

Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). Learning progressions in science. Consortium for Policy Research in Education (CPRE), 13.

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). Technology acceptance model. Journal of Management Science, 35(8), 982–1003.

Dawson, S., Joksimovic, S., Mills, C., Gasevic, D., & Siemens, G. (2023). Advancing theory in the age of artificial intelligence. Br. J. Educ. Technol., 54(5), 1051-1056.

Earp, J., & Bocconi, S. (2017). Promuovere un apprendimento efficace nell'era digitale: Il quadro DigCompOrg. CNR. https://doi.org/10.2791/54070

Erstad, O., & Voogt, J. (2018). The twenty-first century curriculum: Issues and challenges. In Springer International Handbooks of Education (pp. 19–36). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71054-9_1

European Commission. (2013). DigComp: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2766/38842

European Commission. (2016). DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens – Update Phase 1. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2791/11517

European Commission. (2017). DigCompEdu: European Framework for the Digital Competence of Educators. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/178382

European Commission. (2018). Council Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning. Official Journal of the European Union, C189, 1–13.https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018H0604%2801%29

European Commission. (2018). Digital Education Action Plan (2018). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0022

European Commission. (2020). Communication on achieving the European Education Area by 2025. https://education.ec.europa.eu/it/about-eea

European Commission. (2020). European Skills Agenda for sustainable competitiveness, social fairness and resilience. Bruxelles, COM(2020)

European Commission. (2022). DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens – Update Phase 2. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2766/11517

European Commission. (2022). Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence in Education. Publications Office of the European Union.

European Commission. (2023). Framework Convention on Artificial Intelligence, Human Rights, Democracy and the Rule of Law

Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: The Teacher Digital Competency (TDC) framework. Educational Technology Research and Development, 68(5), 2449–2472. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4

Fernández-Batanero, J. M., Román-Graván, P., Reyes-Rebollo, M. M., & Montenegro-Rueda, M. (2021). Impact of educational technology on teacher stress and anxiety: A literature review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(2), 548.

Gabbi, E., Ancillotti, I., & Ranieri, M. (2023). La competenza digitale degli educatori: Teorie, modelli, prospettive di sviluppo. Media Education, 14(2), 5–23. https://doi.org/10.36253/me-14742

Garrison, D. R., Anderson, T., & Archer, W. (1999). Critical inquiry in a text-based environment: Computer conferencing in higher education. The Internet and Higher Education, 2(2–3), 87–105. https://doi.org/10.1016/S1096-7516(00)00016-6

Gibson, D., & Tavalin, F. (2000). New insights on technology adoption in schools. Technological Horizons in Education Journal, 27(1), 42–46.

Goleman, D. (1995). Emotional Intelligence: Why It Can Matter More Than IQ. Bantam Books.

GoStudent. (2025). Future of Education Report 2025. https://www.gostudent.org/static/documents/en-gb/education-report/2025.pdf

Gouseti, A., Bruni, I., Ilomäki, L., Lakkala, M., Mundy, D., Raffaghelli, J., Ranieri, M., Roffi, A., Romero, M., & Romeu, T. (2021). Critical Digital Literacies framework for educators (DETECT Project Report 1). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.5070329

Gupta, U. G. (2001). Technophobia is conquerable. http://www.studentaffairs.com/ejournal/Winter_2001/technophobia.html

Hall, G. E., & Hord, S. M. (1987). Change in schools: Facilitating the process. SUNY Press.

Hinojo-Lucena, F. J., Aznar-Díaz, I., Cáceres-Reche, M. P., & Romero-Rodríguez, J. M. (2019). Artificial intelligence in higher education: A bibliometric study on its impact in the scientific literature. Education Sciences, 9(1).

Holmes, W; Bialik, M; Fadel, C; (2019) Artificial Intelligence in Education Promises and Implications for Teaching and Learning. (1st ed.). Center for Curriculum Redesign: Boston, MA, USA.

Kaban, A. (2023). Artificial Intelligence in Education: A Science Mapping Approach. International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, 11(4), 844-861.

Kenchakkanavar, A. Y. (2023). Exploring the artificial intelligence tools: Realizing the advantages in education and research. Journal of Advances in Library and Information Science, 12(4), 218-224.

Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? Journal of Education, 193(3), 13–19. https://doi.org/10.1177/0022057413193003

Krumsvik, R. J. (2008). Situated learning and teachers' digital competence. Education and Information Technologies, 13, 279–290. https://doi.org/10.1007/s10639-008-9069-5

Lameras, P., & Arnab, S. (2022). Power to the teachers: An exploratory review on artificial intelligence in education. Information, 13(1).

