Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

MUR Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

Università di Foggia

LUISS

Corso di Dottorato in
Learning Sciences and Digital Technologies
XXXVIII ciclo

Ecoliteracy e Educazione Civica:
un framework per l'EcoAI

Tutor
Matteo De Angelis

Matteo De Angelis

Dottorando
Gianfranco Rubino

GIANFRANCO RUBINO

Co-tutor
Paolo Contini

Anno Accademico 2024/2025

Sommario

Abstract 8

Introduzione 9

La crisi delle competenze digitali in Italia 9

Big Data, disuguaglianze, bias e cittadinanza 11

L'urgenza di una ecoliteracy civica e mediale 14

Obiettivi della ricerca e approccio metodologico 17

Capitolo 1 - Educazione civica ed ecoliteracy in Italia: storia, normative e linee guida 19

1.1 Normative italiane e linee guida istituzionali 21

1.2 Dati ufficiali e gap strutturali: dal tecnicismo alla cittadinanza critica 23

1.3 Media education, ecoliteracy e pluralità delle literacies nella prospettiva EcoAI 25

1.3.1 Dalla media education alla Ecomedia education: una genealogia critica 25

1.3.2 La pluralità delle literacies nel Framework EcoAI: verso un ecosistema integrato di competenze 28

1.3.3 Scetticismo attivo e pensiero critico nell'era algoritmica 30

1.3.4 Identità ecodigitale e soggettività postumana: verso una pedagogia dell'interdipendenza 31

1.4 Algoritmi e giustizia epistemica 33

1.5 Framework internazionali: nuove literacies, alfabetizzazioni critiche e il ruolo del modello EcoAI 39

Capitolo 2 Il Framework EcoAI e le sue radici teoriche 43

2.1 I Media come ecosistemi materiali e simbolici 44

2.1.1 Impronte ecologiche e infrastrutture digitali 46

2.1.2 Ecomedia literacy ed ecomediatizzazione: media come attori ecologici 49

2.2 GreenComp, le competenze per la sostenibilità SDG 4.7 e le misure europee ed italiane 51

2.3 Ecoliteracy: dimensioni cognitive, emotive e civiche 53

2.3.1 Ecoliteracy cognitiva: comprendere sistemi, interdipendenze e complessità 53

2.3.2 Ecoliteracy emotiva: interdipendenza, empatia ecologica e senso di connessione 54
2.3.3 Ecoliteracy civica: agency, responsabilità e immaginazione del futuro 55
2.4 Agency più-che-umana: Barad, Haraway, Braidotti, Morton 57
2.5 Inter-agency umano, tecnologia, ambiente ed ecologie politiche dei media 60
2.5.1 Agency infrastrutturale: come tecnologie e ambienti co-producono cittadinanza 62
2.5.2 Inter-agency come fondamento dell'EcoAI Framework 62
2.6 Postumanesimo Ecodigitale: fondamenti, genealogia e contributo originale al Framework EcoAI 64
2.6.1 Eco-Posthuman Agency 70
2.7 Dataficazione, sorveglianza educativa e governance algoritmica: introduzione 73
2.7.1 Selezione algoritmica, filtri informativi e conseguenze socio-cognitive nell'educazione digitale 79
2.7.2 Etica dell'IA, governance algoritmica e risposte normative: UNESCO, OECD e il ruolo di EcoAI 81
Capitolo 3 Il Framework EcoAI 85
3.1 Il Framework EcoAI come architettura pedagogica per l'Antropocene digitale 85
3.2 Le quattro dimensioni del Framework EcoAI 89
3.3 Rubric EcoAI: criteri valutativi per i domini e i sottodomini 116
3.4 Posizionamento del Framework EcoAI rispetto a GreenComp, DigComp, AI Literacy, UNESCO e OECD 116
3.5 EcoAI Index: uno strumento di indagine 119
3.5.1 INFO: Alfabetizzazione informativa Ecodigitale 124
3.5.2 AATI: Consapevolezza e Fiducia nell'Intelligenza Artificiale 128
3.5.3 VAL: Valori eco-civici e responsabilità ambientale 132
3.5.4 AGY: Agency civica Ecodigitale 135
3.5.5 EPAS: Eco-Posthuman Agency 139
Capitolo 4 Disegno della ricerca 142

4.1 Prima somministrazione esplorativa: Domande, ipotesi di ricerca e strumento 142
4.1.1 Obiettivi e razionale della fase esplorativa 142
4.1.2 Strumento e dataset operativi 143
4.1.3 Procedure di analisi della fase esplorativa 148
4.2 Fase confermativa: validazione strumento EcoAI Index ... 150
4.2.1 Motivazioni teoriche e funzione della seconda somministrazione 150
4.2.2 Campione confermativo e procedura 152
4.2.3 Strumento EcoAI Index: item selection e scale definitive 154
4.2.4 Transizione ai Risultati 163
Capitolo 5 Risultati 165
5.1 Risultati Survey esplorativa 166
5.1.1 Caratteristiche del campione e dati di contesto 166
5.1.2 Ecoliteracy e orientamenti valoriali ambientali 168
5.1.3 Agency eco-civica, educazione civica e pratiche digitali 175
5.1.4 Identità digitale e uso delle piattaforme 186
5.1.5 Percezioni e Literacy sull'AI 193
5.1.6 Profili Eco-civici ed ecoliteracy 201
5.1.7 Regressioni preliminari tra dimensioni 209
5.2 Risultati Survey confermativa 215
5.2.1 Caratteristiche del campione confermativo 215
5.2.2 Verifiche preliminari e fattorizzabilità dei dati 218
5.2.3 Analisi fattoriale confermativa (CFA) del modello EcoAI a cinque fattori 222
5.2.4 Analisi di invarianza del modello 231
5.2.5 Modello di equazioni strutturali (SEM) EcoAI 232
5.2.6 Costruzione e validazione dell'EcoAI Index 236
5.3 Confronto tra fase esplorativa e fase confermativa 242
5.3.1 Profili esplorativi Q1: cluster SDG e cluster IA-scuola 243
5.3.2 Profili confermativi Q2: le classi EcoAI Index 247
5.3.3 Confronto Q1 ↔ Q2: corrispondenze e asimmetrie 251
Capitolo 6 Discussione 259

6.1 La discussione come operazione interpretativa.....259
6.2 Il modello strutturale EcoAI: conferma, ricalibrazione e limiti dichiarati.....263
6.2.1 La struttura fattoriale confermativa: cosa significa "fit" 264
6.2.2 Le correlazioni tra fattori latenti come architettura relazionale.266
6.2.3 Il modello strutturale: gerarchia, mediazione, catena relazionale 269
6.2.4 Stabilità strutturale: il significato sociologico dell'invarianza 271
6.2.5 L'EcoAI Index come sintesi strutturale: logica costruttiva e limiti interpretativi 272
6.3 Profili ecodigitali, stratificazione e disuguaglianze ecocognitive.....274
6.3.1 Dai fattori latenti ai profili: la classificazione come operazione teorica.....274
6.3.2 AATI come fattore di stratificazione primario 275
6.3.3 Il ceiling di VAL: valori dichiarati, norma discorsiva e habitus incorporato.....277
6.3.4 I cluster della fase esplorativa come configurazioni sociali differenziate.....279
6.3.5 Il costrutto emergente algoritmi ed ambiente: un'area di frontiera del framework 280
6.3.6 Disuguaglianze ecocognitive: la distribuzione come problema sociologico 281
6.4 EPAS e la teoria dell'identità postumana Ecodigitale: contributo empirico e tensione epistemologica 283
6.4.1 Il problema teorico: misurare ciò che sfugge alla misura.....283
6.4.2 Le radici convergenti: da Orr e Capra a Barad e Haraway.....285
6.4.3 L'evidenza empirica: cosa dice il dato su EPAS..... 286
6.4.4 La tensione epistemologica: operazionalizzare senza ridurre 287
6.5 Implicazioni per SDG 4.7, 13 e 16: l'EcoAI Index come strumento di governance educativa..... 289
6.5.1 Il problema della misurazione del Target 4.7 289
6.5.2 Come l'EcoAI Index può funzionare come strumento di monitoraggio 290

6.5.3 L'EcoAI Index come strumento di valutazione dell'educazione civica italiana 292
6.5.4 SDG 13 e SDG 16: le connessioni strutturali 293
6.6 Implicazioni curricolari e pedagogiche 295
6.6.1 Cosa dicono i dati alla pedagogia 295
6.6.2 Un curricolo per competenze integrate, non per discipline parallele 297
6.6.3 Progettazione didattica e sequenzialità delle dimensioni 298
6.6.4 La formazione dei docenti come nodo critico 300
6.6.5 Governance algoritmica come contenuto di educazione civica 301
6.7 Limiti della ricerca 303
6.7.1 Limiti campionari 303
6.7.2 Limiti strumentali 303
6.7.3 Limite interpretativo: la misura come operazione necessariamente parziale rispetto al costrutto 304
6.7.4 Limiti del quadro teorico: esclusioni consapevoli 306
6.8 Sviluppi futuri 307
6.8.1 Validazione su campioni allargati e diversificati 307
6.8.2 Disegni longitudinali 308
6.8.3 Integrazione di metodi qualitativi 309
6.8.4 Sviluppo del costrutto EPAS e affinamento degli item 310
6.8.5 Tensioni strutturali tra habitus ecologico ed ecomediale come programma di ricerca 311
Bibliografia 312
Appendici ed allegati 338
Appendice A - Fonti teoriche e benchmark su Big Data, Ecoliteracy e Educazione alla Sostenibilità 338
Appendice B - Tabelle psicometriche complete 341
Tabelle e grafici di riferimento 344
Allegato Metodologico: Rubric per domini e sottodomini EcoAI Framework 357
Rubric: Systems Understanding 357
Rubric: Ecological Understanding of AI 359

Rubric: Identity Formation..... 361
Rubric: Tool-based Learning 363

Abstract

Questa tesi sviluppa e valida il Framework EcoAI come strumento per analizzare l'ecoliteracy nel contesto delle trasformazioni digitali contemporanee. Il lavoro parte dalla convergenza tra crisi ecologica, infrastrutture mediali e diffusione dei sistemi algoritmici, mostrando come le competenze ecologiche e digitali si configurino come pratiche interdipendenti nella cittadinanza contemporanea.

Sul piano teorico, la ricerca si colloca all'incrocio tra ecoliteracy, media ecology e studi critici sull'intelligenza artificiale, adottando una prospettiva relazionale sull'agency.

Il Framework EcoAI si articola in quattro domini interdipendenti: *Systems Understanding*, *Ecological Understanding of AI*, *Identity Formation* e *Tool-Based Learning*, dai quali deriva l'EcoAI Index, uno strumento di misurazione composto da cinque dimensioni operative: Informational Ecodigital Literacy (INFO), AI Awareness & Trust (AATI), Valori eco-civici (VAL), Agency Ecodigitale (AGY) ed Eco-Posthuman Agency Scale (EPAS). Lo strumento è concepito come dispositivo di monitoraggio sistemico-relazionale, in cui i dati individuali costituiscono il vettore di accesso a pattern collettivi piuttosto che l'unità teorica di analisi.

Sul piano empirico, lo studio utilizza un disegno mixed methods sequenziale per costruire e validare l'EcoAI Index. I risultati mostrano relazioni significative tra consapevolezza ecologica, comprensione critica dell'IA e forme di agency digitale, offrendo un contributo operativo alle politiche educative legate al Target 4.7. La prima somministrazione, di natura esplorativa, è finalizzata all'individuazione delle dimensioni latenti del costrutto EcoAI e alla calibrazione dello strumento. La seconda somministrazione, progettata come fase confermativa, è orientata alla validazione psicometrica dell'EcoAI Index, attraverso analisi di affidabilità, analisi fattoriale confermativa, test di invarianza e modellizzazione strutturale.

Introduzione

La crisi delle competenze digitali in Italia

L'adozione del Digital Economy and Society Index (DESI) come indicatore per misurare il grado di digitalizzazione dei Paesi membri dell'Unione Europea risale al 2014. Articolato in dimensioni quali connettività, capitale umano, integrazione tecnologica nell'economia e servizi pubblici digitali, il DESI traccia i progressi nazionali verso una società digitale avanzata. A partire dal 2023, questo modello è stato integrato nel rapporto sullo "Stato del Decennio Digitale" (Digital Decade), allineando le misurazioni con gli obiettivi strategici dell'UE per il 2030 (European Commission, 2024).

Il ritardo italiano nelle competenze digitali emerge con chiarezza dai dati. Solo il 45,8% della popolazione tra 16 e 74 anni possiede competenze digitali di base, ben al di sotto della media europea del 55,6% (European Commission, 2024). Più della metà degli italiani non dispone delle competenze minime necessarie per partecipare pienamente alla società dell'informazione. Questo ritardo si mantiene stabile nel tempo: nel 2021 la percentuale era già ferma al 46%, quasi invariata nel tempo. Solo l'1,5% dei laureati ottiene titoli in ambito ICT, contro una media UE del 3,9% (Repubblica Digitale, 2023).

Le lacune strutturali nel capitale umano digitale si manifestano come divari territoriali, generazionali e di genere (Repubblica Digitale, 2022). Il divario appare marcato in relazione all'età: solo il 19,3% degli individui tra 65 e 74 anni possiede competenze digitali di base (ISTAT, 2023). Persistono differenze territoriali significative, con valori più bassi nelle regioni del Mezzogiorno, e disparità legate al livello di istruzione e alla condizione occupazionale.

Questi dati indicano una frattura tra accesso tecnologico e capacità di uso critico: dotare scuole e cittadini di strumenti digitali risulta insufficiente

senza la capacità di utilizzarli con consapevolezza critica. Il potenziale democratico e civico delle tecnologie rischia di restare inespresso.

Per contrastare questa criticità, l'Italia ha adottato policy e programmi istituzionali oggetto di analisi in questo studio. Il Piano Operativo della Strategia Nazionale per le Competenze Digitali (2023-2026), promosso nell'ambito della piattaforma Repubblica Digitale, rappresenta il quadro organico nazionale per gli interventi sulle competenze digitali, comprendendo iniziative finanziate dal PNRR (Repubblica Digitale, 2023). Il Piano Operativo versione 2.0 organizza le azioni in quattro assi tematici con 41 linee di intervento e 60 azioni, finalizzate alla riduzione del digital divide territoriale, generazionale e di genere (Repubblica Digitale, 2022). Il Piano Nazionale Scuola Digitale, attualmente in fase di aggiornamento, rimane un pilastro chiave per l'innovazione della didattica digitale. Il rapporto del Comitato Tecnico Scientifico del PNSD propone nuovi indirizzi per rendere la scuola più reattiva alle trasformazioni digitali, evidenziando la necessità di potenziare il pensiero critico nei contesti digitali (CTS PNSD, 2023).

Queste politiche segnalano la consapevolezza istituzionale dell'emergenza digitale, ma il loro impatto è ostacolato da fattori strutturali: disomogeneità territoriale, mancanza di formazione docente sistematica, scarsa attenzione alla dimensione della competenza critica digitale a favore di una mera funzionalità operativa.

La "crisi delle competenze digitali" non si esaurisce in numeri bassi, coinvolgendo anche la qualità d'uso (Capaccioni, 2023). Emerge una difficoltà strutturale a tradurre l'accesso alle tecnologie in capacità critica, autonomia operativa e consapevolezza civica. Chi possiede le competenze di base può rimanere passivo, incapace di decodificare i meccanismi algoritmici, vulnerabile ai bias cognitivo-informativi e alla disinformazione sistematica. L'assenza di pensiero critico digitale trasforma strumenti potenzialmente emancipatori in moltiplicatori di fragilità, rendendo urgente un intervento educativo sistemico.

Tuttavia, affrontare questo percorso richiede consapevolezza critica rispetto ai limiti intrinseci di una soluzione meramente educativa. L'alfabetizzazione è strumento indispensabile, ma rischia di essere insufficiente se non si confronta con le asimmetrie di potere che definiscono l'ecosistema digitale (Zuboff, 2019). La prospettiva qui adottata è quella della coscientizzazione (Freire, 1970): promuovere una presa di coscienza critica che permetta ai cittadini di "leggere" il mondo digitale e di interrogarsi su come "scriverlo" e trasformarlo. L'educazione diventa così un atto politico che sfida le logiche estrattive del capitalismo della sorveglianza e pone le basi per rivendicare il diritto a un futuro digitale più giusto e democratico (Rust, 2022). Il Framework EcoAI e l'EcoAI Index nascono precisamente da questo nodo: fornire strumenti operativi che tengano insieme competenza tecnica e postura critica, senza dissolvere la tensione tra i due.

Big Data, disuguaglianze, bias e cittadinanza

Nel dibattito contemporaneo, il termine Big Data designa insiemi di dati caratterizzati da volume, varietà, velocità, veridicità, valore e variabilità. I dati costituiscono infrastrutture dinamiche, in relazione reciproca con processi algoritmici, decisioni e interazioni sociali, diventando attori attivi nei sistemi digitali contemporanei (Boyd & Crawford, 2022).

Nell'ecosistema informativo, i Big Data non sono neutri: la loro produzione, selezione e gestione è inscritta in rapporti di potere. Le disuguaglianze nei dati si manifestano nell'asimmetria di generazione e nell’accessibilità. Chi ha accesso a dispositivi connessi, utilizza servizi digitali sofisticati e possiede competenze avanzate lascia tracce nei database, mentre gruppi marginali risultano invisibili per ragioni geografiche, economiche o culturali. Questo digital divide di secondo livello (Van Dijk, 2020) va oltre il mero accesso fisico, contemplando anche l'iniquità nei flussi informativi strutturati. La rappresentanza nei modelli, nei profili algoritmici e nelle raccomandazioni tende a riflettere le disuguaglianze esistenti anziché correggerle.

Il bias algoritmico incarna la tensione tra dati e giustizia epistemica. Filtri personalizzati, raccomandazioni e logiche predittive introducono meccanismi che rafforzano visioni preesistenti: filter bubble ed echo chamber rappresentano questa dinamica. Il filtro selettivo orienta l'attenzione verso contenuti già affini, escludendo prospettive divergenti (Pariser, 2011). L'analisi comparativa sul fenomeno delle echo chamber evidenzia che su piattaforme come Facebook e Twitter il fenomeno è più marcato: utenti con inclinazioni ideologiche tendono a interagire con contenuti allineati, e l'informazione diffusa converge verso cluster omogenei per effetto di omofilia e bias nella diffusione (Cinelli et al., 2020). Piattaforme meno algoritmiche come Reddit mostrano minore effetto echo chamber. Questi meccanismi amplificano la polarizzazione informativa, isolano comunità e rendono più difficile l'incontro con l'altro. Le evidenze empiriche sull'esistenza delle camere d'eco sono divergenti: studi basati su dati di interazione diretta tendono a confermare la polarizzazione, mentre studi basati su auto-racconti o esposizione differente offrono risultati meno netti (Hartmann et al., 2024).

I flussi informativi algoritmicamente filtrati condizionano anche la formazione dell'opinione pubblica. Quando un individuo riceve solo notizie compatibili con le proprie convinzioni, la capacità di distinguere informazione valida da manipolazione si indebolisce. La profilazione assegna punteggi e suggerimenti personalizzati, plasmando percorsi conoscitivi discreti e differenziati che rinforzano disuguaglianze epistemiche. In contesti decisionali connessi al clima, alla salute o alla politica ambientale, queste esclusioni e distorsioni possono tradursi in un deficit partecipativo: non tutti hanno voce né visibilità nei circuiti algoritmici. La trasparenza dei dati, l'accountability dei modelli e la giustizia epistemica intesa come possibilità di accesso e rappresentazione diventano condizioni necessarie per una democrazia digitale effettiva.

Questa prospettiva sulla democrazia digitale necessita di approfondimento attraverso il concetto di giustizia dei dati (data justice). La questione investe le fondamenta stesse di un sistema economico che trae profitto dalla

sorveglianza. Il capitalismo della sorveglianza ha trasformato l'esperienza umana in materia prima da estrarre, analizzare e vendere, con l'obiettivo primario di prevedere e modificare il comportamento a scopi commerciali (Zuboff, 2019). I bias algoritmici diventano così *algoritmi di oppressione* (Noble, 2018) che replicano e amplificano attivamente le disuguaglianze strutturali, marginalizzando sistematicamente le comunità vulnerabili. La lotta per una cittadinanza digitale trascende la richiesta di trasparenza e si configura come critica radicale a un modello di accumulazione che assomiglia a una nuova forma di colonialismo dei dati, in cui la vita stessa viene espropriata e annessa al dominio del capitale (Couldry & Mejias, 2019).

La formazione civica non può limitarsi alla mera conoscenza delle istituzioni: occorre educare all'alfabetizzazione dei dati e all'etica algoritmica. Il ponte teorico tra analisi tecnica e azione civica giustifica la scelta metodologica della tesi: una rassegna critica della letteratura sui meccanismi algoritmici, integrata con due survey studentesche, permette di connettere l'analisi delle infrastrutture tecno-sociali con l'esperienza vissuta. Questo progetto mira a sollevare il velo tecnico e restituire protagonismo educativo, trasformando gli studenti da consumatori ad attori critici nei processi di filtraggio informativo, dove il fenomeno della disinformazione legata ai temi ambientali e scientifici ha assunto forme specifiche e preoccupanti.

L'Italia presenta uno dei tassi più alti in Europa di esposizione a contenuti giudicati distorti o fuorvianti: il 36% della popolazione dichiara di incontrarli frequentemente, con particolare concentrazione nel settore ambiente, energia e clima (Reuters Institute, 2024). I profili social con maggiore engagement ambientale sono spesso legati a fonti non verificate o attivismo polarizzante (AGCOM, 2023). Ne emerge un paesaggio informativo in cui l'interesse per l'ambiente si scontra con la saturazione di narrazioni manipolate, semplificate o tendenti alla polarizzazione.

L'ondata di contenuti complottisti emersa attorno alla crisi climatica dell'estate 2023 rappresenta un caso emblematico. Numerosi account su

Telegram, TikTok e Facebook hanno diffuso teorie negazioniste sulle cause dei roghi boschivi in Sicilia e Sardegna, suggerendo scenari di cospirazione piuttosto che effetti del cambiamento climatico. Questi contenuti si sono propagati sfruttando dinamiche di viralità algoritmica e botnet, amplificando messaggi semplificati su larga scala (CNR-IIT, 2023). Questo esempio mostra come i Big Data possano essere distorti per costruire narrazioni tossiche e come la cittadinanza digitale possa diventare vulnerabile in assenza di strumenti critici adeguati.

In ambito educativo, la risposta delle istituzioni italiane è ancora parziale. Il Piano Nazionale Scuola Digitale e i moduli di educazione civica digitale introdotti dalla Legge 92/2019 faticano a integrare una riflessione articolata su bias, algoritmi e giustizia informativa. Nella maggioranza dei curricoli scolastici, l'educazione al digitale rimane orientata alla sicurezza, all'uso tecnico e alla cittadinanza "legale", senza affrontare i meccanismi epistemici e sociopolitici del dato. Emerge la necessità di un'educazione civica che attraversi i dati e l'ambiente, i flussi informativi e le ecologie relazionali.

L'urgenza di una ecoliteracy civica e mediale

L'urgenza di un'alfabetizzazione ecologica rappresenta una necessità epistemica nel cuore della contemporaneità. L'ecoliteracy è stata definita come

> *la capacità di comprendere i sistemi ecologici, leggere le interconnessioni tra ambiente, società e azione individuale, e agire in modo responsabile verso la sostenibilità. Ogni processo educativo dovrebbe avere al centro il riconoscimento dei limiti ecologici del pianeta, e ogni atto pedagogico è anche un atto politico verso una visione del mondo* (Orr, 1992).

In continuità con questa prospettiva sistemica, il concetto di ecoliteracy include le dinamiche complesse dei sistemi viventi, fondandolo su una comprensione profonda dei principi della rete e dell'interdipendenza (Capra & Luisi, 2014).

L'ambiente contemporaneo è fatto di biosfera e anche di datasfera. I nostri contesti di referenzialità sono abitati da algoritmi, flussi di dati, piattaforme digitali che funzionano come nuovi habitat epistemici, modificando non solo cosa sappiamo, ma anche come impariamo, sentiamo, decidiamo. La nozione tradizionale di ecoliteracy mostra qui i suoi limiti: non basta più comprendere le reti naturali, è necessario leggere anche le reti informative e i meccanismi di potere che le strutturano.

Questa necessità di estendere lo sguardo ecologico si fonda su una constatazione materiale: la datasfera è un ambiente etereo e smaterializzato, ma possiede anche un'impronta ecologica profonda e spesso invisibile. Ogni interazione digitale è sostenuta da un'infrastruttura globale che consuma immense quantità di energia, acqua e risorse naturali, dall'estrazione di terre rare per la produzione dei dispositivi all'alimentazione dei data center (Crawford, 2021). La "nuvola" (cloud) ha un peso geologico. Una vera ecoliteracy non può ignorare la dimensione materiale e politica dell'intelligenza artificiale e delle infrastrutture che la abilitano. Comprendere l'impatto ambientale della tecnologia è elemento centrale per decostruire la falsa separazione tra digitale e naturale, riconoscendo che la sostenibilità del nostro ecosistema informativo è intrinsecamente legata alla sostenibilità del pianeta.

Emerge così l'esigenza di integrare ambiente, cittadinanza e media in una forma ibrida di alfabetizzazione. Questa prospettiva implica una ridefinizione radicale della relazione tra media e sostenibilità. I media sono ormai veri e propri ambienti simbolici con effetti materiali (López, 2021). Non si tratta solo di decodificare immagini e testi, ma di interrogare le infrastrutture mediali che plasmano l'immaginario ambientale e la percezione dei rischi ecologici, dai social network alle logiche di raccomandazione algoritmica. Una pedagogia che integra ecocultura, ecopolitica, ecomaterialismo e mondo-vita come assi per leggere criticamente ogni oggetto mediale permette di riconoscere che la dimensione mediale è oggi parte integrante dell'ambiente.

È anche attraverso le piattaforme digitali che vengono rappresentati i disastri climatici, negoziati i dati sui consumi, costruiti i discorsi sulla sostenibilità. Allo stesso tempo, è in questi spazi che si diffondono disinformazione, negazionismo, ecofobia. La crisi ambientale è anche una crisi mediale: una lotta per la definizione di cosa è reale, urgente, desiderabile. Questo *scontro* tra due mondi, biosfera e datasfera, interseca la cittadinanza. La Costituzione italiana, recentemente modificata con Legge Costituzionale n. 1/2022, ha introdotto la tutela dell'ambiente e delle generazioni future tra i principi fondamentali. Tuttavia, l'educazione civica continua a essere declinata prevalentemente secondo modelli giuridici e storici, spesso disgiunti dalla dimensione digitale e ambientale. Chi non è in grado di riconoscere la manipolazione algoritmica dei contenuti fatica a esercitare pienamente la cittadinanza. Chi non comprende i flussi materiali e informativi che lo attraversano non può esercitare agency ecologica. La cittadinanza oggi richiede una nuova alfabetizzazione che integri ambiente, media e responsabilità in modo sistemico.

Il Framework EcoAI unisce ecoliteracy tradizionale, media literacy, responsabilità digitale e ecoagency, intesa come capacità di agire nel contesto digitale in modo ecologicamente informato. Questo approccio propone un cambio di paradigma: leggere i media come ambienti, i dati come atti politici, la tecnologia come contesto ecologico. È una grammatica dell'interdipendenza, progettata per formare cittadini capaci di abitare e trasformare l'ecologia digitale della contemporaneità attraverso strumenti validati empiricamente come l'EcoAI Index.

La presente ricerca si colloca in questa cornice e intende fornire evidenza empirica sull'esistenza di tali competenze nei contesti scolastici italiani, per individuare profili, criticità e prospettive, e contribuire alla costruzione di un quadro di riferimento per interventi situati per l'implementazione dell'ecoliteracy mediale nelle scuole italiane.

Obiettivi della ricerca e approccio metodologico

Questa tesi si propone di costruire un trait d'union tra teoria, metodo e applicazione educativa, con una finalità conoscitiva (mappare empiricamente come le giovani generazioni italiane si collocano rispetto ai domini dell'ecoliteracy civica e mediale) e una finalità applicativa (elaborare strumenti e linee d'intervento capaci di orientare politiche scolastiche, digitali e ambientali), declinate nei quattro obiettivi che seguono. Gli obiettivi specifici della ricerca sono: il primo è costruire e validare l'EcoAI Index, un indice multidimensionale di ecoliteracy civica e mediale che integri conoscenze ambientali, competenza sui media e algoritmi, postura critica digitale e impegno civico, operativizzando empiricamente il Framework EcoAI. Il secondo obiettivo intende analizzare le relazioni fra ecoliteracy, agency digitale e percezioni dell'intelligenza artificiale per determinare quali dimensioni del Framework EcoAI risultano più centrali nei profili degli studenti e come si configurano le interdipendenze tra consapevolezza ecologica, competenza mediale e posizionamento critico rispetto alle tecnologie algoritmiche.

Il terzo è identificare profili distinti tra gli studenti attraverso analisi di clustering, comparando le differenze tra cluster su variabili chiave quali fiducia nelle istituzioni, percezione dei rischi ambientali, pratiche digitali quotidiane e orientamento all'azione collettiva. Infine, il quarto obiettivo è tradurre i risultati empirici in un toolkit educativo e linee guida di policy per l'adozione dell'ecoliteracy mediale nelle scuole italiane e per una regolazione algoritmica più trasparente nei contesti formativi.

La scelta di integrare due survey sequenziali (esplorativa e confermativa) con una ricognizione critica della letteratura su bias algoritmici e sistemi di raccomandazione risponde alla necessità di connettere la dimensione infrastrutturale dei media digitali con l'esperienza cognitiva e valoriale degli studenti. Esse restituiscono la dimensione soggettiva, affettiva e valoriale, mentre l'apparato teorico-critico rende visibili i meccanismi strutturali entro cui quell'esperienza si forma e permettendo di rilevare come le dinamiche algoritmiche vengano percepite, interiorizzate o contrastate.

Solo questo approccio ibrido consente di confrontare i dati macro dei sistemi informativi con le percezioni e le esperienze soggettive, costruendo una base empirica per interventi educativi trasformativi.

Capitolo 1 - Educazione civica ed ecoliteracy in Italia: storia, normative e linee guida

L'educazione civica in Italia ha attraversato una lunga evoluzione normativa, culturale e pedagogica. Originariamente intesa come insegnamento dei principi costituzionali e dei valori democratici, essa ha conosciuto una progressiva trasformazione culminata con l'integrazione di dimensioni nuove, tra cui la sostenibilità ambientale e l'alfabetizzazione ecologica (ecoliteracy), concetti oggi imprescindibili nella formazione di una cittadinanza attiva e consapevole.

Nell'arco di oltre mezzo secolo, a partire dall'introduzione negli anni Sessanta con la circolare n. 130 del 13 febbraio 1958, l'educazione civica fu concepita come disciplina ausiliaria, priva di valutazione autonoma, delegata alla buona volontà degli insegnanti di storia. In questa prima fase, i contenuti erano prevalentemente ispirati ai principi costituzionali, alla struttura dello Stato e alla convivenza civile, riflettendo l'impostazione di una cittadinanza normativa e istituzionale.

A partire dagli anni Duemila, l'Italia ha iniziato un processo di revisione del concetto stesso di cittadinanza, in risposta alle trasformazioni sociali, culturali e ambientali della società contemporanea. In questa direzione si muovono le Linee guida per l'insegnamento dell'educazione civica emanate nel 2020 dal Ministero dell'Istruzione, che articolano il curricolo secondo tre nuclei fondanti: la Costituzione, lo sviluppo sostenibile e la cittadinanza digitale. Tali documenti promuovono una didattica per competenze, orientata alla formazione di cittadini consapevoli, critici e attivi. A questa trasformazione normativa si accompagna una riflessione pedagogica che ha visto emergere il concetto di educazione civica digitale come campo autonomo di ricerca e prassi. Studi recenti evidenziano come l'introduzione della dimensione digitale comporti una riconfigurazione epistemologica del concetto stesso di cittadinanza, come in quelli di di Giovanetti (2021) e Bagnato (2022): conoscere i diritti e i doveri costituzionali ed esercitarli consapevolmente nello spazio digitale, affrontando criticamente temi quali privacy, bias algoritmici, uso dei dati personali e disinformazione.

Nel quadro di questa evoluzione, un ruolo crescente è occupato dall'ecoliteracy: la sua genealogia teorica, i suoi contenuti e le sue implicazioni per l'educazione civica sono discussi estesamente nella sezione 1.2. La Legge Costituzionale n. 1 del 2022 rafforza questa direzione, e i documenti programmatici recenti, come il Piano Nazionale Scuola Digitale (Ministero dell'Istruzione, 2021) e la Strategia Nazionale per le Competenze Digitali (Repubblica Digitale, 2023), delineano una cornice in cui sostenibilità ambientale e cittadinanza digitale operano come dimensioni co-costitutive. Nel contesto di infrastrutture digitali che estraggono risorse naturali, dati e lavoro, con rilevanti costi ambientali e democratici (Crawford, 2021), alla scuola è richiesto di formare soggetti capaci di abitare tali ambienti in modo critico, sostenibile e partecipativo.

L'espressione *educazione civica digitale* racchiude oggi una tensione complessa: da un lato la tradizione della cittadinanza attiva con i suoi valori istituzionali; dall'altro la sfida contemporanea di integrare media, reti e algoritmi in un orizzonte formativo indissociabile dal digitale. La cittadinanza si esercita sia nei confini territoriali e istituzionali sia negli spazi digitali, riconoscendo che media, algoritmi, reti e piattaforme sono luoghi di formazione identitaria, di interazione pubblica e di esercizio dei diritti e dei doveri.

Le prime forme di attenzione istituzionale verso le competenze digitali risalgono agli anni Duemila, in un contesto dominato dall'alfabetizzazione informatica di base. L'enfasi era posta sull'accesso alla tecnologia, sull'utilizzo strumentale di dispositivi e software e sulla riduzione del cosiddetto digital divide di prima generazione. Con la diffusione planetaria di internet e delle piattaforme sociali emergono interrogativi nuovi: chi controlla i dati? Quali logiche regolano la circolazione dei contenuti? In che modo le dinamiche algoritmiche influenzano l'opinione pubblica?

L'introduzione dell'educazione civica digitale nel panorama educativo italiano non è stata né improvvisa né lineare. Un primo tentativo di sistematizzazione sul piano europeo arriva con il DigComp (Digital Competence Framework for Citizens), introdotto nel 2013 e aggiornato fino

alla versione 2.2 (2024), che identifica cinque aree chiave per la competenza digitale: alfabetizzazione su dati e informazioni, comunicazione/collaborazione, creazione di contenuti, sicurezza e risoluzione dei problemi (Commissione Europea, 2024). Dal 2014 viene sviluppato il Digital Economy and Society Index (DESI), che monitora i livelli di digitalizzazione nei Paesi UE, rilevando sistematicamente il ritardo italiano e spingendo il governo a intervenire con programmi mirati di alfabetizzazione digitale e formazione docenti.

Dalle premesse normative emerge che l'educazione civica digitale è un insieme di dimensioni integrate: conoscenza normativa, pensiero critico sui media, consapevolezza delle piattaforme, responsabilità digitale e partecipazione attiva. In letteratura, l'educazione civica digitale viene concepita come estensione della educazione civica tradizionale in epoca di media digitali: per esempio il lavoro Civic Education between Digital Platforms and New Forms of Citizenship (Adamoli, Carraro, Emilio et al., 2023) analizza come le piattaforme digitali trasformino le forme di partecipazione civica e come le pratiche educative debbano adattarsi per restare rilevanti nel nuovo contesto. Altri autori insistono che l'educazione digitale dovrebbe essere considerata materia trasversale, non confinata a classi dedicate: il paradigma della media education (Gómez-Galán, 2018) propone che l'educazione ai media non sia strumentale, ma un modo per abitare criticamente l'ambiente digitale. L'educazione civica digitale è l'orizzonte in cui educazione civica, media literacy e competenze digitali si intersecano (cfr. par. 1.2).

1.1 Normative italiane e linee guida istituzionali

La base normativa della cittadinanza digitale in Italia si colloca nel solco del Codice dell'Amministrazione Digitale (CAD), promulgato con il Decreto Legislativo 7 marzo 2005, n. 82. Questo corpus legislativo ha introdotto per la prima volta termini fondamentali quali *documento informatico*, *firma digitale*, *trasmissione telematica* e *servizi online*, istituendo le condizioni

per un rapporto digitale tra cittadino e pubblica amministrazione. Di fatto, il CAD ha anticipato un *contratto implicito di cittadinanza digitale*, in cui la partecipazione civica è resa possibile (ma anche vincolata) all'accesso e alla padronanza dell'infrastruttura tecnica.

Con la Legge 13 luglio 2015, n. 107, nota come "La Buona Scuola", l'innovazione digitale entra nel sistema scolastico come priorità strutturale. Tale legge istituisce il Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD), che rappresenta il primo documento strategico a integrare l'educazione digitale in termini di infrastrutture, contenuti didattici e competenze professionali. Nel periodo 2015-2020, circa 1,9 miliardi di euro sono stati investiti per la transizione digitale delle scuole, e al 2020 si stimava che il 93,4% delle classi italiane fosse connesso a Internet (Osservatorio Scuola Digitale). La Legge n. 92/2019 reintroduce l'educazione civica come materia obbligatoria, includendo esplicitamente le competenze digitali e la cittadinanza nella rete. L'articolo 5 stabilisce che:

"*l'educazione civica comprende la conoscenza della Costituzione, delle istituzioni dello Stato italiano, dell'Unione europea e degli organismi internazionali, l'educazione alla cittadinanza digitale e ambientale*".

L'obiettivo è preparare studenti e studentesse a un utilizzo consapevole, responsabile e critico dei media e delle tecnologie, sapendo

"*fruire in modo consapevole e critico dei media e della rete, partecipare attivamente al dibattito pubblico, creare e gestire la propria identità digitale in sicurezza*"(Art. 5, Legge 92/2019).

Le Linee guida ministeriali del 2020 chiariscono il carattere trasversale dell'educazione civica, specificando che le tematiche connesse alla cittadinanza digitale afferiscono alle competenze digitali e a tutte le discipline. In tale prospettiva, la cittadinanza digitale è una direttrice trasversale che attraversa tutti i saperi scolastici. Tale impostazione ha successivamente trovato conferma anche nei documenti di orientamento europeo, come il "Framework DigComp" e il "GreenComp" per le competenze di sostenibilità (Bianchi et al., 2022). Infine, alcune iniziative

ministeriali recenti sostengono l'educazione digitale come dimensione di cittadinanza attiva, per esempio il progetto Integrating Digital and AI Literacy with Digital Citizenship (Punzo, 2025) sviluppa curriculum che non trattano l'IA come contenuto marginale, ma come motore integrato della cittadinanza digitale.

1.2 Dati ufficiali e gap strutturali: dal tecnicismo alla cittadinanza critica

Nonostante le normative e i piani, persistono criticità strutturali. In molte scuole italiane la dotazione tecnico-digitale resta disomogenea, soprattutto nelle aree rurali o nei contesti socioeconomici deprivati, indebolendo la capacità di accesso effettivo alle opportunità di cittadinanza digitale. Come accennato precedentemente, solo il 45,8% della popolazione italiana tra i 16 e i 74 anni possiede competenze digitali almeno di base (media UE del 55,6%) e i dati ISTAT (2023) mostrano che tra i 65 e i 74 anni, solo il 19,3% raggiunge questo livello minimo. Il problema italiano non è soltanto di accesso o infrastruttura, ma anche di qualità: l'educazione digitale resta troppo spesso confinata all'uso tecnico, senza sviluppare la capacità critica necessaria per affrontare le sfide dell'ambiente algoritmico. L'educazione deve includere la comprensione dei meccanismi informativi, la valutazione delle fonti, la gestione dell'identità digitale e l'esercizio consapevole dei diritti digitali. L'adozione formale dell'educazione civica digitale non garantisce la qualità dell'esperienza educativa: numerosi docenti segnalano lacune nella formazione specifica per affrontare temi come algoritmi, protezione dati e bias digitali. L'articolo *Fostering Digital Citizenship and Effective Approach to Change in Teachers* (Mariani, Piceci, 2021) mostra come un percorso di sviluppo professionale possa innalzare le competenze digitali dei docenti e la loro autoefficacia, ma che tali interventi restano sporadici e localizzati. La sfida è rendere coerenti le disposizioni normative con l'esperienza concreta: adottare linee guida, piani e leggi non basta se la didattica resta formale, episodica o subordinata agli strumenti anziché al pensiero critico. Come notato in interventi divulgativi:

"*le normative basate su divieti non bastano: l'educazione digitale deve accompagnare i giovani nello sviluppo di cittadinanza consapevole*" (Michilli, 2025).

Come già osservato nella sezione introduttiva, il problema italiano non è soltanto di accesso o infrastruttura, ma soprattutto di qualità: l'educazione digitale resta troppo spesso confinata all'uso tecnico, senza sviluppare la capacità critica necessaria per navigare le sfide dell'ambiente algoritmico (Capaccioni, 2023; Zuboff, 2019). Nel contesto scolastico italiano, l'ecoliteracy è integrata sotto la voce "sviluppo sostenibile" nel curriculum di educazione civica. Le scuole sono chiamate a promuovere la consapevolezza ecologica degli studenti attraverso percorsi che uniscano scienze naturali, educazione etica, geografia e tecnologia. Il Piano RiGenerazione Scuola rappresenta un esempio di iniziativa sistemica per integrare l'educazione ambientale in tutte le attività scolastiche, con particolare attenzione all'economia circolare, alla transizione energetica e all'educazione civica ecologica.

Negli ultimi anni si è assistito a un'estensione del concetto di ecoliteracy verso una forma che comprende anche l'ambiente digitale. Antonio López (2020) parla di "ecomedia literacy" per indicare la necessità di saper leggere criticamente i media in relazione all'ambiente e al cambiamento climatico, proponendo che i media siano analizzati come oggetti ecologici, dotati di "footprint" (impronta materiale, energetica) e "mindprint" (modelli culturali, narrazioni) che condizionano le modalità di relazione con l'ambiente. Il Framework EcoAI propone l'integrazione tra ecoliteracy, media literacy e competenze digitali, al fine di formare cittadini capaci di navigare ambienti mediali complessi, comprendere il condizionamento reciproco tra infrastrutture ecologiche ed ecomediali e agire in modo ecologicamente e socialmente responsabile. Questa prospettiva richiede una revisione delle pratiche educative: l'educazione civica deve includere la capacità di leggere dati, algoritmi, media e piattaforme in chiave ecologica.

1.3 Media education, ecoliteracy e pluralità delle literacies nella prospettiva EcoAI

1.3.1 Dalla media education alla Ecomedia education: una genealogia critica

La media education, come campo pedagogico autonomo, emerge negli anni '60-'70 come risposta critica all'espansione della cultura di massa e alla crescente influenza dei media sulla formazione identitaria e civica. Il paradigma iniziale, influenzato dal Birmingham Centre for Contemporary Cultural Studies e dalla teoria critica della Scuola di Francoforte, si impegnò a svelare le dinamiche ideologiche sottese alla produzione mediatica. (Masterman, 1985; Buckingham, 2003)

Nella loro visione, la media education rappresenta una forma di alfabetizzazione critica. L'obiettivo è la formazione di cittadini consapevoli, capaci di decodificare simbolicamente i contenuti mediali e riconoscere i meccanismi di potere veicolati attraverso di essi. David Buckingham (2003) sottolinea come l'educazione ai media debba basarsi su quattro dimensioni fondamentali: la rappresentazione, il linguaggio, la produzione e il pubblico, tutte da interrogare criticamente.

In Italia, Pier Cesare Rivoltella (2001, 2010) insiste sull'importanza di un'educazione alla cittadinanza democratica che, attraverso la media education, formi cittadini non solo informati, ma anche partecipativi e autonomi nel loro agire interpretativo. Questa impostazione rifiuta sia il determinismo tecnologico, che attribuisce ai media un potere neutro o ineluttabile, sia il paternalismo pedagogico, che vede gli studenti come soggetti passivi da proteggere. Rivoltella propone una pedagogia della mediazione, in cui gli studenti sono co-produttori di significato e protagonisti attivi del processo educativo. In questa stessa tradizione critica italiana, un contributo sistematico a questa traiettoria critica proviene dal lavoro di Maria Ranieri, che fin da *Le insidie dell'ovvio* (2011) ha problematizzato la retorica tecnocentrica nell'educazione, proponendo un approccio consapevole alle tecnologie digitali che supera tanto l'entusiasmo acritico quanto il rifiuto aprioristico. Questa prospettiva trova sviluppo in

La media education nella scuola multiculturale (Ranieri, Fabbro & Nardi, 2015), dove la media education è concepita come strumento per promuovere pensiero critico e cittadinanza digitale in contesti scolastici eterogenei. La continuità di questo percorso emerge chiaramente in *Scuola e Intelligenza Artificiale* (Cuomo, Ranieri & Biagini, 2024), in cui l'intelligenza artificiale viene affrontata non come dominio riservato agli specialisti informatici, ma come campo che richiede percorsi strutturati di alfabetizzazione critica orientati alla cittadinanza digitale consapevole. Henry Jenkins (2006), con il concetto di "*convergence culture*", amplia questo paradigma in una prospettiva globale e transmediale. Mostra come i confini tra produttori e fruitori di contenuti si siano dissolti nell'era digitale, rendendo ancora più urgente un'educazione mediale centrata su partecipazione, collaborazione e responsabilità. La sua analisi, fondata su cultura partecipativa e intelligenza collettiva, integra il quadro teorico proposto da Rivoltella, rafforzandone le implicazioni civiche e comunicative. I mutamenti socio-tecnologici degli ultimi decenni, l'avvento della società algoritmica e della crisi ecologica planetaria richiedono un'ulteriore evoluzione epistemologica: dalla media education all'Ecomedia education. Cubitt (2017) e Maxwell e Miller (2012) hanno dimostrato come i media digitali non siano "immateriali" ma profondamente radicati in infrastrutture fisiche (data center, reti di cavi sottomarini, estrazione di terre rare) che producono impatti ecologici diretti. Postman (1970) suggeriva come i media operano come "ambienti ecologici" che strutturano modalità cognitive, affettive e valoriali attraverso cui percepiamo e agiamo nel mondo.

Nasce la prospettiva della Ecomedia education, che integra la tradizionale critica ideologica con l'analisi delle materialità tecnologiche e delle narrative ambientali veicolate dai media. Nella contemporaneità, l'ecologia non è più confinata al "mondo naturale" disgiunto dal digitale: le nostre esperienze ambientali sono sempre più mediate da tecnologie, sensori, piattaforme e visioni digitali. Jennifer Gabrys (2016), nelle sue ricerche sul *citizen sensing* e le infrastrutture ambientali-sensoriali,

evidenzia come i sensori ambientali siano anche attori che modellano la visione dell'ambiente, operando soglie, filtri, politiche di accesso ai dati e pratiche partecipative. Ciò che percepiamo come "realtà ambientale" risulta già parzialmente costruito da decisioni tecniche e algoritmiche.

Il paradigma dell'ecoliteracy si amplia fino a fondersi con l'ecomedialità, dando vita a una forma di alfabetizzazione che indaga come i media costituiscano e trasformino la percezione, la rappresentazione e l'azione ambientale. Studi recenti (Hansen & Cox, 2015; Sörlin & Warde, 2009) documentano come le narrative mediali sul cambiamento climatico, attraverso frame, metafore, toni e visualizzazioni, influenzino in modo determinante la percezione pubblica del rischio e la disponibilità ad agire. Le piattaforme social media, attraverso algoritmi di ranking e raccomandazione, amplificano o marginalizzano discorsi ecologici, creando "*bolle verdi*" o "*echo chambers negazioniste*". (Williams et al., 2015). Un'educazione mediale efficace deve includere due dimensioni integrate: una dimensione materiale/ecologica che analizza il costo ambientale delle infrastrutture fisiche, l'e-waste, il consumo energetico dei data center, le filiere tecnologiche; una dimensione culturale/narrativa che si interroga su come i media costruiscano immagini dell'ambiente, priorità ecologiche, scenari futuri.

Emerge la domanda educativa che sostiene parte del Framework EcoAI: come mediare tra le due dimensioni? Non basta insegnare il ciclo dell'acqua o la biodiversità; è essenziale che gli studenti imparino a leggere come i media plasmano la relazione tra umani e ambiente. Questo richiede che l'educazione civica mediale includa tematiche ambientali e digitali integrandole in una narrativa unificata. La letteratura critica sulla media education suggerisce che la mera alfabetizzazione mediale non basti: l'approccio basato sulla competenza individuale tende a isolare le pratiche dai contesti strutturali, mentre l'innovazione sta nel collegare le pratiche mediatiche ai sistemi ecologici, alle dinamiche di potere e alle infrastrutture materiali, come evidenziato da Nichols nell'articolo "Media education and the limits of "*literacy*"", (Nichols, 2021). Nel quadro del Framework EcoAI,

questa evoluzione di paradigma si traduce in una ecoliteracy che diventa parte integrante della media literacy, dell'alfabetizzazione dei dati e delle responsabilità civiche algoritmiche. Sul piano didattico, l'applicazione di questo approccio può includere: l'*analisi di "oggetti mediali ecologici"*, come video, social post, campagne ambientali da decostruire in chiave materiale; l'*audit ambientale dei media*, con simulazioni scolastiche in cui si misura o si stima il consumo energetico di un podcast, video in streaming, dispositivi social; i *contesti sensorio-ambientali co-generati* nei quali usare kit di monitoraggio ambientale intrecciati con spazi digitali per fare riflessioni sia tecniche sia ecologiche; le *narrative alternative multimediali* con la costruzione di testi, video o mappe interattive che propongano visioni ambientali diverse da quelle mainstream, sperimentando una *ecologia narrativa*.

1.3.2 La pluralità delle literacies nel Framework EcoAI: verso un ecosistema integrato di competenze

Uno degli elementi costitutivi del Framework EcoAI è il superamento della visione monolitica dell'alfabetizzazione come un'unica competenza in favore di un modello plurale in cui diverse literacy coesistono, si intersecano e dialogano in una visione sistemica, pensate come assi parallele attraverso cui leggere e intervenire nel mondo ibrido Ecodigitale.

La media & information literacy (MIL) resta un pilastro indispensabile: capacità di accedere, valutare fonti, produrre contenuti e partecipare criticamente nelle reti informative, coerente con gli standard UNESCO (Media and Information Literacy Curriculum for Teachers; Wilson et al., 2011). Accanto alla MIL, EcoAI introduce la ecoliteracy quale alfabetizzazione ecologica che riconosce i media e i sistemi digitali come ambienti che modellano l'esperienza, assumendo una dimensione mediale: leggere i media come dispositivi ecologici e comprendere le interrelazioni fra le reti mediali e l'ecosistema terrestre. La AI literacy diventa componente essenziale del Framework EcoAI: comprendere le capacità e i limiti dei sistemi di intelligenza artificiale, leggere i processi di inferenza, bias,

sensibilità dei modelli. Long & Magerko (2020) suggeriscono competenze chiave come progettazione di prompt, valutazione degli output, consapevolezza dei bias.

La data literacy costituisce un altro asse: saper raccogliere, ordinare, interpretare, rappresentare e comunicare dati in forma etica. Nel contesto ambientale, ciò significa interrogare da dove vengano i dati climatici o sensoriali, quali siano le soglie di validità, come siano stati aggregati e a quale regime politico-accademico appartengano (Pangrazio & Sefton-Green, 2021).

La civic responsibility literacy rappresenta la dimensione normativa e partecipativa: conoscenza dei diritti digitali, delle policy, dei meccanismi di governance algoritmica e capacità di intervento, collegando la cittadinanza tradizionale con le opportunità e i vincoli tecnici del mondo digitale.

Infine, la ecoagency literacy indica la capacità di agire come cittadini ecologici e digitali, consapevoli della propria posizione e della propria potenza trasformativa. Questa literacy non misura solo il "sapere" ma il "fare": quali scelte progettuali, azioni comunitarie o mini-interventi digitali uno può assumere nell'ambito delle infrastrutture mediali ed ecologiche.

Questa configurazione integra l'approccio delle *multiliteracies* del New London Group (1996), secondo cui le competenze comunicative contemporanee richiedono padronanza di modalità semiotiche molteplici: testuali, visive, spaziali, algoritmiche, e consapevolezza dei contesti culturali e tecnici in cui operano. Nel contesto Ecodigitale, le literacy non sono isolate, ma intrecciate in un tessuto di competenze relazionali e situate. Un aspetto centrale del Framework EcoAI è che queste literacy concorrono come prismi che filtrano la realtà in modo interattivo piuttosto che "moduli separati" da insegnare uno dopo l'altro. Un'attività su cambiamenti climatici in una scuola può attivare contemporaneamente la data literacy (analisi di serie storiche di CO_2), la AI literacy (modelli predittivi clima), la media literacy (analisi delle narrative mediali sul clima) e l'ecoagency literacy (ideazione di possibili interventi locali).

La pluralità delle literacies nel Framework EcoAI va oltre la somma di competenze: mira a una competenza ecosistemica, capace di muoversi fluidamente tra ambienti naturali, mediali, digitali, algoritmici e civici, e di rispondere alla complessità attraverso strumenti integrati e interdipendenti.

1.3.3 Scetticismo attivo e pensiero critico nell'era algoritmica

In un'epoca in cui algoritmi e sistemi predittivi modellano gran parte dell'esperienza informativa, lo scetticismo attivo è una competenza civile imprescindibile. Roberto Trinchero riprende tradizioni educative critiche del pensiero (Dewey, 1910; Ennis, 1962) e propone che l'educazione al dubbio debba evolversi per fronteggiare la polarizzazione algoritmica, la disinformazione generativa e le filter bubble. L'idea è far sì che gli studenti sviluppino gli strumenti per *interrogare i processi invisibili* che ordinano l'informazione. Tre elementi rendono lo scetticismo attivo cruciale oggi. Il primo riguarda la *personalizzazione estrema e le bolle algoritmiche*: gli algoritmi di raccomandazione tendono a rafforzare i pregiudizi e le convinzioni preesistenti, limitando l'esposizione a idee divergenti (Sunstein, 2017; Pariser, 2011). In ambito ecologico, questo può significare che certi messaggi ambientali vengono amplificati, altri silenziati, lasciando lo studente intrappolato in narrazioni "verdi" che non interrogano le radici strutturali del problema. Il secondo riguarda *l'opacità e le "black box" algoritmiche*: gran parte delle decisioni algoritmiche è nascosta agli utenti. Il sistema suggerisce, classifica, filtra, senza spiegare, o spiegando in modo tecnico illeggibile. Questo deficit di trasparenza richiede un atteggiamento dubitativo e investigativo: chiedersi *chi* decide i criteri di visibilità, *quali interessi* vi sono dietro, *quali voci* rimangono invisibili (Burrell, 2016; Pasquale, 2015). Il terzo concerne la *produzione automatizzata di disinformazione*: con i modelli generativi, contenuti persuasivi ma falsi proliferano in modo difficilmente distinguibile. Lo studente deve valutare le fonti e sospettare delle architetture che producono somiglianza al vero: scorciatoie convincenti, stilizzazioni realistiche, manipolazioni sottili.

In ambito educativo, strumenti come *Algorithmic Bias Workshops* hanno mostrato che anche i più piccoli possono comprendere visivamente come un algoritmo favorisce certi contenuti rispetto ad altri (Vartiainen et al., 2024). In didattica, lo scetticismo attivo può essere tradotto in esercizi di "reverse engineering" di algoritmi, audit partecipativi di sistemi, mini-esperimenti che confrontano raccomandazioni divergenti per profili simili. Una buona prassi è chiedere agli studenti di "difendere" una narrativa opposta con gli stessi dati, stimolando il pensiero controfattuale.

La letteratura emergente sull'algorithmic literacy come pedagogia inclusiva sostiene, inoltre, che insegnare a "smascherare" non basta: bisogna dare strumenti per *controllare*, *ri-progettare*, *resistere* (Sellar, 2023). L'algoritmo non è neutro: critiche come *Algorithms of Oppression* di Safiya Noble dimostrano come motori di ricerca e sistemi informativi incorporino discriminazioni storiche e strutturali (Noble, 2018). L'adozione di uno scetticismo attivo implica anche una prospettiva di giustizia epistemica algoritmica: chiedersi quali gruppi vengono amplificati, quali sono esclusi, chi decide i criteri di rimappatura digitale.

1.3.4 Identità ecodigitale e soggettività postumana: verso una pedagogia dell'interdipendenza

Quando pensiamo a soggetti educati in un contesto Ecodigitale, non possiamo ignorare le teorie del postumanesimo critico, in particolare i contributi di Rosi Braidotti e Karen Barad, che riconfigurano la soggettività come *nodo relazionale* e *intra-azione* tra umano, non umano e tecnologie, offrendo al Framework EcoAI una base filosofica per ripensare l'identità educativa nell'era degli ecosistemi ibridi umano-tecnologico-naturali. Secondo questa prospettiva, il soggetto è un nodo relazionale in reti di interdipendenza materiali, simboliche ed ecologiche. Braidotti (2019) sostiene che il soggetto contemporaneo è trans-modale, nomade e immanente, immerso in reti di relazioni mutue. Karen Barad, con la nozione di *agential realism*, propone che la conoscenza stessa è performativa: le "cose" non preesistono come entità isolate, ma emergono attraverso *intra-azioni* (Barad, 2007). In un orizzonte didattico, ciò significa che l'azione cognitiva non è mai neutra: ogni interazione con dispositivi, dati, ambienti

lavora nel mondo. Questa tensione tra co-presenza ecologica e disconnessione algoritmica trova una risposta teorica nel concetto di *postumanesimo Ecodigitale* (Rubino, 2025), che costituisce l'orizzonte filosofico e operativo del Framework EcoAI. Questa teoria nasce dall'intreccio di due traiettorie critiche: da un lato, il *postumanesimo relazionale* (Braidotti, 2013; Barad, 2007; Haraway, 2016), che decostruisce l'individualismo antropocentrico per proporre una soggettività situata, vulnerabile e intra-attiva; dall'altro, la crescente urgenza ecologica nell'era delle infrastrutture digitali pervasive, che ridefinisce le condizioni materiali e simboliche dell'agire educativo.

Il Postumanesimo Ecodigitale formalizza soggettività, agency e responsabilità come effetti di un sistema Ecodigitale: una configurazione relazionale in cui i campi di habitus ecologico ed ecomediale operano simultaneamente, sostenuti da infrastrutture materialmente distinte (Gabrys, 2016; Parikka, 2015). I dispositivi digitali funzionano come interfacce trasduttive che mediano il transito delle disposizioni tra i due campi. L'educazione, in questo quadro, è una pratica ontopolitica di co-costruzione di mondi interconnessi, dove media, ambienti e corpi producono conoscenza in reciproca implicazione, non un mero processo di "trasmissione".

Nel quadro EcoAI, questa teoria assume funzione fondativa: essa propone una pedagogia eco-tecnologica in cui gli studenti apprendono a riconoscersi come soggetti intra-agenti (nodi situati in reti relazionali che connettono dati, suoli, linguaggi, infrastrutture energetiche e sistemi algoritmici, differenziate al loro interno dalla posizione dei super-nodi che ne organizzano le condizioni operative). Si tratta di formare una identità educata Ecodigitale, capace di coniugare senso critico, consapevolezza materiale e attitudine progettuale verso un futuro condiviso. La teoria del postumanesimo Ecodigitale contribuisce a superare tanto le derive antropocentriche dell'umanesimo tradizionale quanto i rischi disincarnati del digitalismo. Essa propone una soggettività collettiva, relazionale e situata, che affonda le sue radici nel pensiero complesso (Morin, 2008),

nella responsabilità planetaria (Dussel, 2002) e nella necessità di reimmaginare l'educazione come spazio di alleanze tra umano, non-umano e tecnosfera. Questa prospettiva ci orienta verso una identità Ecodigitale, in cui l'essere-soggetto non è un io autonomo, ma una presenza situata, vulnerabile, interconnessa. Gli studenti sono invitati a interrogare la loro posizionalità ecologica e algoritmica: da quale ambiente mediale parlano? Quali reti li sostengono? Quali tecnologie li mediano? Progetti didattici che adottano questa visione possono includere laboratori di co-design con agenti algoritmici (es. chatbot ambientali), sensoristica urbana in cui l'identità dello studente è parte del processo sensoriale, percorsi di riflessione posizionale (mapping delle proprie tracce digitali e ambientali), e dialoghi su responsabilità relazionali con entità non umane (flora, suolo, aria, dati) che partecipano alle reti ecologiche.