Lawrence, J. E., & Tar, U. A. (2018). Factors that influence teachers' adoption and integration of ICT in teaching/learning process. Educational Media International, 55(1), 79–105.

Luckin, R., & Holmes, W. (2016). Intelligence unleashed: An argument for AI in education.

Luckin, R., Cukurova, M., Kent, C., & Du Boulay, B. (2022). Empowering educators to be AI-ready. Computers and Education: Artificial Intelligence, 3, 100076.

Marzano, D. (2024). Prompt… attenti v…AI! Capire finalmente l'intelligenza artificiale generativa e come usarla a scuola. Edizioni Accademia.

Marzano, D. (2025). La formazione degli insegnanti sull'uso delle TIC nella didattica e l'integrazione di AI e GAI: un'analisi critica tra passato e prospettive future. Education Sciences & Society, 1, 358–382. Franco Angeli. https://doi.org/10.3280/ess1-20250a19817

Marzano, D. (2025). Generative Artificial Intelligence (GAI) in Teaching and Learning Processes at the K-12 Level: A Systematic Review: D. Marzano. Technology, Knowledge and Learning, 1-41.

Marzano, D., et al. (2025). (**under review**) "Generative Artificial Intelligence in Education: models, frameworks and the proposal for a new vertical K–12 Digital Curriculum". Curriculum

Mintz, J., Holmes, W., Liu, L., & Perez-Ortiz, M. (2023). Artificial intelligence and K–12 education: Possibilities, pedagogies and risks. Computers in the Schools, 40(4), 325–333. https://doi.org/10.1080/07380569.2023.2279870

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

MIUR. (2015). Piano Nazionale Scuola Digitale. Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. https://www.istruzione.it/scuola_digitale

Ministero dell'Istruzione e del Merito. (2021). Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 4 Istruzione e Ricerca. Roma: Governo Italiano.

Nazaretsky, T., Ariely, M., Cukurova, M., & Alexandron, G. (2022). Teachers' trust in AI-powered educational technology and a professional development program to improve it. British journal of educational technology, 53(4), 914-931.

Nirchi, S., Mangione, G. R. J., De Vincenzo, C., & Pettenati, M. C. (2024). Indagine esplorativa sulla percezione dei docenti neoassunti circa l'impiego dell'intelligenza artificiale nella didattica: punti di forza, ostacoli e prospettive. Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies (ECPS Journal), (30), 151–180.

OECD. (2019). Learning Compass 2030: The Future of Education and Skills. OECD Publishing.

OECD. (2020). TALIS 2018 results (Volume II): Teachers and school leaders as valued professionals. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/19cf08df-en

OECD. (2022). Principles for AI

OECD. (2023). OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an effective education ecosystem. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/c74f03de-en

Pan, J., Roussanaly, A., & Boyer, A. (2022). Artificial intelligence for and by teachers. Université de Lorraine. https://hal.science/hal-04425135

Panciroli, C.; Rivoltella, P.C. et al. (2025). Didattica per le new literacies. Mondadori Università. Milano

Petrucco, C., Conte, A., & Favino, F. (2024). Teachers' perceptions on the introduction of Generative AI in schools: A mixed-method study on the opinions of 1,223 teachers in the Veneto Region, Italy. Education Sciences & Society, 2, 17–37.

Pierce, G., & Cleary, P. (2016). The K-12 educational technology value chain: Implications and policy options. THE Journal, 43(5), 18-24.

Popenici, S. A. D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12(1). https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8

Puentedura, R. R. (2014). SAMR and TPCK: A hands-on approach to classroom practice. Hipassus. http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/2012/09/03/BuildingUponSAMR.pdf

Radcliffe, D. (2009). A pedagogy-space-technology (PST) framework for designing and evaluating learning places. The University of Queensland.

Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2766/17826

Rehman, A. U., Mahmood, A., Bashir, S., & Iqbal, M. (2024). Technophobia as a technology inhibitor for digital learning in education: A systematic literature review. Journal of Educators Online, 21(2).

Ribeiro, J. (2014). Teacher technology adoption and the philosophy of fear. Antistasis.

Rivoltella, P. C. (2017). Media Education: Idea, metodo, ricerca. ELS La Scuola.

Rogers, P. L. (2000). Barriers to adopting emerging technologies in education. Journal of Educational Computing Research, 22(4), 455–472.

Rosen, L. D., & Weil, M. M. (1995). Computer availability, computer experience and technophobia among public school teachers. Computers in Human Behavior, 11(1), 9–31.

Safidon, J. H. (2024). Educational technology integration: Challenges and opportunities.

Salovey, P., & Mayer, J. D. (1997). Emotional development and emotional intelligence: Educational implications. Basic Books.