Un filone in espansione, la pedagogia postumana, indaga come l'educazione possa diventare pratica che tiene conto del più-che-umano, superando la dicotomia umanismo vs tecnologia (Taylor & Hughes, 2016; Murris & Bozalek, 2019). In questi contesti, le esperienze progettuali spesso combinano interventi ambientali, dispositivi sensoriali e narrazioni digitali per favorire empatia ecologica e consapevolezza tecnologica. L'identità educata attraverso il Framework EcoAI è un ente composito, relazionale, che pensa e agisce nella complessità ambientale e algoritmica simultanea. La proposta di "cittadinanza postumana" (Braidotti & Hlavajova, 2018) implica ripensare i curricoli civici per includere non solo diritti e doveri umani, ma anche responsabilità verso ecosistemi, specie non-umane e generazioni future, una prospettiva che l'EcoAI incorpora attraverso l'asse dell'Identity Formation (Cfr. Cap. 3.1).

1.4 Algoritmi e giustizia epistemica

L'integrazione degli algoritmi nei contesti educativi solleva interrogativi fondamentali circa la produzione, l'accesso e la legittimazione della conoscenza nel digitale. Questo fenomeno impone una riflessione critica sulla co-costituzione tra tecnologie digitali, sistemi predittivi e dinamiche cognitive e formative, richiamando il concetto di giustizia epistemica

teorizzato da Miranda Fricker (2007). Fricker ne distingue due forme principali: l'ingiustizia testimoniale, che si manifesta quando il valore epistemico del parlante è compromesso da pregiudizi sociali, e l'ingiustizia ermeneutica, che si verifica quando certi gruppi non dispongono degli strumenti concettuali necessari per rendere comprensibili le proprie esperienze. Entrambe trovano una nuova urgenza nell'ambito della governance algoritmica dell'istruzione, in cui l'autorità conoscitiva si sposta dai soggetti umani ai sistemi automatizzati. L'opacità degli algoritmi, spesso costruita per essere tecnicamente impenetrabile o legalmente protetta da segreti industriali, compromette radicalmente la possibilità di scrutinio democratico. Luciano Floridi (2019) propone un quadro etico per la società algoritmica che include la giustizia epistemica come uno dei cinque principi fondamentali per un'intelligenza artificiale giusta e sostenibile. Questo principio impone che l'accesso alla conoscenza, come possibilità di contribuire alla sua elaborazione, sia equamente distribuito, trasparente e liberato da pregiudizi sistemici.

Floridi approfondisce come le architetture algoritmiche possano favorire o ostacolare la formazione di soggetti cognitivamente autonomi, sottolineando che il rischio maggiore risiede nella progressiva opacità dei meccanismi decisionali, che trasformano gli studenti da agenti attivi a oggetti di calcolo predittivo. La conoscenza, in questo contesto, diventa il risultato di una computazione che anticipa e prescrive traiettorie educative sulla base di correlazioni statistiche superando il processo intersoggettivo caratterizzato dal dialogo e dalla negoziazione di significati. Come osservato nel suo lavoro sull'etica dell'informazione (Floridi 2014), in un ecosistema informazionale equo le tecnologie dovrebbero amplificare la nostra capacità di comprendere e non comprimerla in modelli predittivi opachi che riducono la complessità umana a pattern computabili. La crescente automazione delle decisioni educative rischia di limitare l'agency studentesca, trasformando gli alunni in meri oggetti di calcolo predittivo. Secondo prospettive deterministiche come quelle di Baker e Hawn (2022), di Eubanks (2018) e di O'Neil (2016), gli algoritmi operano come forze

strutturanti che riproducono e cristallizzano disuguaglianze preesistenti, agendo come vere e proprie "armi di distruzione matematica" che aumentano l'ineguaglianza e minacciano la democrazia. Dall'altra parte, prospettive costruttiviste come quelle precitate di Gabrys (2016) e Barad (2007) sostengono che le tecnologie sono co-costitutive: gli algoritmi non impongono unilateralmente significati, ma emergono attraverso pratiche socio-materiali in cui gli attori umani mantengono spazi di negoziazione e resistenza. Si produce così quella che Mollema (2023) definisce una *tassonomia dell'ingiustizia epistemica* nel contesto dell'intelligenza artificiale, dove gli algoritmi oltre a mediare l'accesso ai contenuti educativi ne determinano in anticipo quali traiettorie siano ritenute plausibili o desiderabili per un determinato studente sulla base di indicatori storici, biometrici o comportamentali. Questa forma di profilazione algoritmica opera attraverso quello che Maldonado e Mollema (2023) chiamano l'uso di proxies, indicatori approssimativi che trasformano le soggettività complesse in dati operativi, sacrificando la ricchezza individuale a favore della computabilità sistemica. In ambito scolastico, questo si traduce in un doppio processo di soggettivazione e oggettivazione: l'alunno è definito da ciò che i suoi dati suggeriscono che sarà, e tale definizione finisce per orientare anche il suo stesso comportamento. L'effetto cumulativo di questa dinamica può condurre a vere e proprie profezie autoavveranti (Merton, 1948), in cui le aspettative algoritmiche finiscono per modellare comportamenti e risultati educativi. Quando le aspettative algoritmiche vengono incorporate nelle decisioni pedagogiche e nell'organizzazione didattica, esse possono creare le condizioni materiali affinché gli studenti conformino effettivamente le proprie traiettorie alle predizioni del sistema. Ben Williamson (2016, 2024) ha documentato come la governance digitale dell'educazione abbia promosso un processo di "algorithmic futuring", attraverso cui la scuola viene modellata su scenari anticipati da infrastrutture predittive. Questa forma di futurologia computazionale disegna l'identità educativa dello studente a partire da dati storici e presunti andamenti futuri, instaurando una tensione tra il presente e la sua proiezione algoritmica. Le piattaforme educative, spesso di proprietà

privata, agiscono come nuove istituzioni regolative (Van Dijck, Poell & De Waal, 2018), reimpostando le logiche dell'accesso alla conoscenza in funzione della valorizzazione dei dati, più che della relazione pedagogica. In tale scenario, l'educazione diviene un sito privilegiato per l'estrazione di *behavioral surplus* (Zuboff, 2019), ovvero dati eccedenti che, pur prodotti durante il processo formativo, vengono catturati per finalità estranee all'educazione. Lupton e Williamson (2017) parlano di "datafied child" per descrivere il minore come oggetto di una sorveglianza pervasiva che incide sulla sua possibilità di autodeterminazione cognitiva. La condizione di opacità epistemica è accentuata, secondo Burrell (2016), da tre dimensioni: la segretezza industriale, l'analfabetismo tecnico e la distanza semantica tra logiche algoritmiche e significati umani. Pasquale (2015) ha definito questo scenario come una "*black box society*", dove le decisioni cruciali vengono prese da sistemi inaccessibili e non responsabili verso le comunità che colpiscono. Diakopoulos (2016) insiste sulla necessità di meccanismi di accountability algoritmica, che restituiscano agli attori educativi (docenti, studenti, famiglie) il controllo sui processi decisionali automatizzati. I rischi di bias, discriminazione ed esclusione epistemica aumentano drammaticamente per studenti provenienti da contesti sociali marginalizzati, riproducendo e amplificando disuguaglianze preesistenti. Baker e Hawn (2022) hanno documentato sistematicamente come gli algoritmi di raccomandazione nei sistemi di apprendimento adattivo tendano a indirizzare studenti appartenenti a minoranze etniche verso percorsi STEM meno avanzati, riproducendo pattern di segregazione educativa attraverso meccanismi apparentemente neutrali e tecnici. Virginia Eubanks (2018) ha analizzato casi concreti di come gli strumenti high-tech profilino, sorveglino e puniscano i poveri, mostrando che l'automazione dell'ineguaglianza opera attraverso sistemi che sembrano oggettivi ma incorporano e cristallizzano pregiudizi sociali preesistenti.

A ciò si aggiunge una dimensione razziale e decoloniale della giustizia epistemica. Noble (2018) e Benjamin (2019) mostrano come gli algoritmi riflettano e rafforzino gerarchie razziali attraverso modalità di design che

selezionano, omettono o deformano i contenuti. Studi empirici come Gender Shades di Buolamwini e Gebru (2018) evidenziano come le tecnologie di riconoscimento facciale presentino tassi di errore maggiori per donne nere, rivelando bias intersezionali profondi. Approcci come quelli di Ali (2016), Amrute et al. (2019) e Vora propongono una lettura postcoloniale dei sistemi algoritmici, mostrando come le epistemologie incorporate riflettano genealogie occidentali e universalizzanti.

Dal lato della governance, la crescita dell'edtech globale e l'assenza di regolamentazioni adeguate evidenziano una concentrazione del potere conoscitivo nelle mani di attori privati. Secondo il rapporto HolonIQ (2023), il mercato globale edtech ha raggiunto 254 miliardi di dollari nel 2022, con una crescita prevista al 16,3% annuo fino al 2030, indicando una massiccia finanziarizzazione dell'educazione che trasferisce risorse pubbliche e dati sensibili a piattaforme commerciali. Il rapporto UNESCO (2023) Technology in Education: A Tool on Whose Terms? documenta che solo il 16% dei paesi ha implementato regolamentazioni adeguate sulla protezione dei dati degli studenti, lasciando la maggioranza degli studenti globali esposta a pratiche di data extraction non regolamentate. Neil Selwyn, Luci Pangrazio, Joonas Naskali e Enrique Estellés (2023) hanno analizzato criticamente come il settore edtech operi attraverso quella che definiscono platform capitalism nell'educazione, caratterizzata da logiche di monopolizzazione, estrazione di valore e disruption delle istituzioni educative pubbliche. Inoltre, Niall Sclater (2017) ha fornito una panoramica sistematica dell'uso di algoritmi predittivi per identificare studenti a rischio di abbandono o insuccesso, documentando come questi sistemi, pur presentati come strumenti di supporto, possano operare forme di sorting educativo che riproducono disuguaglianze strutturali. Infine, Jeremy Knox, Ben Williamson e Sian Bayne (2020) hanno introdotto il concetto di machine behaviourism per descrivere come i futuri dell'educazione vengano immaginati attraverso processi di learnification e datafication che riducono l'apprendimento a comportamenti osservabili e quantificabili, escludendo dimensioni di significato, agency e trasformazione soggettiva.

Il problema della profilazione predittiva negli ambienti educativi è stato specificamente esplorato da Paul Prinsloo e Sharon Slade (2016), che hanno analizzato la vulnerabilità studentesca nel contesto dei learning analytics, argomentando che gli studenti identificati come "a rischio" dagli algoritmi predittivi possono subire forme di stigmatizzazione e di profezia autoavverante che peggiorano paradossalmente i loro esiti educativi. Quando la conoscenza viene filtrata da sistemi automatizzati che non sono trasparenti né democraticamente negoziabili, la scuola perde la sua funzione emancipatrice e rischia di diventare un luogo di riproduzione automatica dell'ordine sociale esistente, secondo dinamiche che Pierre Bourdieu aveva già teorizzato rispetto alla riproduzione culturale ma che assumono caratteristiche nuove e più pervasive nell'era algoritmica. Da una prospettiva educativa, Raffaghelli (2020) sostiene la necessità di sviluppare una "critical data literacy" in grado di rendere visibili le implicazioni politiche ed etiche della dataficazione. Pangrazio e Selwyn (2019) propongono di estendere il concetto di alfabetizzazione ai dati personali, connettendo comprensione tecnica e consapevolezza critica. D'Ignazio e Klein (2020), con il loro "data feminism", evidenziano come l'analisi dei dati debba sempre tener conto del potere, della pluralità dei saperi e delle condizioni materiali della loro produzione.

Diventa, così, centrale nel Framework EcoAI il concetto di "ecodigital agency", che permette agli studenti di interrogare le epistemologie implicite nelle tecnologie e di esercitare un ruolo attivo e critico nella loro interazione con i sistemi digitali. La crescente pervasività degli algoritmi nei contesti educativi impone l'adozione di metodologie di ricerca capaci di affrontare criticamente le implicazioni socio-tecniche della loro implementazione. I Critical Algorithm Studies (CAS) offrono una prospettiva analitica che rifiuta l'idea dell'algoritmo come entità neutrale, esplorandolo invece come artefatto culturale intrinsecamente legato a strutture di potere, ideologie e pratiche istituzionali (Gillespie, 2014; Seaver, 2017; Kitchin, 2017; Dourish, 2016). Questa cornice teorica consente di analizzare in profondità i modi in cui le tecnologie algoritmiche modellano, selezionano e normalizzano i

comportamenti cognitivi e educativi. A complemento di questa disamina degli autori e delle teorie in merito, il Value-Sensitive Design (VSD) si configura come un approccio progettuale che integra riflessioni etiche nel ciclo di vita delle tecnologie digitali, coinvolgendo stakeholder diversi per identificare valori rilevanti (come giustizia, autonomia, privacy) e riflettendo su come questi vengano supportati o ostacolati dalle architetture tecniche (Friedman et al., 2006; 2017). Entrambi gli approcci trovano un punto di convergenza nella prospettiva della Design Justice (Costanza-Chock, 2020), che radicalizza l'inclusione delle comunità marginalizzate nel processo di design, spostando l'attenzione dal "per" al "con" e "da" chi è più esposto agli impatti delle tecnologie.

Nel contesto del Framework EcoAI, la valutazione di queste metodologie risulta cruciale per articolare una visione progettuale che evidenzi le criticità epistemiche e dia soluzioni eticamente fondate e democraticamente negoziate, promuovendo pratiche di co-design partecipativo, audit critico e alfabetizzazione ai dati, in linea con le indicazioni metodologiche di CAS, VSD e Design Justice. Questo approccio integrato consente di mappare le ingiustizie epistemiche emergenti, coinvolgere attivamente gli attori scolastici, e sviluppare soluzioni che riflettano un'etica della responsabilità e della cura nell'uso dell'intelligenza artificiale educativa.

1.5 Framework internazionali: nuove literacies, alfabetizzazioni critiche e il ruolo del modello EcoAI

Negli ultimi anni, organismi internazionali hanno promosso una ridefinizione delle competenze chiave per vivere e apprendere in un mondo sempre più mediatizzato da intelligenze artificiali e dati. L'UNESCO ha delineato un AI Competency Framework for Students articolato in dodici competenze, organizzate su quattro dimensioni: mindset umano-centrico, etica dell'IA, applicazioni e progettazione (UNESCO, 2023a). Parallelamente, un secondo framework rivolto agli insegnanti struttura quindici competenze su cinque assi, con livelli di progressione crescenti da "acquisire" a "creare" (UNESCO, 2023b). Entrambi mirano a formare soggetti capaci di interagire in modo consapevole con le tecnologie

algoritmiche, superando la dicotomia tra uso tecnico e pensiero critico. Nel contesto europeo, l'OECD, in collaborazione con la Commissione Europea, ha sviluppato un quadro di AI Literacy rivolto a studenti, docenti e cittadini, che include dimensioni cognitive, operative, etiche e partecipative (Vincent-Lancrin et al., 2022). Tali iniziative si intrecciano con una riflessione globale promossa dal World Economic Forum sull'urgenza di considerare l'alfabetizzazione all'IA come una nuova competenza chiave trasversale alle discipline. In un'ottica sistemica, l'ecoliteracy amplia l'alfabetizzazione digitale, invitando a leggere le tecnologie dentro ecosistemi socio-ambientali complessi. Questi approcci convergono verso la necessità di ripensare le literacies come dispositivi critico-emancipativi, capaci di integrare etica, agency e sostenibilità cognitiva.

Il Framework EcoAI si inserisce in questa traiettoria, proponendo una sintesi transdisciplinare tra AI literacy, data literacy ed ecoliteracy. A differenza dei modelli tradizionali, EcoAI presenta un'infrastruttura educativa orientata alla giustizia epistemica e alla co-progettazione. Le literacies diventano strumenti per coltivare soggettività critiche e attive all'interno di ambienti digitali complessi. Nonostante la crescente disponibilità di framework internazionali, permangono limiti significativi. In primo luogo, molti strumenti restano confinati in una logica addestrativa, che privilegia la familiarizzazione con funzioni e interfacce rispetto all'analisi critica delle infrastrutture algoritmiche. Inoltre, si registra una frammentazione metodologica tra alfabetizzazione ai dati, educazione civica digitale e competenze etiche, con il rischio di generare sovrapposizioni o vuoti formativi. A ciò si aggiunge la scarsa attenzione alle disuguaglianze epistemiche. I framework esistenti spesso non considerano come fattori quali genere, etnia, condizione socio-economica o neurodiversità influenzino l'accesso al sapere e la possibilità di partecipare attivamente ai processi di conoscenza. Per rispondere a tali criticità, si impone l'esigenza di un modello integrato. Il Framework EcoAI propone un superamento della frammentazione disciplinare tra media education, ecoliteracy, digital literacy, AI ethics e civic education, verso un modello integrato di

competenza ecosistemica. Questa competenza si articola in quattro dimensioni interconnesse: una dimensione epistemica, che contempla la capacità di comprendere come i sistemi di conoscenza (scientifici, mediali, algoritmici) costruiscono rappresentazioni della realtà e di interrogarne i presupposti, i metodi e i limiti; una dimensione etica, che verte sulla consapevolezza delle responsabilità relazionali e delle implicazioni valoriali delle proprie azioni in ecosistemi ibridi, inclusa la sensibilità verso giustizia ambientale, equità algoritmica e inclusione sociale; una dimensione pratica, concernente le abilità concrete di utilizzo, valutazione, co-progettazione e governance di dispositivi digitali, infrastrutture di dati e sistemi AI intesi come interfacce che condizionano la formazione delle disposizioni ecociviche in funzione di obiettivi di sostenibilità e partecipazione democratica; una dimensione trasformativa, intesa come capacità di immaginare, prefigurare e contribuire a costruire futuri desiderabili attraverso forme di agency distribuita e co-responsabile che emergono dalla partecipazione relazionale, superando narrazioni deterministiche o fataliste. Questa sintesi risuona con il modello delle "transversal competences for sustainable development" proposto da Wiek et al. (2011) e con il framework GreenComp (Bianchi et al., 2022), ma lo estende includendo esplicitamente la dimensione algoritmica e postumana. Il Framework EcoAI nasce con la finalità di creare un'infrastruttura educativa che integri alfabetizzazione tecnica, partecipazione critica e giustizia cognitiva, costruendo ambienti in cui la configurazione Ecodigitale diventi strutturalmente leggibile ai nodi che la abitano, rendendo possibili riconfigurazioni situate entro i vincoli del sistema. La proposta rappresenta un tentativo di articolare una risposta integrata che tenga insieme etica dell'intelligenza artificiale, giustizia epistemica e agency educativa, dentro e contro la logica predittiva degli algoritmi, proponendo alternative progettuali che incorporino principi di equità, trasparenza e partecipazione democratica fin dalle fasi iniziali del design tecnologico. L’EcoAI Index, descritto nel Capitolo 3, è lo strumento che verifica empiricamente se questa integrazione sia rilevabile nei profili degli studenti, o se rimanga un’aspirazione normativa senza corrispondenza nei dati.

Capitolo 2 Il Framework EcoAI e le sue radici teoriche

La simultaneità della crisi ecologica e dell'espansione delle infrastrutture digitali ha reso evidente la necessità di ripensare le categorie con cui vengono interpretati i processi educativi, comunicativi e sociali. Le forme della conoscenza, della partecipazione civica e dell'azione pubblica non possono più essere descritte esclusivamente attraverso modelli centrati sull'individuo o su concezioni strumentaliste della tecnologia: sono invece il prodotto di relazioni complesse fra sistemi mediali, dinamiche socio-ambientali e pratiche culturali distribuite. In questo scenario, l'alfabetizzazione, nella sua accezione più ampia, assume oggi una configurazione intrinsecamente ecologica, nella quale la dimensione informativa, quella valoriale, quella digitale e quella ambientale diventano parti di un unico dominio. Il capitolo approfondisce questa postura teorica proponendo il Framework EcoAI come modello capace di integrare tali dimensioni. Nasce dalla convergenza di tre aree concettuali che nella letteratura contemporanea hanno acquisito una crescente importanza scientifica e pedagogica: l'ecologia dei media, che consente di interpretare gli ambienti comunicativi come ecosistemi dinamici; l'educazione alla sostenibilità, che fornisce la cornice normativa e valoriale per comprendere la responsabilità ecocivica; e le prospettive ecopostumane, che spingono oltre i confini antropocentrici con cui tradizionalmente è stata intesa l'agency. Queste linee teoriche vengono trattate come traiettorie convergenti: ciascuna contribuisce a illuminare un diverso aspetto del rapporto tra esseri umani, tecnologie e ambiente, delineando un quadro interpretativo capace di sostenere la costruzione del framework e del suo EcoAI Index. Il capitolo è organizzato in una progressione intenzionale. La sezione 2.1 analizza come gli ambienti digitali siano ecosistemi materiali e simbolici, dotati di proprie logiche ecologiche. La sezione 2.2 esplora il contributo dei framework internazionali sulla sostenibilità, con attenzione ai valori e alle competenze richieste dall'Agenda 2030. La sezione 2.3 ricostruisce le radici teoriche dell'ecoliteracy nelle sue dimensioni cognitiva, emotiva e civica. Le sezioni 2.4 e 2.5 sviluppano la genealogia filosofica e

mediologica dell'agency più-che-umana e dell'inter-agency sociotecnica. La sezione 2.6 formalizza il Postumanesimo Ecodigitale come contributo teorico originale e fondamento del framework. La sezione 2.7 affronta gli effetti trasformativi della dataficazione e della governance algoritmica, ponendo le basi per comprendere la necessità di competenze critiche sull'uso dell'intelligenza artificiale.

L'obiettivo complessivo del capitolo è mostrare come queste radici teoriche compongano un'unica struttura interpretativa che giustifica, sostiene e rende operativa la proposta del Framework EcoAI. Tale integrazione permette di articolare un modello multidimensionale che considera informazione, valori, agency e consapevolezza algoritmica come elementi interdipendenti di un'educazione civica capace di rispondere alle sfide del XXI secolo.

2.1 I Media come ecosistemi materiali e simbolici

Interpretare i media come ecosistemi significa considerarli quali ambienti che modellano forme di vita, pratiche sociali e immaginari culturali. Questa prospettiva, radicata nella tradizione della media ecology inaugurata da Marshall McLuhan, nasce dalla consapevolezza che ogni tecnologia estende le capacità umane e riorganizza lo spazio dell'esperienza, trasformando la percezione e le relazioni sociali più profondamente dei contenuti che veicola (McLuhan, 1964). L'idea che "il medium è il messaggio" afferma esattamente questo: l'ambiente simbolico generato da un medium plasma il modo in cui viviamo nel mondo, ben prima dell'informazione comunicata. Questa intuizione verrà sviluppata criticamente da Neil Postman, che in *Amusing Ourselves to Death* (1985) sostiene che ogni sistema mediale costituisce un "ambiente epistemologico", ossia un orizzonte entro cui certe forme di pensiero diventano possibili e altre difficili. Postman evidenzia come la televisione, e oggi potremmo dire le piattaforme digitali, abbia trasformato non soltanto il contenuto del discorso pubblico ma anche la sua forma cognitiva e il suo registro culturale. In questa linea, Lance Strate ha definito la media ecology come lo studio sistematico degli "ambiental effects

of communication technologies" (Strate, 2017), sottolineando che i media costituiscono veri habitat: ambienti cognitivi e sociali in cui gli individui si muovono e organizzano il proprio senso del mondo. L'approccio ecosistemico trova un'estensione fondamentale negli studi di Joshua Meyrowitz, il quale ha mostrato come i media modifichino i confini tra "luoghi" fisici e sociali, ristrutturando ruoli, gerarchie e comportamenti (Meyrowitz, 1985). Il sociologo statunitense interpreta i media come dispositivi che dissolvono o ridefiniscono le distinzioni tra pubblico e privato, prossimità e distanza, interiorità ed esposizione. La sua analisi anticipa una comprensione dei media come ambienti fluidi e dinamici, in cui la nozione tradizionale di "spazio sociale" risulta radicalmente trasformata. Negli sviluppi più recenti, la media ecology si è intrecciata con il paradigma della "media life" proposto da Mark Deuze, secondo cui l'esperienza umana non è semplicemente mediata ma interamente vissuta *dentro* media che configurano la quotidianità, l'azione e la percezione (Deuze, 2012). Egli rifiuta la distinzione tra online e offline, proponendo una visione immersiva della condizione mediale contemporanea: viviamo *con* e *attraverso* i media. Questa prospettiva pone l'accento sulla pervasività dei sistemi mediali come infrastrutture simboliche che informano ogni sfera della vita sociale. In un quadro complementare, Nick Couldry e Andreas Hepp nel loro *The Mediated Construction of Reality* (2017) sostengono che la società contemporanea è costruita attraverso processi di mediazione continua, dove i media contribuiscono a costituire il mondo. La loro teoria della "deep mediatization" interpreta i media come sistemi complessi, stratificati e interconnessi che operano come parte integrante della realtà sociale, non come semplice infrastruttura funzionale. La mediatizzazione profonda interessa sia l'adozione di nuove tecnologie sia la trasformazione dei modelli di interazione, delle istituzioni e delle forme di partecipazione. In questo senso, i media assumono una funzione ontologica: co-producono ciò che consideriamo reale. Infine, la prospettiva ecosistemica è stata ulteriormente elaborata da Carlos Scolari, che descrive la comunicazione contemporanea come un ambiente complesso caratterizzato da interazioni multiple tra piattaforme, pratiche d'uso, generi e narrazioni (Scolari, 2015).

La sua analisi mostra come gli ecosistemi mediali siano composti da organismi eterogenei (utenti, reti, protocolli, contenuti, interfacce) che co-evolvono e si trasformano reciprocamente. L'ecosistema mediale, in questa lettura, è un sistema vivente che integra dinamiche sociali, semiotiche e culturali, evidenziando come le tecnologie non siano semplici estensioni umane, ma nodi attivi dentro reti di significato e interazione.

Considerati in questa prospettiva, i media costituiscono quindi veri e propri habitat cognitivo-simbolici che generano ambienti di senso e strutturano modalità di percezione, comportamento e relazione. Questa dimensione ecosistemica costituisce il fondamento teorico sul quale si innesta il successivo approfondimento della materialità dei media (2.1.2), volto a mostrare come ogni ambiente simbolico sia sostenuto da infrastrutture fisiche ed energetiche che ne rendono possibile l'esistenza. A partire da tale integrazione fra dimensione simbolica e materiale, sarà poi possibile comprendere come l'educazione debba confrontarsi con la natura ecologica degli ambienti digitali e con le competenze necessarie per abitarli criticamente, tema trattato nella sezione 2.1.2.

2.1.1 Impronte ecologiche e infrastrutture digitali

La comprensione ecologica dei media deve superare la loro dimensione simbolica e cognitiva, poiché gli ambienti digitali sono resi possibili da una materialità estesa, complessa e profondamente inscritta nei processi fisici della Terra. La condizione digitale contemporanea, spesso descritta attraverso metafore immateriali ("nuvola", "flusso", "rete") è in realtà sostenuta da un insieme di infrastrutture tecnologiche che consumano energia, richiedono estrazione mineraria su vasta scala e generano rifiuti elettronici con cicli di vita rapidi e difficilmente riciclabili. Comprendere i media come ecosistemi implica riconoscere che ogni pratica comunicativa dipende da un metabolismo materiale che connette server, data center, cavi, dispositivi, batterie e minerali provenienti da geografie spesso lontane dalle società che beneficiano dei loro servizi. Gli *infrastructure studies* hanno evidenziato come le reti di comunicazione globale siano supportate da

strutture fisiche e logistiche di enorme portata, la cui visibilità è stata storicamente ridotta o distorta (Parks & Starosielski, 2015). Sotto la superficie dell'interfaccia digitale, esiste una geografia di data center, server farm, nodi di interscambio e reti di distribuzione dell'energia che costituiscono il "backstage" dell'esperienza online. Queste infrastrutture non sono neutrali: il loro funzionamento richiede un consumo elettrico continuo e crescente, un impiego massiccio di sistemi di raffreddamento e una dipendenza strutturale da materiali rari o difficilmente riciclabili. Shannon Mattern ha descritto tali infrastrutture come "urban backbones" che inglobano risorse, energia e territori entro un metabolismo tecnologico globale (Mattern, 2021). La materialità profonda del digitale è stata oggetto di una rilettura radicale nel lavoro di Jussi Parikka, che ha proposto una "geologia dei media" fondata sulla consapevolezza che le tecnologie digitali incorporano nel loro stesso funzionamento la storia geofisica del pianeta (Parikka, 2015). Per il teorico dei new media finlandese, un dispositivo informatico è il risultato di processi geologici che hanno richiesto milioni di anni e di economie estrattive che hanno modellato territori, comunità e intere regioni del mondo. La disponibilità di minerali come litio, cobalto, nichel, terre rare e silicio rappresenta una condizione invisibile ma essenziale dell'ecosistema digitale: smartphone, laptop, batterie e server sono oggetti antropogenici che incorporano materia geologica e cicli di vita finiti. Questa lettura stratigrafica mette in crisi la retorica dell'immaterialità digitale, mostrando come il mondo online sia profondamente dipendente da una *deep time infrastructure* che collega profondità geologiche, processi industriali e dinamiche socio-ambientali contemporanee. A questa prospettiva si collega la riflessione di Sean Cubitt, che in *Finite Media* (2017) insiste sul carattere limitato delle risorse che alimentano il digitale. Egli analizza l'economia energetica degli ecosistemi mediali, mostrando come ogni operazione informatica, dal caricamento di una pagina web all'esecuzione di algoritmi complessi, richieda energia elettrica prodotta da mix energetici nazionali spesso ancora fortemente dipendenti da combustibili fossili. Il consumo energetico del digitale risponde a una logica costitutiva fatta anche di processi termodinamici inscritti nei cicli di

sfruttamento ed emissione. L'idea di Cubitt è chiara: la proliferazione infinita del digitale è incompatibile con la finitezza dei materiali e dell'energia disponibili. Accanto all'estrazione e al consumo energetico, un'altra componente cruciale delle impronte ecologiche del digitale riguarda la produzione di rifiuti elettronici. Jennifer Gabrys (2011) ha sviluppato un'analisi pionieristica del ciclo di vita dei dispositivi digitali, mostrando come la loro rapida obsolescenza generi flussi di rifiuti tossici che ricadono su comunità marginalizzate, soprattutto nel Sud Globale. L'esportazione di e-waste verso regioni prive di regolamentazioni adeguate rivela la dimensione geopolitica della media materiality: il digitale attraversa territori e popolazioni lungo traiettorie di diseguaglianza strutturale. Infine, la materialità delle infrastrutture digitali condiziona attivamente la forma e la logica delle pratiche comunicative. Susan Leigh Star ha mostrato come le infrastrutture siano "congealed social relations" (Star, 1999), ossia relazioni sociali stabilizzate in protocolli, standard, architetture e dispositivi. La scelta degli standard energetici, dei materiali, dei protocolli di trasmissione e delle configurazioni di rete non è mai neutrale: determina chi può accedere alle tecnologie, con quali costi sociali ed ecologici, e quali modelli di sviluppo vengono privilegiati. Le infrastrutture del digitale, in questa prospettiva, costituiscono un terreno di potere che orienta la circolazione dell'informazione, la distribuzione delle risorse e le forme di mediazione sociale.

Considerati nel loro insieme, questi contributi mostrano che l'ambiente digitale è inseparabile da una dimensione ecologica che va oltre la rappresentazione dell'ambiente nei media: ogni atto comunicativo è reso possibile da un complesso assemblaggio di risorse, materie e energie che collegano sistemi informativi globali alle geografie minerarie, agli ecosistemi energetici e ai cicli dei rifiuti. Questa consapevolezza costituisce la base necessaria per comprendere, nella sezione successiva (2.1.3), perché l'educazione ai media debba integrare la dimensione ecologica e sviluppare forme di alfabetizzazione capaci di riconoscere la co-costituzione materiale tra infrastrutture digitali e processi ecologici.

La trattazione dei media come ecosistemi materiali e simbolici prepara il passaggio alla nozione più precisa che organizza il presente lavoro, quella di sistema Ecodigitale, formalizzata in 2.6 e ripresa in 2.7 (Rubino, 2025).

2.1.2 Ecomedia literacy ed ecomediatizzazione: media come attori ecologici

La comprensione ecologica dei media deve superare la loro dimensione simbolica e cognitiva, poiché gli ambienti digitali sono resi possibili da una materialità estesa, complessa e profondamente inscritta nei processi fisici della Terra. La condizione digitale contemporanea, spesso descritta attraverso metafore immateriali ("nuvola", "flusso", "rete") è in realtà sostenuta da un insieme di infrastrutture tecnologiche che consumano energia, richiedono estrazione mineraria su vasta scala e generano rifiuti elettronici con cicli di vita rapidi e difficilmente riciclabili. Comprendere i media come ecosistemi implica riconoscere che ogni pratica comunicativa dipende da un metabolismo materiale che connette server, data center, cavi, dispositivi, batterie e minerali provenienti da geografie spesso lontane dalle società che beneficiano dei loro servizi. Gli *infrastructure studies* hanno evidenziato come le reti di comunicazione globale siano supportate da strutture fisiche e logistiche di enorme portata, la cui visibilità è stata storicamente ridotta o distorta (Parks & Starosielski, 2015). Sotto la superficie dell'interfaccia digitale, esiste una geografia di data center, server farm, nodi di interscambio e reti di distribuzione dell'energia che costituiscono il "backstage" dell'esperienza online. Queste infrastrutture non sono neutrali: il loro funzionamento richiede un consumo elettrico continuo e crescente, un impiego massiccio di sistemi di raffreddamento e una dipendenza strutturale da materiali rari o difficilmente riciclabili. Shannon Mattern ha descritto tali infrastrutture come "urban backbones" che inglobano risorse, energia e territori entro un metabolismo tecnologico globale (Mattern, 2021). La materialità profonda del digitale è stata oggetto di una rilettura radicale nel lavoro di Jussi Parikka, che ha proposto una "geologia dei media" fondata sulla consapevolezza che le tecnologie digitali incorporano nel loro stesso funzionamento la storia geofisica del pianeta

(Parikka, 2015). Per il teorico dei new media finlandese, un dispositivo informatico è il risultato di processi geologici che hanno richiesto milioni di anni e di economie estrattive che hanno modellato territori, comunità e intere regioni del mondo. La disponibilità di minerali come litio, cobalto, nichel, terre rare e silicio rappresenta una condizione invisibile ma essenziale dell'ecosistema digitale: smartphone, laptop, batterie e server sono oggetti antropogenici che incorporano materia geologica e cicli di vita finiti. Questa lettura stratigrafica mette in crisi la retorica dell'immaterialità digitale, mostrando come il mondo online sia profondamente dipendente da una *deep time infrastructure* che collega profondità geologiche, processi industriali e dinamiche socio-ambientali contemporanee. A questa prospettiva si collega la riflessione di Sean Cubitt, che in *Finite Media* (2017) insiste sul carattere limitato delle risorse che alimentano il digitale. Egli analizza l'economia energetica degli ecosistemi mediali, mostrando come ogni operazione informatica, dal caricamento di una pagina web all'esecuzione di algoritmi complessi, richieda energia elettrica prodotta da mix energetici nazionali spesso ancora fortemente dipendenti da combustibili fossili. Il consumo energetico del digitale risponde a una logica costitutiva fatta anche di processi termodinamici inscritti nei cicli di sfruttamento ed emissione. L'idea di Cubitt è chiara: la proliferazione infinita del digitale è incompatibile con la finitezza dei materiali e dell'energia disponibili. Accanto all'estrazione e al consumo energetico, un'altra componente cruciale delle impronte ecologiche del digitale riguarda la produzione di rifiuti elettronici. Jennifer Gabrys (2011) ha sviluppato un'analisi pionieristica del ciclo di vita dei dispositivi digitali, mostrando come la loro rapida obsolescenza generi flussi di rifiuti tossici che ricadono su comunità marginalizzate, soprattutto nel Sud Globale. L'esportazione di e-waste verso regioni prive di regolamentazioni adeguate rivela la dimensione geopolitica della media materiality: il digitale attraversa territori e popolazioni lungo traiettorie di diseguaglianza strutturale. Infine, la materialità delle infrastrutture digitali condiziona attivamente la forma e la logica delle pratiche comunicative. Susan Leigh Star ha mostrato come le infrastrutture siano "congealed social relations"

(Star, 1999), ossia relazioni sociali stabilizzate in protocolli, standard, architetture e dispositivi. La scelta degli standard energetici, dei materiali, dei protocolli di trasmissione e delle configurazioni di rete non è mai neutrale: determina chi può accedere alle tecnologie, con quali costi sociali ed ecologici, e quali modelli di sviluppo vengono privilegiati. Le infrastrutture del digitale, in questa prospettiva, costituiscono un terreno di potere che orienta la circolazione dell'informazione, la distribuzione delle risorse e le forme di mediazione sociale.

Considerati nel loro insieme, questi contributi mostrano che l'ambiente digitale è inseparabile da una dimensione ecologica che va oltre la rappresentazione dell'ambiente nei media: ogni atto comunicativo è reso possibile da un complesso assemblaggio di risorse, materie e energie che collegano sistemi informativi globali alle geografie minerarie, agli ecosistemi energetici e ai cicli dei rifiuti. Questa consapevolezza costituisce la base necessaria per comprendere, nella sezione successiva (2.1.3), perché l'educazione ai media debba integrare la dimensione ecologica e sviluppare forme di alfabetizzazione capaci di riconoscere la co-costituzione materiale tra infrastrutture digitali e processi ecologici.

2.2 GreenComp, le competenze per la sostenibilità SDG 4.7 e le misure europee ed italiane

L'elaborazione di GreenComp rappresenta una tappa cruciale nel processo con cui l'Unione Europea ha progressivamente integrato la sostenibilità come obiettivo strutturale delle politiche educative. Le sue radici risalgono ai lavori preparatori avviati tra il 2018 e il 2020 nell'ambito del Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea, in parallelo alla formulazione della nuova European Green Deal Strategy (2019). Il documento definitivo, GreenComp: The European Sustainability Competence Framework, è stato pubblicato nel gennaio 2022 (Bianchi et al., 2022) e rappresenta il primo tentativo coordinato di definire un insieme condiviso di competenze trasferibili per la sostenibilità ambientale all'interno dello spazio educativo europeo. Esso si colloca pienamente nel

solco del Target 4.7 della strategia ONU, che richiede ai sistemi educativi di garantire, entro il 2030, l'acquisizione di conoscenze e competenze necessarie per promuovere lo sviluppo sostenibile, i diritti umani, l'uguaglianza di genere, la cittadinanza globale e l'apprezzamento della diversità culturale (UNESCO, 2020). Come osservato dai report UNESCO, la sfida consiste nel capacitare insegnanti e studenti a riconoscere la complessità ecologica, immaginare futuri sostenibili e orientare le proprie decisioni all'interno di sistemi socio-tecnici interdipendenti. Il quadro europeo riprende e rende operativa questa visione attraverso quattro macro-aree di competenza: Incoraggiare valori di sostenibilità, Abbracciare complessità, Immaginare futuri sostenibili e Agire per la sostenibilità. Ciascuna area include descrittori cognitivi, affettivi e comportamentali che mobilitano la capacità di leggere i problemi ambientali da prospettive multiple, riconoscere la natura sistemica dei fenomeni, assumere una responsabilità orientata al lungo periodo e partecipare attivamente alla trasformazione sociale. L'originalità di GreenComp risiede nella sua struttura "cross-curricular", che non lega la sostenibilità a una disciplina specifica, ma la presenta come competenza trasversale che deve permeare tutto il processo formativo. Il recepimento di queste indicazioni è già evidente in diversi paesi europei, inclusa l'Italia, che ha introdotto dal 2020 l'insegnamento obbligatorio dell'educazione civica con un'attenzione crescente alla sostenibilità e all'Agenda 2030 (Legge 92/2019). Tuttavia, come notano le valutazioni comparative condotte da OECD (2021), l'integrazione effettiva nel curriculum rimane disomogenea, spesso più formale che sostanziale. GreenComp interviene qui come riferimento tecnico e pedagogico per armonizzare pratiche, obiettivi e indicatori di apprendimento a livello europeo. In un'ottica sociopedagogica, il valore principale di GreenComp per il presente lavoro risiede nella sua capacità di definire non solo ciò che gli studenti devono conoscere sul cambiamento climatico, ma ciò che devono saper fare e saper essere per agire dentro sistemi complessi. Questo orientamento alle competenze, e non ai semplici contenuti, permette di costruire un ponte concettuale diretto con il Framework EcoAI, che nella sua dimensione VAL (Valori eco-civici) si

radica proprio nel riconoscimento di valori ecosistemici, nella consapevolezza delle interdipendenze e nella capacità di trasformare convinzioni e atteggiamenti in pratiche civiche. Le aree del GreenComp trovano inoltre una naturale convergenza con le dimensioni di agency del framework, preparandone l'analisi nei paragrafi successivi.

2.3 Ecoliteracy: dimensioni cognitive, emotive e civiche

L'ecoliteracy, nella sua formulazione classica, nasce dall'idea, resa celebre da David Orr, secondo cui "la crisi ecologica è innanzitutto una crisi della mente" (Orr, 1992). Questo passaggio segna il momento in cui l'educazione ambientale si distanzia dalle didattiche informative per assumere una prospettiva più ampia, fondata su tre pilastri: comprendere, sentire, agire. Questa tripartizione attraversa trasversalmente la letteratura pedagogica, psicologica e socio-ecologica degli ultimi trent'anni e costituisce il fondamento della dimensione VAL del Framework EcoAI.

Se GreenComp fornisce la cornice istituzionale entro cui l'educazione alla sostenibilità si articola oggi nei sistemi europei, l'ecoliteracy rappresenta il nucleo concettuale più profondo di questa trasformazione. Prima ancora della formulazione di framework governativi, la letteratura pedagogica e filosofica aveva già messo in discussione la visione tecnicista dell'educazione ambientale, proponendo un approccio centrato su consapevolezze cognitive, sensibilità emotive, forme di cittadinanza e capacità trasformative. Le sottosezioni seguenti ripercorrono queste radici teoriche per mostrare come la sostenibilità sia una competenza integrale che riguarda la mente, l'immaginario e l'agire collettivo.

2.3.1 Ecoliteracy cognitiva: comprendere sistemi, interdipendenze e complessità

L'aspetto cognitivo dell'ecoliteracy è stato progressivamente arricchito dal pensiero sistemico, soprattutto grazie ai contributi di Fritjof Capra e al

suo tentativo di ricondurre i fenomeni ambientali dentro un quadro epistemologico non lineare (Capra, 1996). Il fisico e saggista austriaco insiste sul fatto che l'alfabetizzazione ecologica riguarda la capacità di pensare in termini di sistemi viventi, reti e relazioni: una prospettiva che anticipa ciò che oggi GreenComp chiama "embracing complexity". A questo orientamento si affiancano gli studi di ecopsicologia, in particolare il lavoro pionieristico di Peter Kahn Jr. e Stephen Kellert sulla relazione tra cognizione e ambienti naturali (Kahn, Kellert, 2002). La loro ricerca mostra che la comprensione profonda dei sistemi ecologici favorisce lo sviluppo di giudizi etici più articolati e una maggiore sensibilità verso le conseguenze delle proprie azioni. Infine, l'aspetto cognitivo della sostenibilità si intreccia con le competenze critiche richieste dall'uso informativo digitale. Autori come Renee Hobbs (2010) e Sonia Livingstone (2018) mostrano che la comprensione dei sistemi mediali è inseparabile dalla capacità di interpretare le rappresentazioni dell'ambiente, i rischi di disinformazione e le dinamiche di polarizzazione. È qui che la componente INFO dell'EcoAI Index trova un ancoraggio diretto alle pedagogie ecocritiche: capire i sistemi ecologici richiede capire i sistemi informativi che li narrano.

2.3.2 Ecoliteracy emotiva: interdipendenza, empatia ecologica e senso di connessione

LLouise Chawla, tra le maggiori studiose del "connectedness to nature", ha mostrato come la relazione emotiva con gli ecosistemi sia una delle variabili più predittive della partecipazione civica ambientale (Chawla, 2006). La capacità di percepire il proprio coinvolgimento nei sistemi naturali, ciò che Mitchell Thomashow chiama "ecological identity" (Thomashow, 1995), costituisce un prerequisito essenziale per ogni forma di responsabilità ambientale. Più recentemente, Robin Wall Kimmerer ha offerto una prospettiva decoloniale che fonde emozione, spiritualità e conoscenza, sostenendo che l'ecoliteracy richiede un ascolto reciproco tra esseri umani e mondo più-che-umano (Kimmerer, 2013). La sua critica a un'educazione puramente razionale mette in luce come la connessione

emotiva sia necessaria per sviluppare valori eco-civici stabili. Queste prospettive convergono nella dimensione affettiva di GreenComp, in particolare nel cluster dedicato ai valori, e preparano la dimensione VAL del Framework EcoAI, che integra sensibilità ecologica e consapevolezza digitale come prerequisiti per il giudizio etico.

2.3.3 Ecoliteracy civica: agency, responsabilità e immaginazione del futuro

Il terzo asse dell'ecoliteracy riguarda le forme di cittadinanza. Gregory Smith e David Gruenewald, attraverso il paradigma della "place-based education" (Smith, Gruenewald, 2008), hanno mostrato che l'educazione ecologica produce agency quando connette conoscenze ambientali e contesti sociali concreti. L'agire ecologico emerge dall'esperienza oltre che dall'informazione. Parallelamente, Arjen Wals e Stephen Sterling hanno sostenuto che la sostenibilità richiede una "transgressive learning" capace di sfidare norme, abitudini e pratiche sociali consolidate (Wals, Sterling, 2001). Questo approccio anticipa l'idea di futures literacy, oggi formalizzata dall'UNESCO, che chiede agli studenti di comprendere il cambiamento e di immaginare e progettare futuri alternativi (*UNESCO,* 2020). L'ecoliteracy civica trova un punto di origine diretto nelle sezioni centrali del Framework EcoAI, in particolare nei domini che descrivono la formazione dei valori, la comprensione dei sistemi digitali e l'uso di dispositivi tecnologici come interfacce nei processi di partecipazione. Il dominio "Identity Formation", ad esempio, mette in luce come la percezione ecologica, i valori e le appartenenze simboliche contribuiscano alla costruzione di forme emergenti di cittadinanza, mostrando che l'orientamento ambientale sia un processo identitario che definisce il modo in cui gli studenti si situano nei confronti del mondo vivente. Il dominio "Ecological Understanding of AI" amplia questa prospettiva, riconoscendo che la comprensione dei sistemi digitali, dalle piattaforme alle infrastrutture mediali, è oggi una condizione indispensabile per esercitare agency civica in contesti fortemente dataficati e algoritmici. Infine, il dominio Tool-Based Learning rilegge l'azione ecologica attraverso gli strumenti concretamente utilizzati dagli studenti,

mettendo in relazione pratiche digitali, fonti informative, produzione di contenuti e capacità di incidere sulle questioni socio-ambientali tramite piattaforme, dati e intelligenza artificiale. Considerati insieme, questi tre domini mostrano che l'ecoliteracy civica è un processo trasformativo che articola identità, giudizi ecologici, lettura critica dei media e forme di intervento attraverso tecnologie. È il terreno su cui si innestano le dimensioni VAL, AGY ed EPAS (Eco-Posthuman Agency Scale) dell'indice EcoAI Index, che reinterpretano la cittadinanza ecologica come risultato dinamico di relazioni tra soggetti, informazioni, strumenti e ambienti. In questo scenario, l'EcoAI Index svolge la funzione di tradurre tale complessità in un modello empirico capace di rilevare come gli studenti trasformino conoscenze, sensibilità e pratiche. La letteratura sull'ecoliteracy mostra che i valori eco-civici derivano da processi intrecciati: cognitivi (comprendere sistemi complessi), emotivi (sentirsi parte di reti viventi) e civici (agire in ecologie socio-digitali). Questa struttura triadica costituisce il fondamento teorico della dimensione VAL e prepara la trattazione integrata del framework che verrà sviluppata nel paragrafo 2.6.

Le tre dimensioni qui ricostruite, cognitiva, emotiva e civica, ricostruiscono l'ecoliteracy come campo di disposizioni, ma operano nei termini di una soggettività situata in un solo dominio. La condizione contemporanea richiede una formulazione ulteriore. Il Framework EcoAI assume che disposizioni ecologiche e disposizioni ecomediali si formino simultaneamente entro campi materialmente distinti, generando ciò che Rubino (2025) definisce ecodigital habitus(es): una co-presenza stratificata di orientamenti, prodotti da regimi infrastrutturali eterogenei (territori, ecosistemi viventi, processi multispecie da un lato; ambienti algoritmici, architetture di piattaforma, regimi di attenzione dall'altro). Questa formulazione, sviluppata in 2.6 e ripresa come programma di ricerca in 6.8.5, ridefinisce l'ecoliteracy come effetto di sistema, non come competenza acquisita in un dominio isolato.

2.4 Agency più-che-umana: Barad, Haraway, Braidotti, Morton

La scelta di elaborare la teoria del postumanesimo ecodigitale all'interno dell'orizzonte postumanista con al centro del Framework EcoAI è l'esito diretto di una necessità epistemica: l'impossibilità, nella condizione tecno-ecologica contemporanea, di continuare a pensare il soggetto umano come entità autonoma, separata e definita da confini stabili. La crisi ecologica, la pervasività delle infrastrutture digitali, l'azione opaca degli algoritmi e la materialità dell'informazione smontano la cornice moderna del soggetto (cartesiano, razionale, dominante) e impongono un ripensamento radicale delle categorie di agency, relazione, responsabilità e conoscenza. Il postumanesimo diventa, così, la postura teorica più adeguata a comprendere perché l'agency civica sia un processo distribuito e co-costitutivo che coinvolge ambienti, media, infrastrutture, sistemi viventi e forme di vita non-umane. Il punto di avvio di questo ripensamento è il lavoro di Karen Barad (2007), che mette in crisi la distinzione stessa tra soggetti e oggetti. Per la docente americana, l'ontologia classica, fondata su entità separate che poi interagiscono, è insostenibile alla luce della fisica quantistica e delle pratiche materiali del mondo contemporaneo. L'introduzione del concetto di "intra-azione" sovverte la logica relazionale tradizionale: le relazioni costituiscono provvisoriamente le entità, piuttosto che presupporle già formate. L'agency è "the ongoing reconfiguring of the world" (Barad, 2007, p. 178). Questa prospettiva implica che responsabilità, etica e conoscenza sono sempre situate dentro reti di materialità condivise. Applicata ai media, questa impostazione significa riconoscere che le infrastrutture digitali e le pratiche comunicative non mediano il mondo: lo co-producono. È un passaggio cruciale per l'EcoAI Framework, poiché colloca immediatamente la cittadinanza digitale e ambientale in un orizzonte ontologico non dualista. Donna Haraway, con *A Cyborg Manifesto* (1985) e soprattutto con *Staying with the Trouble* (2016), radicalizza ulteriormente questa posizione, proponendo una critica al "mito

dell'Umano" inteso come misura universale del valore e della conoscenza. Nel volume del 2016, Haraway introduce il concetto di "sympoiesis", il *fare insieme*, che supera l'idea di autonomia (autopoiesis) e descrive sistemi in cui nessuna entità produce da sola le proprie condizioni di possibilità. L'agency diventa un fenomeno collettivo: ambiente, media, infrastrutture, specie, batteri, reti e algoritmi concorrono alla generazione dell'esperienza e dell'azione. Se l'educazione civica ha sempre assunto un soggetto capace di deliberare, agire e partecipare, il postumanesimo harawaiano impone di ripensare queste capacità non come attributi personali, ma come effetti di relazioni ecologiche dense e multistrato. Accanto a Barad e Haraway, il contributo di Rosi Braidotti offre una cornice esplicitamente etica e politica del soggetto postumano. In *The Posthuman* (2013) e *Posthuman Knowledge* (2019), Braidotti sostiene che il postumanesimo sia una "critica dell'Umanesimo" che riconosce la continuità tra umano e non-umano, tra organico e tecnologico, tra bios e tecnologia, non una teoria sull'ibridazione tecnologica. Centrale è la nozione di zoe-centric ethics, che decostruisce la gerarchia che collocava l'umano al vertice del valore morale, attribuendo dignità ontologica a forme di vita, materiali, infrastrutture e sistemi tecnici. L'agency, in questa visione, emerge attraverso configurazioni di affetti, materiali e potenze vitali: è sempre relazionale, mai individuale. È una prospettiva che richiama direttamente i presupposti del Framework EcoAI: un modello di cittadinanza che verte sulla responsabilità relazionale dentro sistemi ecologici e digitali interdipendenti piuttosto che sulla sovranità del soggetto. Il quarto autore cardine, Timothy Morton, contribuisce con un'altra torsione concettuale, introducendo nella filosofia contemporanea la categoria degli "iperoggetti". In *Hyperobjects* (2013), egli descrive entità diffuse nel tempo e nello spazio come il cambiamento climatico, la biosfera, le reti digitali o l'economia dei dati: entità che esistono ben oltre la scala percettiva umana. Gli iperoggetti sono condizioni di esistenza che avvolgono i soggetti, li attraversano e li trasformano, producendo nuove forme di sensibilità e responsabilità. Il digitale, nella prospettiva del filosofo britannico, è esso stesso un iperoggetto: globale, complesso, non lineare, opaco. Riconoscere questo statuto significa comprendere che l'agency civica

contemporanea non può essere pensata come atto deliberativo razionale e immediato, ma come risposta situata dentro sistemi che eccedono radicalmente la nostra capacità cognitiva. La pedagogia, dunque, deve introdurre forme di immaginazione ecologica capaci di "stare" dentro la complessità e non di semplificarla artificialmente. Considerati insieme, Barad, Haraway, Braidotti e Morton costituiscono la genealogia filosofica che prepara il terreno per una riformulazione dell'agency contemporanea come configurazione relazionale, distribuita e situata. La scelta di posizionarsi in una nuova corrente postumanista, definita postumanesimo ecodigitale nel Framework EcoAI, è dunque motivata da tre ragioni teoriche fondamentali.

La scelta postumanista si giustifica attraverso tre ragioni teoriche convergenti. In primo luogo, il postumanesimo supera il dualismo moderno che separava umano e non-umano, teoria e tecnica, cultura e natura: una separazione insostenibile alla luce della natura materialmente ecologica delle tecnologie digitali, delle infrastrutture di rete, dell'estrazione mineraria e dell'impatto ambientale della computazione. L'Ecodigitale non è un campo "ibrido", ma la condizione stessa dell'esperienza contemporanea. In secondo luogo, il postumanesimo fornisce un modello di agency adeguato alle logiche *infra-visibili* dei sistemi digitali: algoritmi, piattaforme, protocolli e infrastrutture che strutturano possibilità d'azione, visibilità e partecipazione, dove l'agency non è mai un "potere individuale" ma una configurazione emergente tra umano, ambienti mediali e sistemi socio-tecnologici. In terzo luogo, l'impianto valoriale dell'educazione alla sostenibilità e della cittadinanza digitale richiede un'etica relazionale e situata: solo una teoria postumanista permette di riconoscere che la responsabilità ambientale e civica investe le relazioni tra vite umane, sistemi tecnologici e processi ecologici più-che-umani.

È dentro questa genealogia che si colloca il postumanesimo Ecodigitale che sorregge il Framework EcoAI: come estensione necessaria di queste tradizioni critiche verso l'analisi dei media, dei dati e delle infrastrutture digitali nell'Antropocene. Ed è entro questo quadro teorico che il

Framework EcoAI colloca la propria elaborazione dell'"eco-posthuman agency", concetto che verrà sviluppato nel prosieguo del capitolo e che consente di leggere la cittadinanza ecologica e digitale come il risultato di relazioni intra-attive tra esseri umani, media, infrastrutture e sistemi viventi.

2.5 Inter-agency umano, tecnologia, ambiente ed ecologie politiche dei media

Se il paragrafo precedente ha delineato le radici filosofiche dell'agency più-che-umana, questa sezione sviluppa la sua traduzione mediologica, socio-tecnica e politica, mostrando come l'intreccio tra umani, tecnologie e ambienti costituisca il terreno materiale delle ecologie del potere nell'età digitale. Qui il postumanesimo incontra gli Science and Technology Studies (STS), gli infrastructure studies e la media ecology contemporanea, superando la visione delle tecnologie come strumenti neutri e trattandoli come attori ecologici, capaci di orientare possibilità di vita, configurare cittadinanze e modellare ambienti socio-ecologici.

Questa è la prospettiva, centrale per il Framework EcoAI, che consente di comprendere perché la cittadinanza digitale e ambientale debba essere concepita dentro un intreccio di media, dati, algoritmi, infrastrutture e processi ecologici più ampi. L'agency si distribuisce tra entità ontologiche (come mostrato da Barad e Haraway) e tra architetture tecniche, protocolli, reti di dati, database, sensori, piattaforme e sistemi di estrazione computazionale che co-determinano ciò che è visibile, possibile, pensabile e politico. Nella prospettiva socio-tecnica, l'inter-agency emerge da un semplice presupposto: i media sono sì dispositivi simbolici o ambienti narrativa-centrati ma anche formazioni ecologiche materiali, composte da flussi energetici, logiche di governo, materie prime, algoritmi e cicli di estrazione (Parikka, 2015; Cubitt, 2017).

Jussi Parikka, in *A Geology of Media* (2015), mostra come server farm, cavi sottomarini, batterie al litio, minerali e rifiuti elettronici siano attori

ecologici che partecipano attivamente alla costruzione del mondo digitale. Le tecnologie operano "dentro" i processi ecologici, come nodi di un metabolismo planetario. Così come Jennifer Gabrys, in *Program Earth* (2016), spiega come sensori, reti ambientali e sistemi computazionali rendano l'ambiente misurabile e governabile, producendo forme di "environmental citizenship" che non esisterebbero senza l'azione di piattaforme, database e architetture di sorveglianza ecologica. L'informazione ambientale è prodotta da infrastrutture che filtrano, selezionano e traducono fenomeni materiali in dati operativi.

Questa materialità è stata resa visibile dagli infrastructure studies, che grazie al lavoro di Lisa Parks e Nicole Starosielski (2015) hanno mostrato come il 99% delle comunicazioni globali transiti attraverso reti sotterranee e sottomarine che modellano, senza essere percepite, l'economia dell'attenzione, la geografia del potere e la vulnerabilità ecologica. Le infrastrutture non sono lo sfondo del digitale, ma il suo vero paesaggio politico.

L'inter-agency tra umani, tecnologie e ambienti si manifesta soprattutto nella governamentalità algoritmica (Rouvroy & Berns, 2013), dove piattaforme, sistemi di raccomandazione e modelli predittivi producono forme di selezione che orientano comportamenti, immaginari e possibilità di azione (Couldry & Mejias, 2019). Le piattaforme digitali, social network, motori di ricerca, ambienti educativi, IA generativa, funzionano come ambienti politici che dispongono la visibilità, stabiliscono norme implicite, modulano interazioni e distribuiscono opportunità. Come mostrato da Safiya Noble in *Algorithms of Oppression* (2018), gli algoritmi incorporano storie e pregiudizi che si sedimentano in scelte di filtro, ranking e raccomandazione, diventando co-attori nella produzione di discriminazioni e bias cognitivi. L'inter-agency è attraversata da asimmetrie di potere, proprietari tecnici e logiche economiche. In questa prospettiva, la "ecologia politica dei media" (Parks, 2020; Gabrys, 2011) indica che ogni ambiente mediale è un campo di forze in cui attori umani e non-umani producono

effetti congiunti, ma secondo intensità diseguali e distribuzioni di potere diversificate.

2.5.1 Agency infrastrutturale: come tecnologie e ambienti co-producono cittadinanza

La tradizione degli Science and Technology Studies (STS) ha già mostrato come artefatti, infrastrutture e apparati partecipino alla costruzione dell'ordine sociale. Bruno Latour, con l'Actor-network Theory (2005), ha reso esplicito che l'azione è sempre il risultato di reti eterogenee composte da umani, oggetti, dispositivi e materiali. Da questa prospettiva discende il concetto di "agency infrastrutturale": non possiamo agire senza passare attraverso infrastrutture di trasporto, dati, energia, informazione e comunicazione e queste infrastrutture, a loro volta, agiscono su di noi.

Il contributo di Gilbert Simondon in *Du mode d'existence des objets techniques* (1958/2017) chiarisce che gli oggetti tecnici sono entità in evoluzione che si individuano all'interno di ambienti sociotecnici specifici anziché strumenti subordinati all'intenzione umana. L'agency emerge dai processi di individuazione, non dagli individui.

Jane Bennett, con *Vibrant Matter* (2010), amplia ulteriormente questo quadro, mostrando che anche gli oggetti materiali, i rifiuti, le reti elettriche e gli ecosistemi urbani possiedono una propria vitalità, contribuendo ad assemblaggi di potenza e vulnerabilità distribuita.