Sanabria-Navarro, J. R., Silveira-Pérez, Y., Pérez-Bravo, D. D., & de-Jesús-Cortina-Núñez, M. (2023). Incidences of Artificial Intelligence in Contemporary Education. Comunicar: Media Education Research Journal, 31(77), 93-103.

Sawyer, R. K. (2014). The future of learning: Grounding educational innovation in the learning sciences. The Cambridge handbook of the learning sciences, 726-746.

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2006). Knowledge building. The Cambridge.

Senese, A., Fugazza, D., Manara, V., Bianco, E., Brambilla, L., Settembrini, S., Falcini, E., Marzano, D., Panizza, M., Torelli, C., & Maugeri, M. (2025a). Empowering youth for climate resilience: A geographical education model from Italy and Turkey. Geographies, 5(4), 52. https://doi.org/10.3390/geographies5040052

Senese, A., Marzano, D., & Ambrosini, R. (2025). Comparing Human-Designed and AI-Enhanced Science Lessons: A Pilot Study in K-5 Education. Iris Journal Of Educational Research, 5(3), 1-13. https://doi.org/10.33552/IJER.2025.05.000608

Smiraglia, C., Senese, A., Di Biase, M., Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Bocchiola, D., ... & Diolaiuti, G. A. (2025). (**under review**) The challenges of the "ephemeral path": Problems and issues of explaining climate change and its environmental impact through the development of glaciological trails. GFDQ Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria.

Smiraglia, C., Senese, A., Di Biase, M., Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Bocchiola, D., ... & Diolaiuti, G. A. (2025). Sentieri effimeri. Gli itinerari glaciologici fra scienza e divulgazione. Il Bollettino/Club Alpino Italiano, (ottobre), 22-43.

Sinha, S., Evans, T., & Carbo, A. (2023). Hands-on Active Learning Approach to Teach Artificial Intelligence/Machine Learning to Elementary and Middle School Students. In Proceedings of the 2023 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. American Society for Engineering Education (ASEE).

Schon, D. A. (1987). Educating the Reflective Practitioner. Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions. The Jossey-Bass Higher Education Series. Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104.

Sugar, W., Crawley, F., & Fine, B. (2004). Examining teachers' decisions to adopt new technology. Journal of Educational Technology & Society, 7(4), 201–213.

Taguma, M., & Frid, A. (2024). Curriculum frameworks and visualisations beyond national frameworks: Alignment with the OECD Learning Compass 2030. OECD Education Working Papers, No. 314. https://doi.org/10.1787/2a4bdce6-en

Tarafdar, M., Cooper, C. L., & Stich, J. F. (2019). The technostress trifecta—Techno eustress, techno distress and design: Theoretical directions and an agenda for research. Information Systems Journal, 29(1), 6–42. https://doi.org/10.1111/isj.12169

UNESCO. (2021). AI and Education: Guidance for Policy-makers. UNESCO Publishing.

UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. UNESCO Publishing. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455

UNESCO. (2022). Reimagining our futures together: A new social contract for education. UNESCO Publishing.

Uzumcu, O., Acilmis, H. Do Innovative Teachers use AI-powered Tools More Interactively? A Study in the Context of Diffusion of Innovation Theory. Tech Know Learn 29, 1109–1128 (2024). https://doi.org/10.1007/s10758-023-09687-1

Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). DigComp 2.2: The digital competence framework for citizens. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/115376

Walter, Y. Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of *AI literacy*, prompt engineering, and critical thinking in modern education. Int J Educ Technol High Educ 21, 15 (2024). https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3

Wu, M., Liu, F., Li, C., Xie, X., Zhang, Y., & Li, C. (2021). The challenges and future of artificial intelligence in education: a systematic review. International Journal of Computer and Information Engineering, 15(1), 16–21.

Yue, M., Jong, M. S. Y., & Dai, Y. (2022). Pedagogical design of K-12 artificial intelligence education: A systematic review. Sustainability, 14(23). https://doi.org/10.3390/su142315620

Zafari, M., Bazargani, J. S., Sadeghi-Niaraki, A., & Choi, S. M. (2022). Artificial intelligence applications in K-12 education: A systematic literature review. IEEE Access, 10.

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—Where are the educators? International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16, 39. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

Zhao, Y., Pugh, K., Sheldon, S., & Byers, J. L. (2002). Conditions for classroom technology innovations. Teachers College Record, 104(3), 482–515. https://doi.org/10.1111/1467-9620.00170

Zhou, X., Van Brummelen, J., & Lin, P. (2020). Designing AI learning experiences for K–12: Emerging works, future opportunities and a design framework. arXiv preprint arXiv:2009.10228. https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.10228

Appendici