In ambito mediale, questo porta a riconoscere che database, modelli di machine learning, piattaforme educative, sistemi di monitoraggio ambientale e IA generative producono effetti politici diretti: selezionano possibilità di partecipazione, configurano le condizioni dell'informazione, modulano le forme dell'esperienza e contribuiscono alla costruzione dell'identità ecologica e digitale degli individui.

2.5.2 Inter-agency come fondamento dell'EcoAI Framework

Questo complesso intreccio sociotecnico giustifica l'inclusione del postumanesimo Ecodigitale come asse teorico centrale del Framework EcoAI. Se la cittadinanza può essere pensata quale forma di vita distribuita attraverso relazioni tra media, ambienti, valori, dati e infrastrutture, allora l'agency civica (AGY) e l'eco-posthuman agency (EPAS) del Framework EcoAI sono configurazioni socio-ecologiche. Il sistema educativo, i media digitali, l'infrastruttura computazionale, gli oggetti tecnici e gli ecosistemi fisici devono essere considerati elementi materiali della cittadinanza stessa, parte dell'azione stessa, non il contesto entro cui l'azione si svolge. L'intreccio sociotecnico delineato nei paragrafi precedenti permette ora di comprendere perché l'agency, nelle condizioni ecodigitali contemporanee, emerga come una configurazione relazionale distribuita tra attori umani, sistemi tecnici, ambienti ecologici e infrastrutture mediali. È in questa prospettiva che emergono le due dimensioni del Framework EcoAI maggiormente fondate sul postumanesimo: l'agency Ecodigitale (AGY) e l'eco-posthuman agency (EPAS).

La prima trova qui il suo terreno epistemico: le piattaforme, i flussi di dati, le interfacce algoritmiche e le infrastrutture computazionali modellano le possibilità. L'agency civica diviene così il risultato di relazioni sociotecniche, di affordance ambientali e di asimmetrie infrastrutturali che distribuiscono capacità d'azione in modi non lineari. AGY si radica dunque nell'inter-agency delineata in questa sezione, traducendo la cittadinanza digitale in una forma di partecipazione situata in ambienti mediali ecologicamente e politicamente saturi. Parallelamente, l'ontologia relazionale accennata precedentemente fornisce la base teorica per comprendere l'eco-posthuman agency (EPAS), che rappresenta il piano più profondamente trasformativo del modello EcoAI. Se l'agency emerge da relazioni intra-attive (Barad, 2007) e da assemblaggi sociotecnici (Haraway, 2016; Bennett, 2010), allora la responsabilità ecologica è il modo in cui soggetti, media, ambienti e tecnologie si co-producono come parti di ecologie più ampie. EPAS prende forma in questa traiettoria e descrive la capacità di abitare i mondi socio-ecologici e digitali riconoscendo la natura condivisa e composita dell'agire.

Nel passaggio ai paragrafi successivi, AGY ed EPAS costituiranno i punti di riferimento teorici attraverso cui leggere i nessi tra postumanesimo, educazione e cittadinanza. Sarà nel capitolo specifico del framework che queste dimensioni verranno integrate operativamente nel modello EcoAI Index, mostrando come la teoria postumanista e la sociologia degli ambienti digitali convergano nel definire nuove forme di agency e responsabilità nella società Ecodigitale.

La trattazione dell'inter-agency apre la questione dell'interfaccia operativa attraverso cui le disposizioni transitano tra dominio ecologico e dominio ecomediale. Il Framework EcoAI riprende da Rubino (2025) la nozione di device-as-threshold per designare i dispositivi tecnici (smartphone, sensori ambientali, piattaforme di accesso, interfacce di lettura algoritmica) che operano come soglie transduttive: organizzano il passaggio di dati, attenzione ed energia tra i due domini, e attivano disposizioni formate in un campo entro le condizioni operative dell'altro. Il device non è un veicolo neutro di contenuti, ma un'interfaccia che condiziona quali configurazioni stabilizzano e quali modalità sensoriali partecipano al processo. Questa funzione di soglia, sviluppata teoricamente nella sezione successiva, distingue gli oggetti tecnici contemporanei dagli intermediari di rete della prima sociologia degli actants e fornisce la base operativa per i quadranti Tool-Based Learning e Identity Formation del framework.

2.6 Postumanesimo Ecodigitale: fondamenti, genealogia e contributo originale al Framework EcoAI

Il postumanesimo ecodigitale costituisce il punto di articolazione delle linee teoriche sviluppate nei paragrafi precedenti, ma rappresenta al tempo stesso un avanzamento autonomo rispetto alle attuali teorie postumane, ecologiche e mediali. La definizione introdotta dalla prima teorizzazione (Rubino,2025) mira infatti a superare la frammentazione presente nella letteratura internazionale, proponendo una prospettiva in cui ecologia, media digitali, infrastrutture algoritmiche e soggettività postumana operano come dimensioni co-costitutive di ecosistemi socio-tecnologici

complessi. Questa sezione, più di ogni altra, esplicita la scelta posizionata del Framework EcoAI: l'elaborazione di una sua variante teorica specifica, radicata nei media studies, nella sociologia digitale e nelle environmental humanities. Il postumanesimo ecodigitale parte da una convinzione fondamentale: nell'Antropocene digitale, la soggettività umana deve essere compresa e trasformata considerando il ruolo agentivo delle infrastrutture computazionali, dei flussi di dati, degli algoritmi, dei sistemi di sensoristica ambientale, delle piattaforme che modellano percezioni, relazioni, immaginazione e possibilità d'azione. Braidotti, Barad, Haraway e Latour condividono l'orientamento anti-antropocentrico e relazionale, ma operano dentro tradizioni filosofiche che non si riducono a un paradigma comune. Il vitalismo neo-spinoziano di Braidotti, l'onto-epistemologia agenziale di Barad, il pragmatismo narrativo-femminista di Haraway e la sociologia simmetrica degli actants di Latour sono strategie teoriche distinte di risposta allo stesso problema: il superamento del soggetto moderno come unità autonoma e separata dal proprio contesto. La coerenza che li unisce in questo framework è operativa e selettiva: ciascun autore è mobilitato per la funzione specifica che assolve nell'architettura del Postumanesimo Ecodigitale, con piena consapevolezza delle tensioni che quella mobilitazione produce.

Questa postura corrisponde a ciò che Kincheloe definisce *bricolage teorico*: la costruzione deliberata di un dispositivo analitico a partire da tradizioni diverse, in cui la coerenza cercata è funzionale piuttosto che sistematica (Kincheloe, 2001). La metafora del bricoleur, elaborata originariamente da Lévi-Strauss per descrivere il pensiero mitico come riassemblaggio creativo di materiali eterogenei (Lévi-Strauss, 1962), designa qui un orientamento metodologico preciso: il ricercatore seleziona strumenti concettuali per la funzione che ciascuno assolve nel dispositivo complessivo, dichiara le tensioni che quella selezione produce e le mantiene aperte come risorse euristiche, senza risolverle per via teorica.

Le tensioni rilevanti per il Postumanesimo Ecodigitale sono due. La prima intercorre tra l'onto-epistemologia baraddiana, in cui gli agenti emergono

dall'intra-azione e sono effetti del processo relazionale, e la sociologia degli actants di Latour, in cui gli attori conservano relativa stabilità semiotica all'interno delle reti. La seconda intercorre tra il vitalismo affermativo di Braidotti, fondato su una forza vitale immanente come piano ontologico prioritario, e il pragmatismo situato di Haraway, che diffida delle grandi ontologie sistematiche. La prima tensione è produttiva perché mantiene aperta la distinzione tra processo relazionale e stabilizzazione dell'actant, essenziale per leggere le infrastrutture algoritmiche come reti in continua riconfigurazione. La seconda preserva la distanza tra ontologia speculativa e ricerca situata, che è la condizione epistemica del progetto empirico che questo framework sostiene. A questi si aggiunge Timothy Morton, la cui categoria degli iperoggetti trattata in 2.4, pur non generando tensioni ontologiche con le altre posizioni, estende il campo teorico verso una fenomenologia della scala che eccede quella degli actants latouriani.

Una precisazione terminologica orienta l'uso dei termini nel seguito. Sistema designa l'arrangiamento strutturale entro cui i due campi di habitus sono co-presenti e connessi da reti, infrastrutture e flussi. Dominio (o regime) designa uno dei due campi, ecologico o ecomediale, caratterizzato da infrastrutture e logiche operative proprie. Configurazione designa la formazione relazionale temporanea attraverso cui un fenomeno assume forma determinata sotto specifiche condizioni materiali e sensoriali. Dimensione designa un registro analitico, ontologico, materiale-infrastrutturale, epistemico o geopolitico, attraverso cui il sistema può essere esaminato. A questi quattro registri il framework aggiunge un asse epistemico-geopolitico, sviluppato a partire dalla nozione di esteriorità di Dussel (2002) e dall'analisi dell'epistemicidio di de Sousa Santos (2014), che riconosce la distribuzione asimmetrica delle forme di conoscenza ecologica e algoritmica entro il sistema globale. Questo asse non è sviluppato sistematicamente nel presente lavoro, ma orienta l'interpretazione delle disuguaglianze ecocognitive discusse nel Capitolo 6.

Una impostazione filosofica, ma anche empirica e mediologica: gli studi di Parks e Starosielski sulle infrastrutture (2015), della precitata Parikka sulla

geologia dei media (2015), di Gabrys sui sensing ecologies (2011), di van Dijck, Poell e de Waal sulla platform society (2018) e di Couldry e Mejias sulla data colonialism (2019) mostrano come i media siano sempre più ambienti ecologici veri e propri, dotati di agency materiale, energetica e politica.

In questo senso, l'EcoDigital Posthumanism è *postumano* nella misura in cui è Ecodigitale: afferma che il digitale è materialmente inscritto nella biosfera e nei cicli energetici del pianeta; non si accontenta di un postumanesimo puramente speculativo che trascuri la materialità dei dispositivi; e rifiuta una visione antropocentrica dell'IA che riduca l'agency a quella umana o a quella delle macchine, trascurando il ruolo degli ambienti, dei cicli ecologici e delle infrastrutture energetiche.

Il quadro teorico si basa su tre assi principali: l'Asse ontologico-relazionale: (intra-azione, simpoiesi, soggettività diffusa) è la prima radice dell'Ecodigital Posthumanism e affonda nelle ontologie relazionali del postumanesimo contemporaneo. Questa impostazione è essenziale per comprendere la co-costituzione di soggetti, tecnologie e ambienti nel contesto EcoAI: l'agency nasce dall'intreccio tra organismi umani e non umani, media digitali, dati, infrastrutture e contesti ecologici. Donna Haraway (2016) amplia questa prospettiva attraverso il concetto di simpoiesi: la produzione di mondo come processo collettivo, multispecie, distribuito, che rifiuta tanto l'autopoiesi quanto il determinismo tecnologico. In questa genealogia, il soggetto opera come nodo situato in reti relazionali che connettono animali, climi, materiali, algoritmi, sensori e piattaforme, differenziate al loro interno dalla posizione dei super-nodi che ne organizzano le condizioni operative. È precisamente questo lo sfondo in cui si colloca la nozione EcoAI di agency eco-postumana.

Il secondo asse riguarda il postumanesimo affermativo di Rosi Braidotti (2013), che invita a un'etica della responsabilità condivisa e dell'interdipendenza. L'Ecodigital Posthumanism riprende questo impianto ma ne riformula l'applicazione nel contesto digitale e educativo: l'etica riguarda gli altri organismi viventi e gli artefatti computazionali, gli

algoritmi, la geologia dei dispositivi e le infrastrutture che condizionano la vita sociale. Il terzo asse mediologico-materiale (i media come ecosistemi ecologici e computazionali) concerne gli studi sui media e sulle infrastrutture che hanno decostruito l'idea di un digitale privo di corpo, peso e limiti. Jussi Parikka (2015) ha mostrato come ogni dispositivo elettronico sia un nodo in una catena geologica che parte dalle miniere di coltan, rame, litio e terre rare. Sean Cubitt (2017) ha evidenziato l'insostenibilità della proliferazione mediale e la necessità di pensare le tecnologie in termini di flussi energetici e materiali. Jennifer Gabrys (2011) ha reso visibili gli scarti elettronici come attori ecologici che prolungano la vita delle tecnologie oltre il loro uso. Tutto ciò si traduce in una visione in cui tecnologie e ambiente costituiscono ecologie interdipendenti. Gli algoritmi che filtrano, raccomandano, sorvegliano e governano sono sostenuti da infrastrutture energivore; le piattaforme che abilitano partecipazione, identità e agency sono immerse in dinamiche di estrattivismo dati; i media che informano sui cambiamenti climatici contribuiscono essi stessi alla crisi climatica.

In questo contesto, l'Ecodigital Posthumanism diventa un ponte concettuale tra media ecology, ecologia politica del digitale e environmental humanities, integrando le prospettive di Helmond (2015) sulla platform ecology, di van Dijck, Poell & de Waal (2018) sulla platform society, di Couldry & Mejias (2019) sulla data colonialism, di Parks & Starosielski (2015) sulle infrastrutture invisibili e di Crawford & Joler (2018) sull'estrattivismo dell'IA (Anatomy of an AI System). Il risultato è una teoria mediologica che integra pienamente il digitale nella questione ecologica, evitando sia la tecnofilia ingenua che il catastrofismo apocalittico. Infine, l'asse eco-politico e civico, cioè responsabilità distribuita e cittadinanza Ecodigitale, è la terza dimensione, politica ed educativa. L'Ecodigital Posthumanism propone di riconfigurare concetti classici della sociologia (identità, agency, responsabilità, cittadinanza) dentro il nuovo paesaggio Ecodigitale. L'idea centrale è che la cittadinanza oltre che appartenenza istituzionale o partecipazione deliberativa, sia anche ecodigital co-responsible agency: un insieme di pratiche distribuite che uniscono:

- responsabilità ecologica
- consapevolezza algoritmica
- capacità di interpretare dati e ambienti sensoriali digitali
- immaginazione civica per futuri sostenibili
- interdipendenze con sistemi più-che-umani
- relazione con infrastrutture e dati come beni comuni

Rubino (2025) definisce questa condizione come ecodigital co-responsible agency: una capacità distribuita e asimmetrica di agire che emerge attraverso la partecipazione relazionale nel sistema Ecodigitale, plasmata dall'accesso differenziale alle infrastrutture e dalla posizione strutturale degli attori. Il riferimento a Oppermann e Iovino (2014) aggiunge un'ulteriore dimensione: la materia (minerali, dispositivi, scarti, cavi) portatrice di storie, agency e vincoli. In questo senso, l'Ecodigital Posthumanism si distanzia radicalmente sia dal digital humanism tradizionale sia dalle versioni più astratte del postumanesimo critico. La sua forza risiede nel coniugare la profondità filosofica delle ontologie relazionali con la concretezza materiale degli studi sui media e la prospettiva sociologica degli environmental studies con la riflessione critica sull'IA e sugli algoritmi e la pedagogia ecologica e digitale.

Questo approccio è ciò che permette al Framework EcoAI di sviluppare l'indicatore EPAS (Eco-Posthuman Agency) e, più in generale, di ridefinire la formazione civica in senso ecosistemico. L'umanesimo ecodigitale diventa la meta-struttura concettuale dell'intero Framework EcoAI, costituendo il "fondamento filosofico" dei quattro domini:

A *Identity Formation*, interpretata come costruzione di identità ecodigitali e postumane.

B *Systems Understanding*, comprensione dei sistemi complessi come ecologie ibride naturali-algoritmiche.

C *Ecological Understanding of AI*, analisi dell'IA come attore ecologico e infrastrutturale.

D *Tool-Based Learning*, apprendimento mediato da strumenti digitali che co-producono ambienti e possibilità d'azione.

Inoltre, l'Ecodigital Posthumanism fornisce il quadro teorico per l'indice EPAS (Eco-Posthuman Agency) nonché la giustificazione ontologica per la dimensione AGY (Agency Ecodigitale) nella cornice etica dei valori eco-civici VAL tramite il ponte concettuale con le alfabetizzazioni dei media nella dimensione INFO. È quindi il cuore concettuale che tiene insieme ontologia, media ecology, educazione, dati e IA.

2.6.1 Eco-Posthuman Agency

L'elaborazione dell'*Eco-Posthuman Agency* (EPAS) rappresenta il momento in cui la riflessione teorica sul postumanesimo Ecodigitale viene trasferita sul piano della possibilità d'azione, trasformando l'ontologia relazionale in una categoria operativa per comprendere come i soggetti interagiscano con sistemi ecologici, tecnologici e mediali. La sua formulazione nasce dal riconoscimento che l'agency sia l'esito di configurazioni distribuite, intra-attive e situate, dove umano, tecnologia e ambiente si co-determinano. EPAS assume dunque la funzione di concetto di soglia: un ponte tra il postumanesimo filosofico delle sezioni precedenti e l'architettura integrata del Framework EcoAI.

Al cuore di EPAS sta l'idea che la soggettività contemporanea non sia un'entità isolata ma un nodo dentro reti socio-tecniche ed ecologiche. La definizione di agency viene quindi decentrata: non coincide più con l'intenzionalità umana, bensì con la capacità dei sistemi, umani e non umani, di generare effetti trasformativi all'interno di ecologie materiali, digitali e simboliche. In questa prospettiva, l'agire è la manifestazione di relazioni operative e reciproche tra corpi, dati, media, infrastrutture, ambienti naturali e reti semantiche. EPAS assume perciò la forma di una "competenza relazionale ontologica", uno stato di consapevolezza e azione

che emerge dalla comprensione profonda delle condizioni che configurano l'esperienza contemporanea. Questa definizione si radica in una genealogia complessa. Le ontologie relazionali di Karen Barad (2007) hanno mostrato come i fenomeni emergano da processi di *intra-azione*: l'agency non precede le relazioni, ma sorge da esse. Donna Haraway (2016), con il concetto di *simpoiesi*, ha descritto la co-produzione ecologica come modello della vita contemporanea, dove umani, macchine e forme di vita naturali compongono mondi condivisi e dinamici. Rosi Braidotti (2013) ha decostruito i confini tra naturale, artificiale e culturale, sostenendo che l'agency postumana è performativa e situata, fondata su un'etica dell'interdipendenza. Timothy Morton (2016), infine, ha proposto l'idea di *iperoggetti*, entità come il cambiamento climatico o le infrastrutture digitali, che sfuggono alla percezione ordinaria ma condizionano radicalmente la nostra esistenza.

EPAS si situa all'interno del bricolage teorico delineato in 2.6, differenziandosi da esse per la sua finalità esplicitamente educativa e sociotecnica. A differenza di Barad, che rimane ancorata alla fisica quantistica e all'ontologia dei fenomeni, EPAS trasferisce l'intra-azione sul piano delle competenze sociali e della formazione civica. Rispetto a Haraway, che articola la simpoiesi come narrazione del fare-insieme multispecie, EPAS ne ricava un orientamento operativo per formare cittadinanza Ecodigitale. Il nomadismo soggettivo di Braidotti viene qui tradotto in capacità analitiche concrete per muoversi tra sistemi digitali e ambientali; il pensiero ecologico di Morton diventa pratica formativa capace di orientare decisioni, responsabilità e progettualità. EPAS è, in questo senso, l'evoluzione pedagogica e sociologica del postumanesimo, non la sua mera applicazione.

Il contributo più originale di EPAS consiste nell'integrare la consapevolezza dell'*interdipendenza ecologica* con la comprensione delle logiche computazionali che strutturano la vita digitale. L'agency eco-postumana è la capacità di percepire e agire attraverso gradienti multipli: naturali, tecnologici, algoritmici, infrastrutturali, simbolici. Questo significa

riconoscere che l'azione negli ecosistemi digitali non dipende solo dalla volontà individuale, ma è anche influenzata da feed algoritmici, orchestrazioni computazionali, filtraggi predittivi e dinamiche di estrazione dati. In una società datificata (Van Dijck, 2014), l'agency si esercita all'interno delle sue condizioni operative, in un continuo lavoro di negoziazione e comprensione. EPAS è la capacità di fare questo lavoro.

L'aspetto ecologico dell'agency emerge dal riconoscimento che le tecnologie sono attori materiali: consumano energia, producono rifiuti, estraggono risorse, alterano geografie e ritmi della vita. In ciò risiede la dimensione eco di EPAS: la consapevolezza che ogni gesto digitale, una ricerca su Google, uno streaming, l'uso di un'app basata su IA, comprende effetti ecologici a scala geoplanetaria. L'agency eco-postumana è la forma di consapevolezza che rende visibile la materialità nascosta del digitale e rende leggibile la responsabilità come caratteristica immanente del coinvolgimento nel sistema Ecodigitale, distribuita asimmetricamente tra nodi e super-nodi.

Il punto di connessione più forte con il Framework EcoAI risiede nella struttura quadripartita dei suoi quadranti. EPAS non è un'aggiunta esterna, ma il risultato emergente della loro interazione. Dal quadrante *Identity Formation*, EPAS eredita la consapevolezza del sé come nodo ecologico-digitale. Dal quadrante *Ecological Understanding of AI*, acquisisce la capacità di riconoscere l'IA come attore ecologico, non come entità astratta o neutra. Dal *System Understanding*, riceve la competenza a leggere sistemi complessi e reti interconnesse. Dal quadrante *Tool-Based Learning*, infine, deriva la capacità di praticare l'interazione tecnologica come forma di costruzione ecologica. EPAS è l'esito di questo movimento convergente.

È per questo che EPAS rappresenta la dimensione trasformativa del Framework EcoAI: misura cosa gli studenti sanno o fanno ma anche come essi *diventano* soggetti capaci di orientare la propria azione all'interno di ecologie digitali e naturali complesse. Mentre INFO, AATI, VAL e AGY descrivono competenze specifiche, EPAS descrive la forma generale dell'azione umana nella condizione Ecodigitale contemporanea. Non è una

competenza al pari delle altre, ma la *qualità emergente* che le rende intelligibili e operative all'interno di una nuova ecologia della cittadinanza.

Con EPAS, il Framework EcoAI afferma che l'educazione deve andare oltre il fornire alfabetizzazioni tecniche o sensibilità ambientali, formando soggetti capaci di leggere le ecologie socio-tecniche in cui sono situati e di partecipare a riconfigurazioni situate. In questo senso, l'Eco-Posthuman Agency è la risposta educativa a un mondo in cui media, IA, infrastrutture e fenomeni climatici sono inseparabili, e in cui l'agire umano è sempre già un agire con e attraverso reti più-che-umane. EPAS costituisce, operativamente, la dimensione più trasformativa dell'EcoAI Index, la cui struttura viene definita nel Capitolo 3.

2.7 Dataficazione, sorveglianza educativa e governance algoritmica: introduzione

Il passaggio più diagnostico dell'intero capitolo consente di tradurre le fondamenta ontologiche ed epistemologiche sviluppate nei paragrafi precedenti in una lettura critica delle trasformazioni concrete che attraversano istituzioni, ambienti educativi e forme della cittadinanza. Se i paragrafi precedenti hanno mostrato che i media digitali sono ecosistemi materiali, che l'educazione alla sostenibilità deve integrarsi con un pensiero relazionale e che il postumanesimo Ecodigitale si innesta con le forme di vita dell'Antropocene, qui il focus si sposta sulle conseguenze operative di questi processi: la dataficazione pervasiva, la metricizzazione dell'esperienza educativa e la governance algoritmica che orienta, filtra, predice e spesso definisce ciò che può o non può diventare visibile.

Questo paragrafo funziona dunque come una cerniera tra la teoria e la realtà socio-istituzionale: mostra perché un framework come EcoAI sia una necessità analitica ed educativa. L'assunto da cui si muove è che non sia più possibile parlare di educazione, cittadinanza o agency prescindendo dai sistemi computazionali che le modellano. Per questo motivo, la diagnosi che

segue è organizzata attraverso una catena logica chiara: causa, conseguenza, risposta.

La causa è la dataficazione. La trasformazione sistematica di attività, comportamenti e interazioni in dati non riguarda soltanto la misurazione scolastica, ma ridefinisce il funzionamento stesso delle istituzioni. Come hanno mostrato Van Dijck (2014) e Couldry & Mejias (2019), la dataficazione è un processo che crea nuove forme di potere informazionale, perché rende leggibili, classificabili e potenzialmente commercializzabili aspetti della vita umana che prima non erano computabili. Nello spazio educativo questo produce nuove pratiche di monitoraggio, audit e accountability, che alimentano un ecosistema di metriche sempre più pervasivo.

La conseguenza è la proliferazione di dispositivi di sorting predittivo. Algoritmi che filtrano, ordinano, raccomandano e anticipano incidono sulle possibilità di apprendimento, sulle traiettorie di partecipazione civica e sulle rappresentazioni del mondo. Zuboff (2019) ha mostrato come questi sistemi contribuiscano a formare ciò che definisce "ordine computazionale"; O'Neil (2016) ha documentato l'emergere di modelli ricorsivi che puniscono gruppi vulnerabili; Williamson (2017) ha tracciato la maniera in cui il governance-by-data trasforma la scuola in un ambiente modellato da logiche predittive. È in questo spazio che si formano le filter bubble, le camere di risonanza, l'erosione della fiducia informativa e la crescente vulnerabilità alla disinformazione.

La risposta è rappresentata dai quadri normativi internazionali, necessari ma non sufficienti. L'UNESCO, con la *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence* (2021), e l'OECD, con i *Principles on Artificial Intelligence* (2019), hanno definito linee guida per un uso responsabile dell'IA, enfatizzando trasparenza, fairness, governance partecipata e diritti umani. Tuttavia, questi documenti si concentrano prevalentemente sulla mitigazione dei rischi e sulla definizione di principi astratti; non propongono un modello integrato capace di unire sostenibilità, educazione ambientale, cittadinanza digitale e consapevolezza algoritmica. È proprio in

questa lacuna che si colloca il Framework EcoAI, mostrando la funzione strutturale di questa sezione. Senza una diagnosi critica della governance algoritmica, l'educazione rischia di incorporare, senza tematizzarli, gli stessi automatismi che riproducono bias, asimmetrie informative e disuguaglianze ecologiche e digitali. Al contrario, un paradigma ecologicamente e digitalmente informato deve interrogare la produzione di dati, la forma degli algoritmi e le condizioni politiche della loro applicazione, perché sono questi elementi a determinare ciò che viene reso visibile, ciò che resta invisibile e ciò che viene valutato come possibile.

Questa sezione prepara anche la comprensione delle due dimensioni dell'EcoAI Index direttamente collegate alla governance algoritmica: INFO, per la capacità di orientarsi criticamente negli ecosistemi informativi, e AATI, per la valutazione consapevole dei sistemi di IA e dei loro effetti. La diagnosi infrastrutturale e politica della dataficazione è la condizione necessaria per comprendere come queste competenze debbano essere formate. Infine, apre il passaggio verso la spiegazione del modello EcoAI, prima delineando la crisi, poi mostrando la necessità di un quadro integrato che tenga insieme sostenibilità, etica dell'IA e cittadinanza Ecodigitale, argomentate nella sezione finale.

Nel dibattito sociologico sui media digitali, il concetto di datafication è stato reso canonico da José van Dijck, che lo definisce come il processo di traduzione di pratiche sociali in forme di dati quantificabili che possono essere tracciate, analizzate e utilizzate per costruire profili predittivi (van Dijck, 2014). In questa prospettiva, l'educazione rappresenta uno dei campi privilegiati di sperimentazione: voti, test standardizzati, accessi alle piattaforme, interazioni nei LMS, log di apprendimento, persino le espressioni facciali rilevate da sistemi di proctoring vengono trasformati in flussi di dati che alimentano infrastrutture di calcolo e sistemi di classificazione. Una volta che l'attività formativa è resa calcolabile, diventa anche governabile a distanza: la promessa di "evidence-based policy" si intreccia con la costruzione di un soggetto educativo sempre più quantificato. Ben Williamson ha mostrato come la retorica dei "big data in

education" produca un immaginario in cui l'apprendimento, le scuole e persino gli insegnanti appaiono come nodi all'interno di architetture di data analytics: dashboard, sistemi di early warning, indicatori di performance e piattaforme di apprendimento adattivo sono presentati come strumenti neutri di miglioramento, mentre in realtà re-ingegnerizzano le relazioni di potere tra attori educativi, amministrazioni e fornitori privati (Williamson, 2017). La scuola diventa così un "laboratorio di dati" in cui ogni interazione viene potenzialmente trasformata in una traccia che alimenta algoritmi di valutazione, ranking e previsione del rischio di insuccesso. Jarke e Breiter parlano, a questo proposito, di una vera e propria "datafication of education", cioè di un processo per cui l'educazione non è semplicemente supportata dai dati, ma ristrutturata secondo logiche di raccolta, circolazione e riuso dei dati stessi (Jarke & Breiter, 2019).

La dataficazione non è tuttavia solo accumulazione di dati; è inseparabile da quella che Michael Power ha definito *audit culture*. Nel suo classico The Audit Society, Power mostra come, a partire dagli anni Novanta, le istituzioni pubbliche siano state progressivamente riorganizzate attorno all'idea che ogni attività debba essere misurabile, documentabile e verificabile secondo standard comparabili (Power, 1997). L'educazione non fa eccezione: le culture della valutazione, i sistemi nazionali di testing, le procedure di accreditamento e le metriche di "efficienza" importate dal management aziendale costituiscono l'ambiente entro cui i dati educativi acquistano valore. La metricizzazione non è un semplice effetto collaterale tecnologico, ma una razionalità di governo che rende desiderabile, per governi e amministrazioni, trasformare ogni aspetto dell'esperienza scolastica in indicatori, punteggi, benchmark.

In questo contesto, le scuole diventano organizzazioni "auditabili": l'efficacia di un curricolo, il lavoro degli insegnanti, la "qualità" dell'istituto vengono sempre più valutati sulla base di ciò che è registrabile in forma di dati e comparabile tramite indicatori. Gulson, Sellar e Webb parlano, a proposito di questa trasformazione, di "algorithms of education": l'illusione che una disponibilità crescente di dati consenta un controllo più fine sugli

esiti educativi, quando in realtà l'infrastruttura algoritmica tende a sottrarre il processo educativo alla deliberazione pubblica, delegandolo a modelli opachi costruiti da attori privati (Gulson, Sellar, & Webb, 2022). Gli algoritmi di raccomandazione, i sistemi di tracciamento, i modelli di rischio scolastico non rappresentano semplici strumenti tecnici, ma nuovi dispositivi di governo che ridisegnano i margini di agency di studenti e insegnanti. Una dimensione particolarmente delicata della dataficazione educativa riguarda la figura del "*bambino dataficato*". Deborah Lupton e Ben Williamson hanno mostrato come, già dalle prime fasi della scolarizzazione, i minori siano oggetto di un'intensa dataveillance: dispositivi digitali, piattaforme e registri elettronici raccolgono informazioni su comportamenti, performance, assenze, difficoltà di apprendimento e contesti familiari, spesso in assenza di un effettivo controllo da parte dei soggetti coinvolti (Lupton & Williamson, 2017). Il risultato è la costruzione di "biografie di dati" che accompagnano gli studenti nel tempo, con potenziali effetti sulla loro autopercezione, sulle aspettative degli insegnanti e sulle decisioni istituzionali in materia di orientamento, sostegno o disciplinamento. In questo scenario, la protezione dei diritti dei minori non riguarda più soltanto la privacy in senso stretto, ma la possibilità stessa di non essere ridotti a un profilo predittivo.

Una parte crescente della letteratura insiste sul fatto che l'educazione costituisca ormai un "dominio naturale di estrazione dei dati", parafrasando l'espressione di Nick Couldry e Jun Yu (2022). La metafora dell'estrazione non è casuale: così come le industrie estrattive trasformano territori e corpi in risorse da sfruttare, le infrastrutture educative digitali tendono a trattare studenti, insegnanti e pratiche scolastiche come fonti "naturali" di dati da capitalizzare. L'integrazione di sistemi di riconoscimento facciale, piattaforme di engagement analytics, strumenti di monitoraggio in tempo reale e soluzioni di intelligenza artificiale per la gestione degli apprendimenti si colloca esattamente in questa logica estrattiva. La promessa di personalizzazione e ottimizzazione nasconde una redistribuzione dei poteri di decisione: oltre ad essere nelle mani delle

comunità educative, sono in parte controllate da attori tecnologici e finanziari che controllano le infrastrutture di raccolta e modellizzazione dei dati. In questa sezione, dataficazione e metricizzazione perdono il loro valore neutro diventando componenti di una razionalità di governo che cerca di rendere l'educazione pienamente trasparente e anticipabile. Da un lato, la produzione di tracce digitali permette nuove forme di analisi dei processi di apprendimento e può supportare interventi mirati; dall'altro, l'adozione di un linguaggio puramente numerico rischia di ridefinire ciò che conta come "buona educazione" esclusivamente in termini di ciò che è facilmente misurabile e comparabile. Come nota Jarke in una rassegna recente, la dataficazione tende a naturalizzare categorie e algoritmi, rendendo invisibili le scelte politiche e pedagogiche incorporate nelle metriche stesse (Jarke, 2023).

Per il Framework EcoAI questo livello infrastrutturale rappresenta il livello causale della diagnosi critica. È sulla base di questa trasformazione che si comprendono, nei paragrafi successivi, le conseguenze sociocognitive del sorting predittivo, dei bias algoritmici e delle ecologie informative distorte, nonché la necessità di risposte normative da parte di organismi come UNESCO e OECD. Dal punto di vista dell'indice EcoAI, la dataficazione dell'educazione costituisce il terreno su cui si gioca la profondità della dimensione INFO e la rilevanza della dimensione AATI. L'alfabetizzazione informativa Ecodigitale deve insegnare a valutare le fonti o a "usare bene i social", ma deve anche includere la capacità di leggere i propri dati educativi, di comprendere le logiche con cui sono raccolti, aggregati e impiegati per classificare studenti e istituzioni. Allo stesso modo, la consapevolezza e la fiducia nell'IA (AATI) deve superare la mera disponibilità ad adottare strumenti intelligenti per divenire la capacità critica di interrogare gli algoritmi che governano l'accesso alle opportunità formative, la distribuzione delle risorse e la definizione di successo o fallimento scolastico.

Questa sezione, in sintesi, mostra come la governance algoritmica dell'educazione sia una realtà già operativa, radicata in processi di

dataficazione e audit culture che ridefiniscono silenziosamente la natura stessa della cittadinanza educativa. È esattamente in questo spazio di tensione, tra promesse di trasparenza, rischio di riduzionismo numerico e nuove forme di estrazione - che il Framework EcoAI si propone come quadro critico, in grado di integrare sostenibilità, etica dell'IA e cittadinanza digitale in una prospettiva non puramente regolativa, ma trasformativa.

2.7.1 Selezione algoritmica, filtri informativi e conseguenze socio-cognitive nell'educazione digitale

La governance algoritmica si manifesta nelle pratiche commerciali delle grandi piattaforme, ma si insinua in modo capillare anche nei processi educativi, trasformando condizioni di visibilità, attenzione, reputazione e accesso alle informazioni. I meccanismi di selezione operati dagli algoritmi, dai sistemi di raccomandazione dei social network ai filtri dei motori di ricerca, fino agli ambienti di apprendimento adattivi utilizzati dalle scuole, producono effetti cognitivi e sociali che ridisegnano le possibilità di apprendimento, deliberazione e partecipazione civica. Comprendere tali processi, e le loro conseguenze, è un prerequisito della dimensione AATI (Awareness and Trust in AI) e un fondamento delle literacies ecodigitali delineate dal Framework EcoAI.

Gli studi classici di Pariser (2011) hanno mostrato come i sistemi di raccomandazione generino "filter bubble" che riducono l'esposizione alla diversità informativa; ricerche empiriche successive hanno affinato questa posizione evidenziando come il meccanismo sia meno totalizzante ma comunque significativo nel produrre ambienti epistemici asimmetrici. Bakshy, Messing e Adamic (2015), analizzando milioni di interazioni su Facebook, hanno documentato che la combinazione di omofilia sociale e ranking algoritmico riduce la probabilità che gli utenti incontrino notizie contrarie alle loro preferenze politiche. In ambito giovanile, DeVito (2017) ha dimostrato che le logiche di visibilità delle piattaforme scolpiscono la percezione stessa di ciò che è "notizia", influenzando aspettative, norme e possibilità di partecipazione. Questi processi incidono sì sull'informazione

generalista ma si estendono stabilmente alla dimensione educativa. Gli ambienti LMS, come Google Classroom, Microsoft Teams, Moodle, operano una selezione automatica dei contenuti più rilevanti, dei compiti urgenti, delle notifiche prioritarie e persino dei percorsi personalizzati. Analisi recenti (Williamson & Eynon, 2020) mostrano che gli LMS, lungi dall'essere semplici archivi, funzionano come infrastrutture di orchestrazione dell'attenzione, modulando quando e come gli studenti interagiscono con materiali, valutazioni e comunicazioni istituzionali. La logica non è neutrale: determina quali attività appaiono accessibili, quali vengono nascoste, quali vengono considerate centrali nell'esperienza scolastica.

Come ha mostrato Selwyn (2021), il rischio è tecnico ed epistemico: attribuire all'AI capacità di diagnosi anticipata produce forme di profilazione educativa che possono influenzare le aspettative di docenti e studenti, contribuendo alla riproduzione delle disuguaglianze. Questo sorting algoritmico interagisce con fenomeni più ampi di disinformazione, "junk news" e manipolazione dell'attenzione. Wardle e Derakhshan (2017) hanno evidenziato che la disinformazione assume forme ibride, mis-, dis- e mal-information, che prosperano in ecosistemi già segnati da asimmetrie di visibilità. La capacità degli studenti di distinguere fonti affidabili da contenuti manipolati si lega direttamente alla dimensione INFO (informazione Ecodigitale) dell'EcoAI Index, ma anche alla Media & Information Literacy (MIL) e alla Algorithmic Literacy (presenti nell'allegato EcoAI Literacies Stack). L'attenzione selettiva indotta dagli algoritmi, infatti, rende difficile riconoscere segnali deboli, prospettive minoritarie o questioni ambientali non immediatamente virali, riducendo la possibilità di formarsi un giudizio critico e sistemico.

Parallelamente, la sempre più diffusa presenza di IA generative inserite nei motori di ricerca e nelle piattaforme educative introduce nuove forme di co-produzione cognitiva. Come osservato da Kasneci et al. (2023), gli studenti tendono a "delegare" compiti cognitivi non solo per ragioni di efficienza, ma perché i sistemi presentano risposte con una retorica di autorevolezza e coerenza che amplifica l'asimmetria tra umano e macchina. Senza adeguata

formazione, l'AI rischia di diventare un attore epistemico opaco, capace di orientare la comprensione dei problemi ambientali, dei trade-off socio-ecologici e delle scelte pubbliche.

Le implicazioni sociocognitive della selezione algoritmica sono quindi molteplici. Sul piano individuale, influenzano memoria, attenzione e capacità deliberativa; sul piano collettivo, strutturano ecologie discorsive che amplificano alcune narrazioni e ne oscurano altre, con impatti diretti su cittadinanza, valori e partecipazione. Per l'educazione alla sostenibilità, le conseguenze sono ancora più significative: le dinamiche di visibilità condizionano quali problemi ambientali entrano nell'agenda degli studenti, quali soluzioni appaiono possibili, quali narrative future risultano pensabili. È esattamente in questo punto che il Framework EcoAI diventa essenziale. La comprensione della posizionalità Ecodigitale, ovvero del modo in cui dati, algoritmi e piattaforme co-determinano ciò che appare rilevante, è la base non solo della dimensione AATI, ma anche delle literacies ecodigitali come Algorithmic Literacy, Visualization Literacy e Social/Platform Literacy. L'educazione non può più limitarsi a "usare" piattaforme e strumenti: deve insegnare a leggerne gli apparati, a interrogare i processi di selezione e a riconoscere le operazioni di potere incorporate negli ambienti digitali. In questa prospettiva, i fenomeni descritti rappresentano sia rischi che opportunità educative. Sviluppare una consapevolezza algoritmica critica permette agli studenti di comprendere come la loro esperienza digitale sia parziale e situata, di identificare punti ciechi informativi e di progettare pratiche di partecipazione più aperte, inclusive e responsabili. Ed è proprio questa consapevolezza, radicata nella diagnosi critica della selezione algoritmica, la condizione per costruire forme di agency Ecodigitale capaci di affrontare la complessità socio-ecologica del presente.

2.7.2 Etica dell'IA, governance algoritmica e risposte normative: UNESCO, OECD e il ruolo di EcoAI

La rapida espansione dell'intelligenza artificiale negli ecosistemi educativi ha reso evidente che la questione eccede la regolazione tecnica degli

algoritmi, incarnandosi nella definizione di un orizzonte etico capace di orientare responsabilmente la trasformazione dei sistemi formativi. Le piattaforme educative, gli strumenti di learner analytics, le applicazioni generative incorporate nei motori di ricerca e nelle interfacce didattiche partecipano attivamente alla produzione di opportunità, vincoli, diagnosi e percorsi di apprendimento. Questa constatazione ha spinto organizzazioni internazionali come UNESCO e OECD a elaborare risposte normative volte a prevenire rischi sistemici e fornire orientamenti per un uso equo, trasparente e responsabile dell'AI in educazione. Tuttavia, tali quadri, per quanto indispensabili, presentano una lacuna concettuale: non offrono un modello integrato in grado di unire sostenibilità, alfabetizzazione digitale, ecoliteracy e cittadinanza civico-ecologica. Questa sezione chiarisce perché EcoAI risponda a tale mancanza. La *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence* adottata dall'UNESCO nel 2021 rappresenta il primo quadro globale formalmente approvato da 193 Stati membri. Essa stabilisce principi cardine quali trasparenza, equità, inclusione, non discriminazione, responsabilità, rispetto dei diritti umani, e introduce un elemento spesso trascurato nelle policy tecnologiche: la responsabilità ecologica. La raccomandazione riconosce esplicitamente la materialità dell'AI (estrazione mineraria, consumo energetico, rifiuti elettronici) e la tracciabilità dei dati e il loro impatto sulla dignità della persona nonché la necessità di un'alfabetizzazione critica per utenti, insegnanti e cittadini (UNESCO, 2021).

Per la prima volta un documento normativo internazionale sottolinea che l'AI "non è immateriale", ma situata in cicli di vita che hanno effetti ambientali e sociali misurabili. Questo spostamento concettuale collega etica, sostenibilità e cittadinanza, le tre articolazioni del Framework EcoAI. Nonostante l'importanza della Recommendation, mancano linee guida che integrino literacies ecodigitali, valori ecocivici e agency *più-che-umana*, dimensioni che EcoAI propone come pilastri strutturali. Gli *OECD Principles on AI* (2019), adottati successivamente anche dal G20, rappresentano il quadro di riferimento per politiche e regolazioni nazionali.

Pur offrendo una base normativa avanzata, gli OECD AI Principles rimangono centrati su trasparenza, accountability e gestione del rischio, senza proporre un'integrazione con i temi ambientali, con l'educazione alla sostenibilità o con gli impatti ecologici delle piattaforme educative. La governance che delineano è dunque necessaria, ma non sufficiente in un contesto di crisi socio-ecologica. Per questo motivo EcoAI considera i principi OECD come primo livello normativo, ma non come risposta esaustiva. La combinazione UNESCO, OECD produce un quadro etico sofisticato, ma lascia aperti tre nodi fondamentali, particolarmente rilevanti per la scuola.

Le policy riconoscono rischi ambientali ma non offrono un modello educativo per collegare impronta ecologica del digitale, comportamento informativo e scelte civiche e climatiche. Il Framework EcoAI, attraverso le dimensioni VAL (valori eco-civici) ed EPAS (agency eco-postumana), connette invece l'uso dell'AI ai sistemi ecologici in cui è incorporata. Inoltre, UNESCO parla di *AI literacy*, OECD di *transparency literacy*, ma nessuno dei due quadri integra media ecology, AI literacy, ecoliteracy né propone un modello di competenze eco-tecnologiche multilivello (come nel file EcoAI Literacies Stack) in grado di collegare l'alfabetizzazione digitale alle infrastrutture materiali e ai sistemi ambientali. Il Framework EcoAI articola questa mancanza attraverso i quadranti Identity Formation, Ecological Understanding of AI, Tool-Based Learning e Systems Understanding.

In questa configurazione, il device assume una funzione teorica specifica che eccede quella di strumento o medium. Opera come interfaccia di soglia attraverso cui le disposizioni vengono attivate e trasferite tra il campo di habitus ecologico e quello ecomediale. La sua funzione si distingue da quella degli oggetti intermediari nella network theory, che stabilizzano relazioni tra attori. Funziona come interfaccia trasduttiva che condiziona il transito di disposizioni tra domini ontologicamente eterogenei. Questa concettualizzazione, introdotta come contributo originale del Postumanesimo Ecodigitale (Rubino, 2025), è rilevante per il Framework

EcoAI perché i dispositivi digitali usati in contesto educativo incidono sulla formazione delle disposizioni ecociviche degli studenti.

Il Postumanesimo Ecodigitale formalizza questa configurazione come sistema Ecodigitale: una configurazione relazionale in cui le dimensioni ecologica ed ecomediale sono co-costitutive e operano simultaneamente attraverso reti di nodi e super-nodi. I nodi designano soggetti situati all'intersezione dei due campi di habitus. I super-nodi designano attori la cui posizione strutturale consente di produrre e modificare le condizioni entro cui le relazioni sono organizzate nel sistema. L'architettura del doppio habitus, ecologico ed ecomediale, formalizza come le disposizioni si formino in campi materialmente distinti e vengano trasferite attraverso processi di trasponibilità senza consapevolezza esplicita delle differenze strutturali tra i campi. La trattazione sistematica di questi costrutti è sviluppata nel preprint di riferimento (Rubino, 2025).

Capitolo 3 Il Framework EcoAI

3.1 Il Framework EcoAI come architettura pedagogica per l'Antropocene digitale

La convergenza tra crisi ecologica, accelerazione tecnologica e trasformazioni della cittadinanza digitale definisce oggi uno dei più complessi orizzonti epistemici e pedagogici dell'educazione contemporanea. L'urgenza di sviluppare competenze di sostenibilità, richiamata dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e dal GreenComp europeo, si intreccia profondamente con la necessità di comprendere, interrogare criticamente e utilizzare in modo riflessivo i sistemi di intelligenza artificiale, i quali si configurano anche come componenti di configurazioni ecodigitali che partecipano alla produzione di effetti ambientali, politici e materiali, oltre che strumenti didattici.

Il Framework EcoAI, oggetto della presente tesi di dottorato e discusso in questo capitolo, nasce dall'intuizione fondativa che ecoliteracy e literacies digitali sono da considerare come dimensioni co-costitutive del sistema Ecodigitale. L'era dell'Antropocene digitale richiede la costruzione di nuove forme di soggettività, di agency e di comprensione sistemica capaci di abitare un mondo in cui ecologie naturali e infrastrutture algoritmiche sono co-costitutive.

L'impianto teorico del Framework si radica in un lavoro di ricerca progressivo, sviluppatosi attraverso varie versioni nell'arco di tre anni, in cui il nucleo iniziale è fortemente ancorato all'ecoliteracy classica (Capra, Orr) e alle prime riflessioni sull'AI in educazione. Successivamente, è stato progressivamente ampliato e rielaborato attraverso l'integrazione di letterature interdisciplinari che spaziano dagli studi postumani (Haraway, Braidotti, Barad) all'etica dell'intelligenza artificiale (UNESCO 2021; OECD 2019), dagli studi critici sugli algoritmi (Zuboff, Crawford, Pasquale) alle teorie della media ecology (Postman, Strate, Parikka), fino ai quadri

normativi come GreenComp, DigComp e gli SDG dell'Agenda 2030. Nella sua costituzione finale, al cuore del framework si colloca la teoria dell'identità postumana Ecodigitale, che riconfigura il soggetto educativo come nodo situato in reti relazionali in continua trasformazione, differenziate al loro interno dalla posizione dei super-nodi che ne organizzano le condizioni operative. Questo approccio, che attinge al realismo agenziale di Barad e alla simpoiesi di Haraway, consente di superare visioni riduzionistiche dell'educazione ambientale e dell'AI literacy, orientando la pedagogia verso forme di identità più capaci di rispondere alle sfide ecologiche e tecnologiche contemporanee.

Uno degli elementi qualificanti del Framework è la sua architettura multidimensionale, rappresentata da quattro domini o quadranti che costituiscono le colonne portanti dell'intero impianto. Questi quadranti sono dimensioni interdipendenti dell'esperienza Ecodigitale. La loro descrizione dettagliata sarà al centro del capitolo, ma è utile anticiparne brevemente il significato per collocare il Framework nel più ampio dibattito teorico contemporaneo.

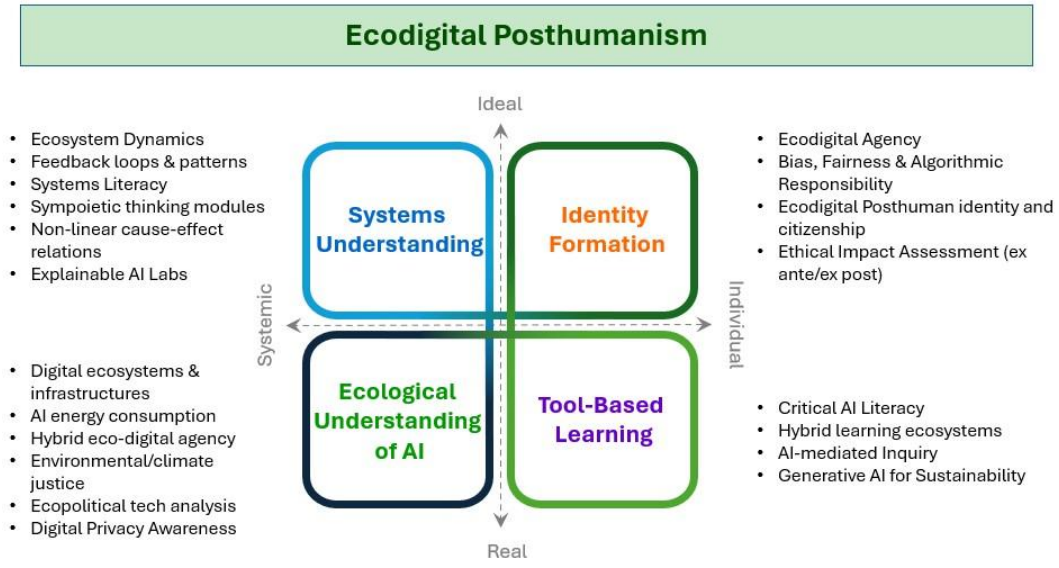


Figura 1 EcoAI Framework

Nota: L'immagine in formato A4 è presente nella sezione "appendici"

Il primo dominio, **Systems Understanding**, integra la tradizione dell'ecoliteracy con la comprensione dei sistemi algoritmici e delle infrastrutture digitali. La capacità di leggere dinamiche non-lineari, feedback loops e processi emergenti nei sistemi ecologici trova qui un'estensione nei sistemi computazionali, richiedendo un pensiero sistemico situato che sappia operare tra natura, media e tecnologia.

Il secondo dominio, **Ecological Understanding of AI**, affronta il ruolo ecologico dell'intelligenza artificiale: la co-costituzione materiale tra infrastrutture digitali e processi ecologici, gli effetti energetici dei modelli di machine learning, le implicazioni socio-ambientali dei sistemi algoritmici e la loro distribuzione geopolitica. La dimensione ecologica dell'AI è qui una materialità profonda che richiede competenze critiche e consapevolezza politica.

Il terzo dominio, **Identity Formation**, tocca il cuore filosofico del progetto EcoAI. L'identità è concepita come effetto di configurazioni relazionali tra umani, non-umani e sistemi algoritmici, in linea con le teorie postumane e con l'onto-epistemologia relazionale. La soggettività Ecodigitale contemporanea richiede forme di posizionalità, responsabilità e immaginazione capaci di operare oltre il paradigma antropocentrico.

Il quarto dominio, **Tool-Based Learning**, riguarda la dimensione applicativa e pedagogica dell'interazione umano-AI: l'uso critico della AI generativa, la progettazione di moduli didattici ibridi, l'apprendimento situato e multimodale, l'impiego situato di dispositivi digitali che condizionano la formazione delle disposizioni ecociviche.

Queste quattro dimensioni costituiscono l'impianto strutturale del Framework EcoAI, e verranno discusse nella loro interdipendenza teorica e pratica, evidenziando la loro rilevanza sociologica, pedagogica, ecologica e politica. La sezione successiva collocherà il Framework all'interno dei principali dispositivi normativi e delle competenze internazionali (GreenComp, DigComp, AI Literacy, SDG, UNESCO, OECD), mostrando come EcoAI sia compatibile con i principali riferimenti pedagogici e

normativi internazionali. L'allineamento con GreenComp, il Quadro Europeo delle Competenze di Sostenibilità, assicura un ancoraggio istituzionale e curricolare che rende il framework immediatamente traducibile nei contesti educativi formali. Al contempo, l'integrazione con gli SDG (in particolare il target 4.7, cuore dell'educazione allo sviluppo sostenibile), con le competenze DigComp, con le linee guida UNESCO sull'etica dell'intelligenza artificiale e con i principi OECD sull'AI evidenzia una consapevolezza delle sfide sistemiche che investono l'educazione nella società digitale. Il Framework EcoAI propone una sintesi originale che colma le loro lacune, soprattutto laddove l'integrazione tra sostenibilità e intelligenza artificiale rimane ancora marginale.

Infine, la sezione 3.4 presenterà l'EcoAI Index, lo strumento operativo derivato dal Framework e utilizzato nella presente ricerca per misurare le cinque dimensioni chiave dell'ecodigital literacy contemporanea: INFO, Informational Ecodigital Literacy, AATI AI Awareness & Trust Index, VAL Eco-Civic Values, AGY Ecodigital Civic Agency ed EPAS Eco-Posthuman Agency Scale. Costituito e validato attraverso due ricerche sociali, l'EcoAI Index rappresenta l'esito integrato di un percorso di ricerca bifasico: una prima survey *esplorativa*, che ha permesso di identificare domini concettuali preliminari attraverso l'analisi delle pratiche ecodigitali degli studenti, e una seconda survey *confermativa*, in cui tali domini sono stati formalizzati e sottoposti a validazione statistica, consolidando così l'indice come strumento affidabile e teoricamente fondato.

Nel loro insieme, il Framework EcoAI e l'EcoAI Index costituiscono il contributo teorico e metodologico principale di questa tesi. Il capitolo si articola in quattro sezioni: la descrizione dei quattro domini (3.1), le rubric valutative (3.2), il posizionamento rispetto ai framework internazionali (3.3) e la presentazione dell'EcoAI Index con le sue cinque dimensioni operative (3.4).

3.2 Le quattro dimensioni del Framework EcoAI

La struttura quadripartita del Framework EcoAI nasce dall'esigenza di articolare in modo rigoroso la complessità delle interazioni tra sistemi ecologici, sistemi tecnologici e processi formativi nell'epoca dell'Antropocene e dell'onlife. Una suddivisione dettata da una necessità epistemologica: rendere intellegibile un insieme di fenomeni che, nella loro natura relazionale e non-lineare, sfidano le tradizionali dicotomie disciplinari e i modelli educativi centrati sull'individuo come soggetto autonomo e precostituito.

I quattro quadranti (*Systems Understanding*, *Ecological Understanding of AI*, *Identity Formation* e *Tool-Based Learning*) costituiscono le dimensioni fondamentali attraverso cui l'educazione Ecodigitale può essere concettualizzata come pratica trasformativa. Essi emergono da un duplice movimento teorico: da un lato, l'assimilazione delle ricerche sull'ecoliteracy (Capra, 1996; Orr, 2004), sulle epistemologie relazionali e sulle ontologie postumane (Haraway, 2016; Barad, 2007; Braidotti, 2013); dall'altro, il confronto con la letteratura sui media, le infrastrutture digitali, la civic agency online e gli studi critici sull'intelligenza artificiale. Il risultato è un modello che supera l'ecologia come contenuto disciplinare e la tecnologia come semplice supporto, dichiarandoli come condizioni ontologiche e materiali che co-producono forme di soggettività, ambienti di apprendimento e possibilità di azione.

La logica dei quattro quadranti si radica inoltre nella consapevolezza che nessun processo educativo può limitarsi alla sola trasmissione di conoscenze, ma deve intervenire sulle logiche sistemiche che generano comportamenti, sui valori che orientano il senso del possibile, sui media attraverso cui la realtà viene percepita e sugli strumenti con cui essa viene trasformata. Ogni quadrante risponde quindi a una domanda fondativa dell'educazione nell'era Ecodigitale:

- *Come comprendere sistemi complessi e interdipendenti?*

- *Come* valutare criticamente la co-costituzione tra tecnologie, AI, infrastrutture digitali e processi ecologici?
- *Come si forma la soggettività Ecodigitale in un mondo co-abitato da umani, non-umani e sistemi algoritmici?*
- *Come progettare* pratiche educative ibride che articolino dispositivi digitali come interfacce trasduttive in modo ecologicamente e eticamente fondato?

Queste quattro dimensioni *intra-agiscono* (nel senso baradiano) dando forma a processi educativi profondamente situati: ciascun quadrante apre possibilità interpretative che trovano articolazione negli altri, componendo un modello che riconosce la natura simultaneamente ecologica, tecnologica, etica e politica dell'educazione contemporanea. Proprio questa interdipendenza rende il Framework EcoAI un modello *multidimensionale integrato*: una struttura di pensiero che consente di leggere le ecologie della conoscenza in cui studenti e insegnanti sono immersi e partecipare alle loro riconfigurazioni.

La sezione che segue approfondirà queste quattro dimensioni, mostrando come esse costituiscano gli assi portanti del Framework EcoAI e come, nella loro coerenza interna, offrano una risposta pedagogica, sociologica ed ecopolitica alle sfide della cittadinanza digitale e della sostenibilità planetaria.

Systems Understanding

Il dominio *Systems Understanding* costituisce la radice epistemica dell'intero Framework EcoAI e rappresenta la premessa concettuale indispensabile per comprendere le altre dimensioni. La sua funzione non si limita alla spiegazione di dinamiche ecologiche o digitali, ma risponde a un'esigenza cognitiva e politica fondamentale: formare soggetti capaci di interpretare la complessità dei sistemi in cui sono immersi. Abitiamo infatti una configurazione in cui sistemi ecologici, climatici, sociali, mediali e algoritmici operano come dimensioni co-costitutive, tutti caratterizzati da

interdipendenze non-lineari, ritardi temporali, retroazioni, soglie critiche e punti di rottura. Senza una alfabetizzazione sistemica matura, la sostenibilità, la cittadinanza digitale e l'etica dell'intelligenza artificiale rischiano di tradursi in un insieme di slogan, prescrizioni comportamentali o indicazioni tecniche prive di fondamento epistemologico.

L'importanza strategica di questo dominio si colloca nella tradizione dell'ecological literacy inaugurata da Fritjof Capra (1996) e approfondita da David Orr (2004). Entrambi sostengono che comprendere i sistemi viventi significhi riconoscere la logica relazionale, ciclica ed emergente che li struttura. In questa prospettiva, la crisi ecologica odierna rappresenta una vera e propria crisi di conoscenza, la manifestazione della nostra incapacità di vedere le conseguenze delle azioni umane attraverso scale temporali e spaziali estese.

Il dominio *Systems Understanding* nel Framework EcoAI assume questa eredità, ma la riarticola in un contesto contemporaneo segnato dalla pervasività delle tecnologie digitali. La comprensione dei sistemi ecologici viene integrata con la decodifica dei sistemi algoritmici e informazionali, incoraggiando lo studente a cogliere analogie, differenze e punti di intersezione tra reti viventi e reti digitali. Questo movimento concettuale consente di superare il pensiero lineare causa-effetto, aprendo all'analisi delle logiche dinamiche, circolari e retroattive che caratterizzano tanto gli ecosistemi naturali quanto le infrastrutture digitali. L'introduzione di un pensiero simpoietico e relazionale, come elaborato da Donna Haraway (2016) e Beth Dempster (1998), diventa così il nucleo filosofico del dominio: l'agire è sempre il risultato di co-produzioni distribuite, che attraversano relazioni materiali, sociali e tecnologiche. Pensare in termini simpoietici significa vedere che nessun soggetto, umano o tecnologico, agisce mai da solo, ma sempre attraverso reti complesse che co-evolvono.

Questa impostazione è sostenuta da una tradizione epistemologica ampia e interdisciplinare. Gregory Bateson ha mostrato come l'unità dell'apprendimento non sia l'individuo, ma il circuito relazionale tra organismo e ambiente (1972). Donella Meadows ha fornito un'architettura

concettuale fondamentale per comprendere i sistemi complessi, mostrando come numerosi errori politici derivino da interpretazioni lineari di sistemi intrinsecamente non-lineari (Meadows, 2008). Edgar Morin, lungo tutto il ciclo de *La Méthode* (1977 - 2004), ha sostenuto che la *pensée complexe* è l'unico approccio adeguato a trattare fenomeni che coniugano ordine, disordine e organizzazione, opponendosi alla semplificazione riduzionista che domina molta cultura contemporanea. Capra e Pier Luigi Luisi, con *The Systems View of Life* (2014), hanno aggiornato la teoria dei sistemi viventi includendo reti, auto-organizzazione, emergenza e proprietà distribuite. Infine, Luciano Floridi (2014) ha mostrato che i sistemi digitali non costituiscono semplici strumenti o piattaforme, ma veri e propri ambienti ontologici in cui viviamo, con confini sempre più porosi tra online e offline.

All'interno di questo orizzonte teorico, il dominio *Systems Understanding* acquisisce una funzione educativa determinante: accompagnare gli studenti in un cambio di paradigma cognitivo, dall'ontologia dell'entità all'ontologia delle relazioni. La comprensione dei sistemi complessi diventa la condizione epistemica della cittadinanza Ecodigitale. Solo chi pensa per sistemi (quindi chi sa leggere feedback, non-linearità, pattern emergenti, vulnerabilità strutturali e simpoiesi) può esercitare un'agency consapevole e responsabile in ecologie sociotecniche ibride.

È su questa base che le altre dimensioni del Framework EcoAI trovano radicamento: *Systems Understanding* fornisce la struttura concettuale che permette di interpretare criticamente l'AI e le infrastrutture digitali (*Ecological Understanding of AI*), comprendere la propria collocazione come soggetto Ecodigitale (*Identity Formation*), e agire attraverso strumenti tecnologici in modo situato, etico e creativo (*Tool-Based Learning*). In questo senso, il dominio non è soltanto il primo in ordine espositivo, ma il fondamento onto-epistemologico di tutto l'impianto EcoAI.

Finalità del dominio Systems Understanding

Il dominio mira a sviluppare negli studenti: Il dominio mira a sviluppare negli studenti la capacità di interpretare fenomeni complessi attraverso

modelli dinamici e interrelazionali, la competenza nel riconoscere feedback, soglie, ritardi ed emergenze nei sistemi naturali e digitali, la consapevolezza che le infrastrutture tecnologiche possiedono comportamenti sistemici, la possibilità di cogliere analogie tra ecosistemi naturali e informazionali, e l'attitudine a navigare scenari complessi evitando semplificazioni che producono polarizzazioni, bias o fallimenti nella governance. Questa capacità sistemica è anche la base cognitiva delle dimensioni VAL (valori), AGY (agency) e AATI (consapevolezza dell'IA) dell'EcoAI Index. Senza Systems Understanding, non è possibile comprendere né trasformare il proprio contesto Ecodigitale.

Sottodomini *Systems Understanding*

1. Ecosystem Dynamics

Il sottodominio *Ecosystem Dynamics* introduce gli studenti alla comprensione dei sistemi ecologici come strutture dinamiche, interconnesse e in continua evoluzione. La sua centralità deriva dal riconoscimento, elaborato da Capra (1996) e confermato dalle scienze della complessità, che gli ecosistemi sono interpretati come reti di relazioni caratterizzate da cicli, flussi energetici, resilienza, vulnerabilità e proprietà emergenti. Lo studio dei cicli biogeochimici, dei meccanismi di rigenerazione e dei modelli di adattamento fornisce una base per comprendere come piccole perturbazioni possano amplificarsi o dissiparsi a seconda della struttura del sistema. Meadows (2008) ha mostrato come i sistemi ecologici tendano verso stati di equilibrio dinamico, modificandosi costantemente in risposta ai cambiamenti ambientali. Questo sottodominio educa gli studenti a cogliere tali dinamiche, sviluppando una sensibilità verso la complessità, l'interdipendenza e l'emergenza sistemica. Nel contesto dell'EcoAI, l'attenzione alle *ecosystem dynamics* assume un significato nuovo: gli ecosistemi naturali diventano il paradigma per decifrare anche i sistemi digitali e algoritmici, anch'essi strutturati in modo non-lineare, distribuito e interconnesso. La capacità di identificare variabili critiche, retroazioni e punti di fragilità è quindi un prerequisito epistemico

per leggere con consapevolezza le relazioni tra ecologia e tecnologia nell'Antropocene.

2. Feedback Loops & Non-Linear Relations

Il sottodominio *Feedback Loops & Non-Linear Relations* affronta una delle componenti più delicate e spesso controintuitive del pensiero sistemico: la natura non-lineare dei fenomeni complessi. Le retroazioni (negative, stabilizzanti; positive, amplificanti) sono i meccanismi fondamentali che determinano l'evoluzione dei sistemi, generando comportamenti talvolta imprevedibili rispetto a un'analisi lineare. Meadows (2008) ha evidenziato come la mancata comprensione dei feedback porti a errori strutturali nei processi decisionali, in quanto le conseguenze delle azioni umane spesso emergono con ritardi temporali, effetti collaterali o amplificazioni non intuitive. Questo sottodominio educa a riconoscere tali dinamiche nei sistemi ambientali, sociali e tecnologici, mostrando come fenomeni quali il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità o la dinamica virale delle informazioni online siano governati da circuiti retroattivi. Le piattaforme digitali, in particolare, operano attraverso meccanismi di feedback algoritmico (raccomandazioni, metriche, engagement) che generano ricorsività e polarizzazione. La comprensione della non-linearità è quindi fondamentale per analizzare gli effetti eco-sociali dell'AI. In questa prospettiva, *Systems Understanding* prepara gli studenti a cogliere la complessità delle relazioni causalmente distribuite e a riconoscere che le trasformazioni sistemiche richiedono interventi che agiscano sui punti di leva (Meadows, 2008), non su risposte superficiali.

3. Systems Literacy

Il sottodominio *Systems Literacy* rappresenta la competenza cognitiva fondamentale per navigare ambienti complessi. Introdotto inizialmente nelle scienze dell'educazione (Assaraf & Orion, 2010), esso definisce la capacità di percepire connessioni, pattern ricorrenti, relazioni causa-effetto sistemiche, punti di leva e limiti strutturali. La *literacy* sistemica trasforma il modo di pensare, inducendo lo studente a spostare l'attenzione dall'analisi

elementare delle parti alla comprensione delle relazioni che le legano. Morin (2004) ha insistito su questo aspetto, sostenendo che il pensiero complesso è il metodo essenziale per affrontare le crisi contemporanee, poiché integra ordine e disordine, stabilità e instabilità, linearità e emergenza. Nel Framework EcoAI, la *Systems Literacy* assume una valenza duplice: da un lato, consente agli studenti di comprendere i sistemi ecologici e climatici; dall'altro, permette di analizzare sistemi algoritmici, reti digitali e infrastrutture tecnologiche. Lo sviluppo di questa competenza è centrale perché molte pratiche digitali quotidiane, dal consumo informativo al comportamento sui social media, sono immerse in sistemi complessi che gli utenti raramente decodificano. Una literacy sistemica avanzata consente dunque di leggere criticamente la co-costituzione tra dimensione ecologica ed ecomediale, riconoscendo i limiti, le interdipendenze e le potenzialità trasformative dei sistemi ecodigitali.

4. Sympoietic Thinking

Il sottodominio *Sympoietic Thinking* introduce un cambio di paradigma radicale. Mentre la teoria classica dei sistemi viventi privilegiava l'autopoiesi (la capacità dei sistemi di auto-organizzarsi e auto-riprodursi) Haraway (2016) e Dempster (1998) hanno proposto il concetto di *simpoiesi*, che definisce sistemi che "si fanno insieme", co-producendosi in relazioni distribuite e non centralizzate. La simpoiesi è il cuore della logica relazionale che permea tanto gli ecosistemi quanto le reti sociotecniche. Ecologia e tecnologia, da questo punto di vista, non sono entità separate ma elementi di sistemi in cui umani, non-umani, materiali, algoritmi e infrastrutture co-evolvono. La simpoiesi rompe definitivamente la dicotomia natura/cultura e apre uno spazio educativo in cui l'agency non viene concepita come proprietà individuale, ma come esito di relazioni. Questo sottodominio prepara concettualmente il terreno per le dimensioni AGY ed EPAS dell'indice EcoAI, in cui l'agency è interpretata come capacità distribuita, ibrida e situata. Insegnare agli studenti a pensare in modo simpoietico significa educarli a riconoscere che i problemi ambientali, gli impatti dell'AI e i modelli di cittadinanza contemporanei emergono da processi relazionali

complessi e richiedono risposte altrettanto relazionali. In questo senso, la simpoiesi è non solo un concetto filosofico ma una pratica cognitiva ed etica essenziale per il XXI secolo.

5. Patterns, Relational Fields & Ecological Cognition

Il sottodominio *Patterns, Relational Fields & Ecological Cognition* approfondisce la capacità di riconoscere configurazioni emergenti, trame relazionali e strutture ricorrenti in sistemi complessi. Capra e Luisi (2014) hanno mostrato che i sistemi viventi sono strutturati da pattern di organizzazione ricorrenti, che possono essere compresi solo osservando contemporaneamente il livello microscopico delle interazioni e quello macroscopico delle configurazioni globali. Questo tipo di cognizione, definita da Bateson (1972) come *ecology of mind*, consente di percepire sistemi complessi come totalità in cui ogni elemento acquista significato solo nella relazione con gli altri. Nel contesto dell'EcoAI, sviluppare un pensiero orientato ai pattern significa imparare a vedere analogie tra sistemi ecologici e sistemi tecnologici: flussi di energia e flussi di dati, reti biologiche e reti informazionali, campi ecologici e campi algoritmici. Questa alfabetizzazione percettiva e cognitiva rende gli studenti capaci di individuare vulnerabilità, potenzialità, punti di leva e rischi nei sistemi ecodigitali. Inoltre, facilita la comprensione dei fenomeni complessi che caratterizzano l'epoca contemporanea, che siano il clima, la polarizzazione informativa, le catene del valore tecnologiche come manifestazioni diverse delle stesse logiche sistemiche. Il risultato è una forma di cognizione ecologica e integrata, essenziale per le competenze di sostenibilità e AI literacy.

6. Digital-Ecological Systems Mapping

Il sottodominio *Digital-Ecological Systems Mapping* rappresenta la dimensione operativa del Systems Understanding, trasformando la comprensione concettuale in capacità analitica e progettuale. Mappare sistemi ecodigitali significa rendere visibili le relazioni nascoste tra supply chain tecnologiche, infrastrutture energetiche, reti di dati, impatti

ambientali e dinamiche sociali. Gli *infrastructure studies* di Parks e Starosielski (2015) e la "geologia dei media" di Parikka (2015) hanno mostrato come i media digitali siano sostenuti da materiali terrestri, flussi energetici e domìni geopolitici che raramente emergono nella percezione quotidiana degli utenti. Questo sottodominio insegna agli studenti a rendere tali relazioni esplicite attraverso visualizzazioni, modelli, diagrammi e analisi sistemiche. La mappatura Ecodigitale include l'analisi delle emissioni legate all'AI, dei consumi idrici dei data center, delle rotte globali dei minerali rari, dei sistemi di raccomandazione e delle catene di decisione algoritmica. Rendere visibili questi sistemi significa fornire agli studenti strumenti per partecipare criticamente ai dibattiti sulla sostenibilità e sull'etica dell'AI, sviluppando competenze di cittadinanza Ecodigitale che uniscono conoscenza, responsabilità e agency. In questo senso, la mappatura rappresenta la cerniera cognitiva che permette di integrare ecologia, tecnologia e giustizia socio-ambientale in una visione sistemica unificata.

Ecological Understanding of AI

Il dominio *Ecological Understanding of AI* rappresenta uno degli aspetti più innovativi e necessari del Framework EcoAI, poiché sposta l'attenzione dall'uso didattico dell'intelligenza artificiale alla comprensione critica delle sue implicazioni materiali, infrastrutturali ed ecopolitiche. In un contesto in cui l'AI viene frequentemente presentata come una tecnologia immateriale, veloce, neutrale e potenzialmente illimitata, questo dominio compie un'operazione epistemologica essenziale: rende visibile ciò che nei discorsi sull'AI rimane sistematicamente invisibile, ovvero i costi ambientali, energetici, geopolitici e socio-ecologici della computazione su larga scala. Comprendere l'AI dal punto di vista ecologico significa decostruire la metafisica della smaterializzazione digitale e restituire alle tecnologie la loro collocazione pienamente terrestre, materiale e situata.

L'urgenza di tale operazione è sostenuta da una crescente letteratura internazionale che evidenzia il peso ecologico dell'infrastruttura digitale contemporanea. Kate Crawford (2021) ha mostrato con chiarezza che ogni

sistema di AI è il risultato di una filiera estrattiva composta da miniere, catene di approvvigionamento di terre rare, sistemi energetici ad alta intensità, lavoro umano e produzione di scarti elettronici. L'AI nasce nei paesaggi geografici e politici dello sfruttamento minerario, della sorveglianza dei dati e dell'ineguale distribuzione delle risorse. In questo senso, comprendere l'AI significa necessariamente comprendere l'ecologia politica che la sostiene.

Parallelamente, gli studi di Jennifer Gabrys (2011, 2019) hanno mostrato che ogni infrastruttura digitale ha una materialità e una temporalità ecologica: produce rifiuti, consuma energia, richiede cicli di manutenzione, si accumula in discariche elettroniche. Anche Jussi Parikka (2015) ha sviluppato un approccio "geologico" ai media, che invita a leggere le tecnologie come parte dei cicli geologici della Terra, dai minerali che le compongono ai rifiuti che generano. Questo tipo di analisi permette di visualizzare l'AI non come un sistema astratto di calcolo, ma come un nodo all'interno di un ecosistema materiale che opera su scale planetarie.

Nel contesto specifico dell'intelligenza artificiale, studi come quelli di Emma Strubell, Ananya Ganesh e Andrew McCallum (2019) hanno evidenziato come l'addestramento di grandi modelli linguistici possa produrre emissioni paragonabili a quelle di un'automobile nell'intero ciclo di vita o superiori alle emissioni annuali di intere comunità. Le ricerche sul *carbon footprint* dei Large Language Models (Henderson et al., 2020) hanno introdotto il concetto di *Green AI*, sottolineando la necessità di rendere trasparenti i consumi energetici, migliorare l'efficienza computazionale e considerare la giustizia ambientale come parte integrante del ciclo di vita dell'AI.

Il dominio *Ecological Understanding of AI* assume e integra queste prospettive, costruendo un paradigma educativo che vede l'AI quale assemblaggio socio-tecnico-ecologico. Comprendere l'AI significa mappare le miniere di litio, le reti di cavi sottomarini, le centrali elettriche, i data center, i flussi di refrigerazione ad acqua, le rotte logistiche e gli impatti climatici generati dall'elaborazione e dalla memorizzazione dei dati.

Significa comprendere che le piattaforme digitali sono sì spazi immateriali, ma anche infrastrutture con un'impronta ecologica distribuiva, differenziale e spesso ineguale. Significa anche vedere l'AI come un attore ecologico, cioè come un agente che modifica gli ambienti in cui opera: consumando energia, influenzando comportamenti, mediatizzando informazioni, introducendo bias e contribuendo alle dinamiche di estrazione dei dati e delle risorse.

L'analisi ecologica dell'AI include inoltre dimensioni politiche imprescindibili. Le infrastrutture digitali sono situate in gerarchie globali di potere che determinano chi beneficia dell'AI e chi ne paga i costi. Julia Ticona e i Critical Data Studies hanno mostrato come la digitalizzazione sia spesso accompagnata da nuove forme di vulnerabilità e precarietà, mentre autori come Couldry e Mejias (2019) hanno descritto l'estrattivismo dei dati come una continuazione dei processi coloniali attraverso nuove tecnologie. Tutto ciò ha implicazioni dirette per l'educazione: preparare cittadini capaci di comprendere l'AI significa sviluppare sguardi critici sulle catene del valore, sulle esternalità ambientali e sui sistemi di governance che regolano la distribuzione del potere digitale.

Dal punto di vista pedagogico, il dominio richiede che gli studenti siano messi nelle condizioni di interpretare l'AI come fenomeno sistemico complesso, di riconoscere i flussi di dati e materiali, di discutere le implicazioni ambientali del calcolo su larga scala e di comprendere il ruolo politico delle infrastrutture tecnologiche. Ciò implica lavorare su concetti come *data justice*, *environmental justice*, *algorithmic environmental inequality*, *energy literacy for AI* ed *ecodigital footprint*. Significa, in altre parole, costruire una forma di competenza critica che permetta agli studenti di riconoscere che ogni modello linguistico, ogni algoritmo di raccomandazione, ogni piattaforma digitale è inscritta in reti ecologiche complesse che ne definiscono funzionamento, costi e conseguenze.

Nel Framework EcoAI, questo dominio è quindi la cerniera teorica che collega *Systems Understanding* alle dimensioni identitarie e operative del modello. Esso fornisce lo sfondo epistemologico e politico su cui si innesta

la riflessione sulla soggettività Ecodigitale (Identity Formation) e prepara la comprensione delle pratiche educative mediate da strumenti tecnologici (Tool-Based Learning). La sua funzione è trasformativa: mostrare che l'AI è una componente strutturale della crisi ecologica e che ogni forma di educazione responsabile deve includere la consapevolezza dei suoi impatti materiali e delle sue implicazioni di giustizia.

Sottodomini: *Ecological Understanding of AI*

1. Digital Ecosystems & Infrastructures

Comprendere l'intelligenza artificiale dal punto di vista ecologico significa innanzitutto riconoscere che ogni sistema di AI è sostenuto da un'infrastruttura materiale complessa e profondamente radicata nei territori. L'immagine del "cloud" come spazio etereo e immateriale è una costruzione retorica che oscura la realtà fisica di migliaia di data center, reti di cavi sottomarini, pipeline logistiche e sistemi energetici che costituiscono il supporto materiale della computazione globale. Studiosi come Nicole Starosielski e Lisa Parks (*Signal Traffic*, 2015) hanno documentato come i media digitali siano il risultato di infrastrutture estese, spesso invisibili ma essenziali, che attraversano oceani, deserti e centri urbani, generando impatti territoriali e geopolitici significativi. L'intelligenza artificiale amplifica questa dinamica, perché l'addestramento e l'esecuzione dei modelli richiedono capacità computazionali elevate, alimentate da sistemi di refrigerazione idrica o ad aria, grandi consumi elettrici e un ciclo di manutenzione continua. Dal punto di vista educativo, questo sottodominio mira a sviluppare una "infrastruttural literacy" che consenta agli studenti di interpretare l'AI come un fenomeno situato e dipendente da flussi materiali, energetici e politici. La consapevolezza dell'infrastruttura consente inoltre di problematizzare la governance dell'AI, rendendo visibili i processi decisionali e le catene del valore che determinano dove e come la computazione viene prodotta. In questa prospettiva, l'AI è letta come parte di un ecosistema digitale globale che richiede un'analisi critica della sua sostenibilità ecologica, del suo impatto distributivo e della sua dipendenza da infrastrutture complesse.

2. AI Energy Consumption & Carbon Footprint

Il consumo energetico dell'intelligenza artificiale costituisce uno dei problemi più urgenti e meno compresi della transizione digitale. A differenza di altre tecnologie, l'AI su larga scala richiede risorse computazionali crescenti per addestrare modelli che aumentano in dimensione e complessità a un ritmo esponenziale. Studi hanno evidenziato che l'inferenza stessa, cioè l'uso quotidiano dei modelli, sta diventando più energivora dell'addestramento, poiché miliardi di query quotidiane vengono eseguite su infrastrutture cloud energicamente intensive. I report dell'International Energy Agency (IEA, 2023) indicano che i data center, e in particolare quelli dedicati al machine learning, potrebbero triplicare i loro consumi entro il 2030, superando il fabbisogno energetico di molte nazioni europee. Questo quadro introduce una questione critica: l'AI è compatibile con gli obiettivi climatici globali? Il sottodominio invita gli studenti a interrogare criticamente la sostenibilità del machine learning, comprendendo la differenza tra AI "green" e AI "red", valutando l'efficienza computazionale, i modelli di addestramento più sostenibili e le alternative architetturali (come il neurosymbolic AI). In termini pedagogici, questa sezione sviluppa una forma di energy literacy applicata all'AI, necessaria per evitare approcci ingenui o non informati all'adozione educativa delle tecnologie intelligenti.

3. Hybrid Ecodigital Agency

Questo sottodominio introduce un concetto chiave per il Framework EcoAI: la comprensione dell'AI non solo come tecnologia che consuma risorse, ma come attore ecologico che modifica gli ambienti sociali, cognitivi e materiali in cui viviamo. La nozione di "ecodigital agency" richiama le teorie postumane di Karen Barad (2007), secondo cui l'agency non è mai proprietà di un singolo soggetto, ma emerge dalle intra-azioni tra entità materiali e discorsive. Applicata all'AI, questa prospettiva invita a interpretare gli algoritmi come co-produttori di realtà: modellano flussi informativi, influenzano comportamenti, organizzano ecosistemi mediali, trasformano percezioni e pratiche. L'agency non è distribuita in modo simmetrico: come

ha mostrato Louise Amoore (2020), gli algoritmi modellano decisioni politiche, giudiziarie, economiche ed ecologiche attraverso classificazioni, previsioni e valutazioni che incidono profondamente sulle vite delle persone. Dal punto di vista ecologico, l'AI partecipa attivamente a sistemi complessi che includono risorse naturali, infrastrutture digitali, organismi viventi e dinamiche culturali. Questo sottodominio, pedagogicamente, aiuta a costruire una comprensione non ingenua dell'AI, contrastando tanto il tecnodeterminismo quanto la visione strumentale riduzionista. Gli studenti imparano a vedere l'AI come un attore ibrido, Ecodigitale, la cui agentività interseca sistemi sociali ed ecologici e richiede competenze critiche per essere governata democraticamente.

4. Environmental & Climate Justice

Un'analisi ecologica dell'AI non può prescindere dalla dimensione della giustizia, poiché i costi ambientali e sociali del digitale non sono distribuiti equamente. Il lavoro di Couldry e Mejias (2019) ha definito il "data colonialism" come un'estensione delle logiche estrattive del colonialismo verso i dati e le risorse digitali. Allo stesso modo, il lavoro di Nick Couldry, Ulises Mejias, e della scuola latino-americana di *data justice* mostra che l'estrazione di dati e minerali necessari per i dispositivi digitali produce forme di vulnerabilità e ineguaglianza, soprattutto nel Sud Globale. L'estrazione di litio in Cile e Bolivia, il cobalto nelle miniere della Repubblica Democratica del Congo, il consumo idrico dei data center in regioni aride (come Arizona, Texas, Spagna) rivelano una geografia dell'ingiustizia ambientale che l'AI amplifica. Questo sottodominio mira a sviluppare una sensibilità critica verso tali dinamiche, collegando l'intelligenza artificiale alle questioni di giustizia ambientale, diritti dei lavoratori, sovranità dei dati, sostenibilità delle filiere tecnologiche. Dal punto di vista educativo, si tratta di introdurre un'etica della responsabilità Ecodigitale che consenta agli studenti di interrogare le implicazioni morali e politiche dell'AI in relazione al clima, all'ambiente e alle comunità marginalizzate. L'obiettivo è formare cittadini capaci di leggere l'AI come un fenomeno ecologico-politico

complesso, in cui sostenibilità, potere e diritti sono profondamente intrecciati.

5. Ecopolitical Tech Analysis

Questo sottodominio collega esplicitamente l'AI alle dinamiche di potere che ne determinano la governance e gli impatti. Gli studi di Langdon Winner (1986) hanno mostrato che le tecnologie incorporano forme di politica materiale: non sono strumenti neutrali ma configurazioni che distribuiscono possibilità e limitazioni. Nel caso dell'AI, questa politicità si manifesta attraverso gli algoritmi di raccomandazione, i sistemi di sorveglianza predittiva, l'automazione delle decisioni amministrative e i modelli di governance data-driven che strutturano la vita sociale. Autori come Shoshana Zuboff (2019) hanno descritto la logica del capitalismo della sorveglianza come un regime economico basato sull'estrazione comportamentale e sulla previsione algoritmica; altri, come Safiya Noble (2018), hanno mostrato come gli algoritmi riproducano bias sistemici contro gruppi sociali marginalizzati. L'eco-politica dell'AI richiede quindi di analizzare come il digitale riconfigura territori, relazioni ecologiche, economie energetiche e forme di vita. Dal punto di vista pedagogico, questo sottodominio sviluppa la capacità degli studenti di comprendere l'AI come dispositivo politico che ridefinisce cittadinanza, governance e giustizia, fornendo strumenti concettuali per una partecipazione consapevole e critica alla società algoritmica.

6. Digital Privacy Awareness

Il tema della privacy digitale è indissociabile da quello della sostenibilità ecologica dell'AI, poiché la raccolta massiva di dati personali alimenta la crescita esponenziale delle infrastrutture computazionali e dei modelli di machine learning. Comprendere l'AI significa comprendere il ciclo di vita dei dati: come vengono raccolti, trasformati, archiviati, spostati, addestrati e monetizzati. Le teorie di Helen Nissenbaum (2010) e le analisi delle *datafication studies* mostrano che la privacy non riguarda semplicemente l'occultamento delle informazioni personali, ma la possibilità di governare

le relazioni di potere che si creano attraverso il trattamento dei dati. La crescita dei sistemi di AI ha introdotto nuove forme di esposizione, vulnerabilità e sorveglianza ambientale e comportamentale, che includono anche l'estrazione di dati ambientali, biometrici e sensoriali. Questo sottodominio permette agli studenti di sviluppare una consapevolezza critica della privacy come componente ecologica e politica della vita digitale, collegando la tutela dei dati alla sostenibilità dell'infrastruttura e all'etica della responsabilità verso le comunità coinvolte.

Identity Formation

Il dominio *Identity Formation* rappresenta il cuore filosofico del Framework EcoAI. Mentre Systems Understanding fornisce la struttura cognitiva per interpretare la complessità Ecodigitale ed *Ecological Understanding of AI* ne illumina i processi materiali, politici ed ecologici, è qui che si affronta la domanda più radicale: che cosa diventa un soggetto nell'epoca dell'IA e dell'Antropocene?

Il concetto di identità, tradizionalmente ancorato a un soggetto unitario, stabile, autosufficiente, non è più adeguato a rendere conto delle relazioni, vulnerabilità, potenzialità e ibridazioni che caratterizzano la vita nell'onlife (Floridi, 2014). Gli ambienti digitali e le ecologie materiali co-producono forme di soggettività distribuite, relazionali, situate e continuamente riconfigurate da sistemi sociotecnici complessi.

Questo dominio assume come fondamento teorico l'onto-epistemologia relazionale sviluppata da Karen Barad (2007), la lezione del postumanesimo critico di Rosi Braidotti (2013) e la filosofia simpoietica di Donna Haraway (2016), esso legge la formazione dell'identità come un processo multispecie e multimediale, inscritto in reti di relazioni ecologiche, digitali e algoritmiche. Questa prospettiva è ulteriormente arricchita dagli studi sui media e sulle ecologie digitali (Postman, 1985; Scolari, 2015), dalle teorie della rappresentazione e del bias algoritmico (Noble, 2018), e dalle

riflessioni contemporanee sulla cittadinanza dataficata e sull'agency distribuita (Amoore, 2020; Couldry & Mejias, 2019).

In questo quadro, la formazione dell'identità non è solo un esito psicologico individuale, ma una posta in gioco etica, politica ed ecologica: ciò che gli studenti diventano dipende da come apprendono a relazionarsi con reti di altri umani, non-umani, dati, media, ambienti e algoritmi. È un processo di *posizionamento Ecodigitale* in cui si intrecciano immaginari possibili, responsabilità, vulnerabilità condivise e forme di agency emergente.

Sottodomini del dominio *Identity Formation*

1. Post-Anthropocentric Identity

Il sottodominio della *Post-Anthropocentric Identity* affronta direttamente la necessità, imposta dall'Antropocene, di superare la centralità ontologica dell'umano e di situare la soggettività in configurazioni più ampie di relazioni ecologiche e sociotecniche. Il postumanesimo critico di Braidotti (2019) insiste sul fatto che l'identità non è un nucleo autonomo, ma un processo di trans-formazione che attraversa limiti corporei, materiali, tecnologici e culturali. Haraway (2016) ha mostrato come le identità si formino attraverso assemblaggi multispecie, fatti di tecnologie, organismi, ambienti, storie e vincoli materiali; Barad (2007) ha spinto oltre questa intuizione, affermando che l'identità è un fenomeno intra-attivo: si produce attraverso relazioni che trasformano simultaneamente tutti gli elementi coinvolti. In ambito educativo, questa prospettiva rende possibile concepire lo studente come *entità relazionale*, le cui percezioni, possibilità d'azione e responsabilità si costruiscono nell'interazione con media, algoritmi e ambienti viventi. Postman (1985) e le ecologie dei media ricordano che ogni tecnologia ridefinisce ciò che significa "essere umani" in un determinato contesto storico. Questo sottodominio sviluppa così un orientamento pedagogico che mira a superare la centralità dell'umano per formare identità capaci di riconoscere interdipendenze, mutualità e vulnerabilità condivise, assumendo prospettive non antropocentriche come prerequisito per la sostenibilità e la cittadinanza ecologica.

2. Ecodigital Positionality & Imaginaries

La *posizionalità Ecodigitale* indica la consapevolezza, da parte degli studenti, di essere collocati all'interno di sistemi complessi che includono ambienti ecologici, media digitali, infrastrutture algoritmiche e relazioni socio-materiali. Non si tratta solo di "sapere dove si è", ma di comprendere come la propria esperienza, le proprie possibilità d'azione e i propri immaginari siano co-determinati da questi sistemi. Gli studi di William Davies (2018) e di Sheila Jasanoff (2015) suggeriscono che gli immaginari socio-tecnici giocano un ruolo cruciale nella formazione del giudizio e della percezione del possibile. La dimensione Ecodigitale amplifica questa dinamica: gli algoritmi filtrano immagini del mondo, i media modellano futuri desiderabili o distopici, e la crisi ecologica introduce nuovi limiti, vulnerabilità e responsabilità. In questo sottodominio, l'identità è intesa come un processo di posizionamento riflessivo nella trama di relazioni eco-tecnologiche che definiscono il presente. Le pratiche educative associate si concentrano sulla costruzione di immaginari futuri ecologicamente e tecnologicamente situati, attraverso attività narrative, visuali, speculative (*design fiction*) e basate su dati ambientali reali. Questo approccio contrasta il rischio di un immaginario determinato unicamente dalle compagnie tecnologiche e promuove la capacità di immaginare mondi possibili in cui sostenibilità e tecnologia non siano in opposizione ma parte di visioni plurali, critiche e co-costruite.

3. Relational Ethics

La *Relational Ethics* rappresenta la componente etica fondamentale del dominio Identity Formation, fondata sull'idea che l'etica sia il risultato concreto delle relazioni che costituiscono il soggetto. Barad (2007) parla di "onto-etica": un'etica che nasce dal fatto stesso dell'intra-agire. Braidotti (2013) definisce l'etica postumana come un'etica "zoe-centrica", focalizzata sulla vita come rete di interdipendenze. Questo sottodominio introduce gli studenti alla comprensione delle responsabilità emergenti dalle relazioni eco-tecnologiche: responsabilità verso gli altri umani, verso gli altri viventi, verso i dati condivisi, verso i territori che sostengono le infrastrutture

digitali, verso le comunità colpite dalle esternalità dell'AI. Anche la media ecology contribuisce a questa sezione ricordando, con Postman (1992), che ogni tecnologia amplifica alcune possibilità etiche e ne sopprime altre. Pedagogicamente, la *Relational Ethics* educa alla responsabilità situata, come consapevolezza delle relazioni che rendono possibile l'azione. Ciò crea le basi per comprendere l'agency Ecodigitale come fenomeno sempre condiviso e co-prodotto.

4. Posthuman Relational Ethics

Questo sottodominio approfondisce l'etica relazionale estendendola oltre il dominio umano. Haraway (2016) e le teorie multispecie mostrano come la distinzione umano/non-umano sia insufficiente per comprendere le responsabilità emergenti nei confronti di ecosistemi, animali, tecnologie e oggetti intelligenti. La robotica sociale (Suchman, 2007; Nomura, 2021) e gli studi sull'HRI (Human-Robot Interaction) documentano che le interazioni con artefatti intelligenti producono coinvolgimenti affettivi, dipendenze funzionali e nuove forme di co-agency. L'etica postumana suggerisce che tali relazioni vadano interpretate come relazioni reali con entità che partecipano ai nostri ecosistemi cognitivi ed emotivi piuttosto che "simulazioni" di legami. In questa prospettiva, l'AI non è un semplice strumento, ma un partecipante parziale nelle dinamiche socio-ecologiche. Pedagogicamente, ciò implica aiutare gli studenti a sviluppare un'etica che consideri l'AI come parte dell'ambiente di vita, valorizzando pratiche di coesistenza responsabile, trasparenza, inclusione e cura nelle interazioni ecodigitali.

5. Ecodigital Agency

Il concetto di *Ecodigital Agency* rappresenta il punto di contatto tra identità, responsabilità e possibilità d'azione nello spazio Ecodigitale. A differenza delle definizioni classiche di agency, basate sull'intenzionalità individuale, questa sezione assume che l'agency sia ibrida, distribuita e co-costruita da relazioni ecologiche e tecnologiche. Amoore (2020) ha mostrato come gli algoritmi partecipino alla configurazione delle possibilità

politiche e sociali, mentre Floridi (2014) descrive gli individui come "inforg", attori informazionali in reti complesse. Questo sottodominio invita a concepire l'agency come una capacità situata: la possibilità di agire per la sostenibilità, la giustizia, l'equità e la coabitazione interspecifica all'interno e attraverso ambienti digitali. Pedagogicamente, esso si traduce nella progettazione di attività che coniughino intervento ecologico, uso responsabile dell'AI, partecipazione civica e consapevolezza delle infrastrutture digitali, come progetti di citizen science, analisi critica degli algoritmi, attività con robot educativi, mappature ambientali digitali e produzione di contenuti eco-civici.

6. Algorithmic Bias, Fairness & Representation

L'ultimo sottodominio affronta il ruolo dell'AI nella produzione di identità e rappresentazioni sociali. La letteratura scientifica ha chiarito che gli algoritmi non sono neutrali: riflettono e amplificano bias culturali, economici e politici. Safiya Noble (2018) ha mostrato come le ricerche online riproducano stereotipi razziali e di genere; Ruha Benjamin (2019) ha evidenziato come la discriminazione possa essere automatizzata; Crawford (2021) ha collocato queste dinamiche in una geografia di potere globale. Questo sottodominio analizza come l'AI costruisca immagini del mondo, influenzi percezioni, filtri opportunità e limiti aspettative, diventando così un attore fondamentale della formazione identitaria nell'onlife. Sul piano educativo, l'obiettivo è fornire agli studenti strumenti teorici e metodologici per riconoscere, analizzare e contrastare bias algoritmici, comprendere le logiche di classificazione e valutare pratiche di fairness, accountability e trasparenza.

Tool based Learning:

Il dominio Tool-Based Learning costituisce la dimensione operativa e pedagogica del Framework EcoAI, traducendo sul piano della pratica educativa l'architettura teorica elaborata nei tre quadranti precedenti. Questo dominio considera l'apprendimento mediato da strumenti digitali e

sistemi di intelligenza artificiale come processo emergente da configurazioni sociotecniche complesse, in cui artefatti computazionali, ambienti ecologici e soggetti umani co-producono conoscenza, agency e responsabilità.

La prospettiva teorica che sostiene questo dominio attinge alle teorie socioculturali dell'apprendimento, in particolare alla tradizione vygotskiana della mediazione strumentale, secondo cui gli artefatti tecnici riconfigurano le zone di sviluppo prossimale e le possibilità cognitive dei soggetti (Vygotsky, 1978; Wertsch, 1991). Il concetto di cognizione distribuita (Salomon, 1993) completa questa cornice, mostrando come la conoscenza si costruisca attraverso reti di interazione tra persone, contesti e strumenti culturali. Nel Framework EcoAI, questa prospettiva trova un'estensione significativa attraverso l'integrazione con le teorie postumane e simpoietiche: gli strumenti, e in particolare i sistemi di IA, divengono attori ecologici che partecipano attivamente alla configurazione dei problemi, delle soluzioni e delle forme di agency disponibili (Haraway, 2016; Barad, 2007).

Il Tool-Based Learning si colloca quindi oltre una visione strumentale delle tecnologie educative. I dispositivi digitali operano come interfacce trasduttive che mediano il transito delle disposizioni tra il campo di habitus ecologico e quello ecomediale, partecipando alla strutturazione delle condizioni materiali, simboliche e relazionali dell’apprendimento. Come osserva Latour (2005), ogni tecnologia incorpora logiche di azione e redistribuisce le capacità tra attori umani e non umani. L'uso dell'intelligenza artificiale in contesti educativi comporta conseguenze epistemiche, ecologiche ed etiche che richiedono consapevolezza critica, capacità progettuale e responsabilità situata.

Dal Systems Understanding, questo dominio eredita l'idea che ogni tecnologia sia inscritta in reti di relazioni e retroazioni. Dall'Ecological Understanding of AI, riceve la consapevolezza della materialità e dei costi ecologici delle infrastrutture digitali. Dall'Identity Formation, incorpora la dimensione soggettiva e relazionale dell'interazione umano-tecnologia. Il

Tool-Based Learning opera quindi come cerniera pedagogica che rende operativa l'intera architettura del Framework, fornendo agli studenti ambienti e strumenti per tradurre la comprensione sistemica e la consapevolezza ecologica in pratiche educative concrete.

Il posizionamento di questo dominio all'interno dei riferimenti normativi internazionali è esplicito. GreenComp, il quadro europeo delle competenze per la sostenibilità, identifica tra le proprie competenze chiave l'uso di strumenti e sistemi per monitorare processi ambientali, modellare scenari e simulare futuri sistemici (Bianchi et al., 2022). Il Tool-Based Learning risponde a questa indicazione, offrendo un modello pedagogico che integra strumenti digitali avanzati con obiettivi di sostenibilità e giustizia ecologica. Analogamente, l'SDG 4.7 delle Nazioni Unite richiede forme di educazione capaci di promuovere stili di vita sostenibili, cittadinanza globale e apprezzamento della diversità culturale (UNESCO, 2020). L'uso critico e riflessivo di strumenti basati su IA contribuisce a questo obiettivo, a condizione che venga accompagnato da una pedagogia trasformativa capace di interrogare le logiche di potere, i bias incorporati e gli impatti ecologici delle tecnologie.

La prospettiva pedagogica critica, elaborata da Freire (1970) e successivamente sviluppata negli studi su educazione e tecnologia (Selwyn, 2019), ricorda che gli strumenti sono sempre situati in contesti di potere e richiedono forme di alfabetizzazione che vadano oltre la competenza tecnica. Il Tool-Based Learning assume questa lezione, proponendo un modello di apprendimento in cui gli studenti operano come co-agenti che utilizzano, interrogano e co-progettano strumenti digitali, riconoscendo l'intelligenza artificiale come parte integrante degli ecosistemi educativi, sociali e ambientali contemporanei.

Sottodomini del dominio *Tool-based Learning*

1. Critical AI Literacy

La competenza critica sull'intelligenza artificiale generativa costituisce una dimensione fondamentale dell'alfabetizzazione Ecodigitale contemporanea.

Questo sottodominio si occupa della comprensione dei meccanismi, dei limiti epistemologici e delle implicazioni ecologiche dei sistemi generativi, integrando consapevolezza tecnica, riflessività etica e responsabilità materiale. L'obiettivo formativo consiste nello sviluppo di capacità analitiche che consentano agli studenti di riconoscere come architettura, dataset, criteri di addestramento e scelte progettuali influenzino i contenuti prodotti dai modelli di IA.

Sul piano pedagogico, questo sottodominio promuove forme di vigilanza epistemica che consentono agli studenti di interrogare i contenuti generati dall'IA in relazione a validità ecologica, bias incorporati e risonanza sociale. La competenza critica si traduce nella capacità di verificare fonti, applicare strategie di prompt engineering consapevole, analizzare aspetti di fairness e replicabilità, e valutare le implicazioni onto-epistemologiche dei modelli generativi. L'integrazione con GreenComp, in particolare con le competenze di pensiero critico e consumo responsabile, garantisce un ancoraggio curricolare che rende operativa l'alfabetizzazione critica sull'IA in contesti educativi formali (Bianchi et al., 2022).

Il riferimento alla teoria delle tre ecologie di Guattari (1989) consente di analizzare i contenuti generativi secondo dimensioni mentali, sociali e ambientali, interrogando la loro capacità di replicare bias ideologici, erodere cognizione esperienziale o contribuire alla formazione di consapevolezza ecologica. La pedagogia critica di Freire (1970) e gli studi contemporanei su automazione educativa (Selwyn, 2019) completano il quadro teorico, ricordando che l'IA generativa richiede forme di alfabetizzazione capaci di riconoscere e contrastare logiche di delega tecnologica acritica.

2. Hybrid Learning Ecosystems

La progettazione di ecosistemi di apprendimento ibridi costituisce una risposta pedagogica alle configurazioni contemporanee della conoscenza, in cui dimensioni fisiche, digitali ed ecologiche si intrecciano in reti complesse di interazione. Questo sottodominio si occupa della costruzione di ambienti

educativi che integrano strumenti analogici e digitali, spazi fisici e virtuali, dati ambientali e sistemi algoritmici, secondo logiche di ibridazione che superano la semplice giustapposizione di media e tecnologie.

Il fondamento teorico si radica nelle teorie socio-materiali dell'apprendimento, che concepiscono la cognizione come processo distribuito attraverso persone, contesti e artefatti culturali. Goodyear e Carvalho (2014) hanno mostrato come gli strumenti divengano parte integrante delle ecologie cognitive degli studenti, modificando le possibilità di comprensione, esplorazione e azione. L'apprendimento emerge quindi da configurazioni che coinvolgono simultaneamente corpi, media, algoritmi e ambienti viventi, in una prospettiva che riconosce la materialità e la performatività delle tecnologie educative.

Il concetto di ambiente onlife, elaborato da Floridi (2014), descrive la condizione contemporanea in cui le distinzioni tra online e offline diventano sempre meno rilevanti, sostituita da un continuum di esperienze mediate da tecnologie digitali. Gli ecosistemi di apprendimento ibridi operano in questa condizione, costruendo percorsi formativi che attraversano spazi fisici, piattaforme digitali, dispositivi mobili, sensori ambientali e sistemi di intelligenza artificiale. La progettazione didattica assume quindi una dimensione ecologica, attenta alle relazioni tra elementi eterogenei e alle dinamiche emergenti che si generano dalle loro interazioni.

La pedagogia dell'ecoliteracy (Capra, 1996; Orr, 1992) trova qui un'estensione significativa. Gli ecosistemi di apprendimento ibridi consentono di integrare esperienze dirette con ambienti naturali, analisi di dati ambientali in tempo reale, simulazioni di sistemi ecologici e pratiche di cittadinanza digitale, costruendo percorsi che connettono comprensione cognitiva, coinvolgimento affettivo e agency trasformativa. La multimodalità diventa strumento epistemico, permettendo agli studenti di rappresentare fenomeni complessi attraverso combinazioni di testi, immagini, suoni, mappe, grafici e artefatti fisici (New London Group, 1996).

GreenComp identifica tra le proprie competenze chiave la capacità di abbracciare la complessità e agire per la sostenibilità attraverso approcci sistemici e integrati (Bianchi et al., 2022). Gli ecosistemi di apprendimento ibridi rispondono a questa indicazione, offrendo ambienti formativi capaci di sostenere forme di pensiero relazionale, inquiry iterativa e sperimentazione riflessiva. L'integrazione di strumenti collaborativi, piattaforme di gestione dell'apprendimento, sistemi di visualizzazione dati e dispositivi di rilevazione ambientale consente di costruire moduli didattici in cui dimensioni ecologiche e digitali si co-costituiscono.

La progettazione didattica assume quindi carattere partecipativo, iterativo e adattivo, riconoscendo che ogni configurazione tecnologica introduce affordance e vincoli che ridefiniscono le possibilità cognitive e sociali degli attori coinvolti.

3. AI-Mediated Inquiry

L'uso di sistemi di intelligenza artificiale per l'esplorazione e la modellizzazione di fenomeni ecologici complessi costituisce una frontiera pedagogica in cui convergono computational sustainability, systems thinking e speculative pedagogy. Questo sottodominio si occupa dell'impiego di strumenti computazionali avanzati per simulare dinamiche ecosistemiche, analizzare scenari climatici, costruire digital twins di sistemi ambientali e condurre forme di inquiry-based learning mediate da tecnologie algoritmiche.

Il fondamento teorico si radica negli studi sulla computational sustainability, un campo di ricerca che impiega metodi computazionali per affrontare sfide di equilibrio tra sistemi sociali ed ecologici (Gomes et al., 2019). L'intelligenza artificiale viene utilizzata per analizzare dataset ambientali su larga scala, identificare pattern emergenti, prevedere traiettorie sistemiche e valutare impatti di interventi antropici. In contesti educativi, questi strumenti consentono agli studenti di accedere a forme di conoscenza che sarebbero altrimenti inaccessibili attraverso l'osservazione diretta, aprendo spazi di apprendimento esplorativo e speculativo.

Le simulazioni agent-based, i modelli climatici e i digital twins di ecosistemi rappresentano strumenti epistemici che permettono di rendere visibili fenomeni caratterizzati da non-linearità, ritardi temporali, feedback loops e soglie critiche. Software come NetLogo, piattaforme di climate modeling e sistemi di visualizzazione dati consentono agli studenti di manipolare variabili, osservare dinamiche emergenti e sviluppare intuizioni su comportamenti sistemici che sfuggono alla logica lineare causa-effetto. L'apprendimento diventa processo di interrogazione attiva, in cui ipotesi vengono formulate, testate e riviste attraverso cicli iterativi di sperimentazione computazionale.

La prospettiva della *speculative pedagogy*, elaborata negli studi di futures literacy e anticipatory learning, sostiene che l'immaginazione di scenari futuri costituisce competenza fondamentale per affrontare la crisi ecologica contemporanea (Miller, 2018). L'uso di strumenti di simulazione consente agli studenti di esplorare futuri possibili, probabili e preferibili, sviluppando capacità di pensiero controfattuale e progettuale. Le tecnologie di IA mediano quindi forme di immaginazione ecologica trasformativa, in cui la comprensione dei limiti planetari si intreccia con la capacità di concepire alternative sostenibili.

GreenComp identifica tra le proprie competenze la *futures literacy* e il systems thinking, sottolineando la necessità di formare soggetti capaci di interpretare dinamiche complesse e orientarsi in contesti di incertezza (Bianchi et al., 2022). L'AI-mediated inquiry risponde direttamente a questa esigenza, offrendo agli studenti strumenti per analizzare interdipendenze ecologiche, valutare impatti di lungo periodo e sviluppare sensibilità per le conseguenze non intenzionali delle azioni umane.

La dimensione critica rimane essenziale: gli studenti vengono incoraggiati a interrogare i presupposti incorporati nei modelli, riconoscere limiti epistemologici delle simulazioni e valutare implicazioni politiche delle rappresentazioni algoritmiche. Le simulazioni partecipano attivamente alla costruzione della realtà che pretendono di rappresentare, incorporando scelte metodologiche, assunzioni teoriche e priorità valoriali che richiedono

consapevolezza riflessiva. L'apprendimento mediato da IA diventa quindi esercizio di literacy algoritmica applicata a contesti ecologici, in cui competenze tecniche e sensibilità critica si integrano nella comprensione di sistemi socio-ecologici complessi.

Nota: *Computational sustainability* è un campo interdisciplinare consolidato che applica metodi computazionali a problemi di sostenibilità ambientale, economica e sociale (Gomes, 2019). *Speculative pedagogy* indica approcci educativi basati su metodi speculativi e progettazione di scenari per immaginare futuri educativi aperti (Garcia & Mirra, 2023; Ross, 2022). *Systems thinking* è già discusso nel primo dominio del Framework EcoAI (Systems Understanding) e si riferisce alla capacità di analizzare fenomeni complessi attraverso feedback loops e interdipendenze (Meadows, 2008).

4. GenAI for Sustainability

L'applicazione di sistemi di intelligenza artificiale generativa a finalità di sostenibilità ambientale e sociale costituisce uno degli sviluppi più significativi e contraddittori dell'educazione Ecodigitale contemporanea. Questo sottodominio si occupa dell'impiego di modelli linguistici e generativi per costruire scenari ecologici, elaborare narrazioni di futuri sostenibili, analizzare dati ambientali e progettare interventi orientati alla giustizia climatica, riconoscendo al contempo le tensioni tra potenzialità pedagogiche e costi ecologici delle tecnologie generative.

Il fondamento teorico si radica nella prospettiva del costruttivismo e dell'apprendimento trasformativo, che concepiscono la conoscenza come processo attivo di costruzione di significato attraverso l'interazione con artefatti culturali e tecnologici. Il framework GAISE (Generative AI-Enabled Sustainable Education), elaborato da Baskara (2024), identifica nella capacità di adattamento, personalizzazione e generazione di contenuti delle tecnologie generative un potenziale per l'alfabetizzazione alla sostenibilità e per esperienze di apprendimento trasformative. L'integrazione con il connectivismo di Siemens sottolinea come l'apprendimento mediato da reti

digitali ridefinisca le modalità di accesso, elaborazione e condivisione della conoscenza ecologica.

La dimensione della Generative AI Literacy, formalizzata da Zhang e Magerko (2025), fornisce un quadro di competenze essenziali per l'uso responsabile e critico dei sistemi generativi. Questa prospettiva si intreccia con il sottodominio GenAI for Sustainability attraverso la necessità di integrare consapevolezza algoritmica, validità ecologica e responsabilità sociale nell'impiego di strumenti generativi per finalità di sostenibilità. Gli studenti vengono incoraggiati a interrogare gli output algoritmici per verificarne la validità ecologica, identificare assunzioni implicite, valutare rappresentazioni sociali e considerare implicazioni di governance; inoltre, vengono formati a riconoscere queste tensioni, valutando quando l'uso di GenAI sia giustificato da obiettivi educativi e quando rappresenti invece un costo ecologico non sostenibile.

Sul piano pedagogico, il GenAI for Sustainability si traduce in attività che integrano scrittura di scenari, co-costruzione di narrazioni ecologiche, analisi critica di rappresentazioni generate algoritmicamente e progettazione di interventi che combinano dati ambientali reali con capacità generative dei modelli. L'obiettivo formativo consiste nello sviluppo di agency eco-creativa, in cui gli studenti operano come designer di futuri sostenibili, utilizzando strumenti generativi per immaginare, modellare e prototipare transizioni ecologiche eque. La pedagogia critica ricorda che questi strumenti incorporano logiche di potere, rappresentazioni egemoniche e assunzioni culturali che richiedono vigilanza riflessiva e capacità di decostruzione.

3.3 Rubric EcoAI: criteri valutativi per i domini e i sottodomini

3.4 Posizionamento del Framework EcoAI rispetto a GreenComp, DigComp, AI Literacy, UNESCO e OECD

Il Framework EcoAI si colloca in dialogo con i principali dispositivi normativi e pedagogici internazionali sviluppati negli ultimi vent'anni per guidare le politiche educative globali. Lungi dal sovrapporsi a tali strumenti e dal proporre un ulteriore quadro di competenze tra i molti già disponibili, essa opera come struttura integrativa e trasformativa, capace di colmare le discontinuità epistemologiche che caratterizzano i framework esistenti. Mentre GreenComp, DigComp, le linee guida UNESCO sull'etica dell'IA e i princìpi OECD costituiscono riferimenti fondamentali per la costruzione di politiche educative orientate alla sostenibilità e alla cittadinanza digitale, il Framework EcoAI si propone come una "struttura ponte" in grado di articolare relazioni, lacune, tensioni e sinergie tra questi strumenti, unificando ciò che tradizionalmente viene trattato come separato: l'ecologia, la tecnologia e l'onto-epistemologia dell'apprendimento. Il GreenComp (Bianchi et al., 2022) rappresenta attualmente il quadro più maturo per la definizione delle competenze di sostenibilità in Europa, articolato in quattro aree (embracing complexity, futures literacy, values & responsibility, action for sustainability) che delineano la necessità di superare approcci comportamentali per adottare prospettive trasformative e sistemiche. EcoAI condivide la struttura complessa e multilivello di GreenComp, introducendo un'estensione critica: la consapevolezza che la sostenibilità non può essere separata dagli ambienti digitali in cui oggi vengono prese decisioni, formati immaginari e costruite identità. L'assenza di un'analisi sistematica delle infrastrutture digitali, del consumo energetico dei sistemi computazionali, dell'impatto ecologico degli algoritmi e delle piattaforme rappresenta una mancanza strutturale in GreenComp, che EcoAI colma attraverso il dominio "Ecological Understanding of AI". La sostenibilità è un contenuto disciplinare e un orizzonte ecologico-tecnologico: ogni decisione educativa si radica in un ecosistema digitale materiale che ha costi ambientali e dinamiche geopolitiche che devono essere comprese e agite pedagogicamente.

Il dialogo con DigComp (Carretero et al., 2017; Vuorikari et al., 2022) assume una forma analoga ma complementare. DigComp definisce le

competenze digitali dei cittadini europei, includendo elementi fondamentali come information literacy, produzione dei contenuti, sicurezza digitale, problem solving e lifelong learning. EcoAI riconosce l'importanza di DigComp come architettura di base, ma ne supera i limiti epistemologici: la dimensione ecologica e la dimensione ontologica del digitale sono assenti; allo stesso modo, DigComp rimane saldamente ancorato a una visione antropocentrica e strumentale della tecnologia, che non tiene conto della posizione strutturale delle piattaforme come super-nodi che organizzano le condizioni operative delle reti, della loro materialità infrastrutturale, né dei processi di dataficazione che modellano la vita quotidiana. L'integrazione operata da EcoAI consente di trasformare DigComp, riposizionandolo entro una teoria più ampia che oltre ad "usare in modo competente gli strumenti" richiede di comprenderne la materialità, la governance algoritmica e la dimensione ecopolitica.

Ancora più significativa è l'intersezione con i riferimenti etici e politici prodotti da UNESCO e OECD. La *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence* (UNESCO, 2021) rappresenta il primo trattato globale sull'IA che unisce principi etici, diritti umani e dimensioni ambientali. La raccomandazione riconosce esplicitamente il nesso tra IA e sostenibilità, includendo nel principio 14 l'obbligo di considerare impatti climatici, consumo energetico, estrazione di minerali e produzione di e-waste. Tuttavia, per la natura intrinseca del documento esso offre una cornice normativa ma non gli strumenti operativi né modelli curricolari per tradurre tali principi in pratiche educative. È qui che EcoAI introduce valore aggiunto: integra la dimensione normativa con una struttura pedagogica operativa e misurabile, articolata nei cinque domini dell'EcoAI Index.

Analogamente, gli OECD *Principles on Artificial Intelligence* (2019) e il rapporto *AI in Education: A Critical Inquiry* (OECD, 2021) pongono l'attenzione su trasparenza, accountability, sicurezza e benefici sociali dell'IA. Questi strumenti forniscono linee guida di policy, ma non si occupano delle implicazioni ecologiche, né propongono framework educativi che integrino sostenibilità, identità Ecodigitale e pensiero

sistemico. EcoAI si articola precisamente in questo spazio: assume i principi OECD come livello normativo di base e li reinterpreta dentro una grammatica eco-sociale che considera la relazione tra intelligenza artificiale, consumo energetico globale, governance algoritmica, agency ibrida e dimensioni onto-epistemiche dell'apprendimento.

Il posizionamento del Framework EcoAI è dunque duplice: da un lato, si presenta come complemento critico dei principali strumenti esistenti; dall'altro, come cornice teorico-pedagogica di nuova generazione, capace di integrare ciò che i framework presentati mantengono separato. L'elemento più distintivo è la capacità di riconoscere l'intelligenza artificiale come parte integrante dei sistemi ecologici attraverso cui si forma la cittadinanza contemporanea, e non solo come strumento didattico. Con GreenComp condivide la visione trasformativa; con DigComp dialoga criticamente sulla dimensione tecnica; con UNESCO e OECD si confronta sugli aspetti etici e normativi. È su questa base che l'EcoAI Index viene presentato nella sezione successiva come strumento di operativizzazione empirica del framework.

3.5 EcoAI Index: uno strumento di indagine

Prima di descrivere le cinque dimensioni operative, è necessario posizionare epistemologicamente la natura dello strumento, perché da questo posizionamento dipende la lettura coerente di tutte le scelte metodologiche successive. L'EcoAI Index non è concepito come misura di tratti psicologici individuali stabili, né come dispositivo diagnostico del profilo competenziale del singolo studente. La sua funzione originaria, coerente con il quadro teorico del Postumanesimo Ecodigitale, è quella di uno strumento di monitoraggio sistemico-relazionale: una rilevazione periodica dello stato di un processo educativo collettivo, in cui l'unità di analisi reale l'unità di analisi reale è la classe come campo di intra-azione, non lo studente come soggetto autonomo e, in prospettiva, il sistema scolastico come campo di intervento. In termini latouriani, l'EcoAI Index funziona come dispositivo di iscrizione (Latour, 1987) che stabilizza in

forma comparabile configurazioni relazionali altrimenti fluide e non rilevabili: non fotografa competenze che pre-esistono alla misura, ma produce tagli analitici attraverso i quali il campo educativo diventa visibile e confrontabile nel tempo. Questa distinzione non ridimensiona il valore psicometrico dello strumento, la cui validazione attraverso CFA e SEM è necessaria proprio per garantire la comparabilità e l'affidabilità delle rilevazioni, ma ne riposiziona la funzione interpretativa: i dati individuali sono il veicolo tecnico attraverso cui si accede a pattern collettivi, non l'oggetto primario dell'analisi. In questa prospettiva, la coerenza tra framework postumano e strumento psicometrico non è una contraddizione da giustificare ma una scelta metodologica esplicita, che segue la logica baraddiana per cui ogni apparato di misurazione partecipa all'intra-azione che rende visibile (Barad, 2007): lo strumento non rileva un campo preesistente, ma collabora alla sua produzione analitica in condizioni controllate e documentate.

L'EcoAI Index rappresenta, quindi, la formalizzazione empirica del Framework EcoAI, traducendo la sua architettura teorica multidimensionale in un dispositivo valutativo coerente, validabile e comparabile. La sua funzione è di rendere osservabile il modo in cui gli studenti articolano conoscenze, valori, pratiche e forme di agency in relazione simultanea alla sostenibilità ecologica e alla presenza pervasiva dell'intelligenza artificiale nei contesti educativi, sociali e mediali.

Il valore pedagogico e scientifico dell'EcoAI Index risiede nella sua capacità di colmare un vuoto evidente nella letteratura esistente. Gli strumenti internazionali oggi disponibili, pur rappresentando riferimenti essenziali per l'educazione alla sostenibilità o alla cittadinanza digitale, non propongono un modello integrato capace di includere in un'unica architettura sistemica: competenze ecologiche, comprensione dell'AI, literacies mediali, responsabilità algoritmica e forme di agency Ecodigitale ibrida. Le scale di ecoliteracy più diffuse, come il *Middle School Environmental Literacy Survey* (McBeth & Volk, 2009) o il *PILA, Perceived Impact of Learning About Environmental Issues* (Erdogan,

2015), operano prevalentemente sulla dimensione cognitiva e motivazionale, mancando un aggancio strutturale alla digitalità contemporanea. Allo stesso modo, strumenti come il *OECD Digital Literacy Framework* o il *DigComp 2.2* (Vuorikari et al., 2022) non considerano in modo esplicito la relazione tra digitalizzazione, ecologia politica delle piattaforme e giustizia ambientale, mentre le scale di AI literacy emergenti (Long & Magerko, 2020; Ng et al., 2021) tendono a farsi carico esclusivamente degli aspetti tecnico-cognitivi dell'AI, lasciando ai margini gli impatti ecologici della macchina algoritmica.

In questo panorama frammentato, l'EcoAI Index introduce una prospettiva radicalmente nuova, mettendo in relazione il pensiero sistemico con la comprensione critica dell'AI, i valori eco-civici con la agency digitale e la postuman ecology con le dinamiche educative.

Come accennato precedentemente, l'EcoAI Index è un indice composito standardizzato, costruito a partire da un lungo processo di iterazione teorica verso cinque dimensioni latenti validate empiricamente:

- **INFO** - Informational Ecodigital Literacy
- **AATI** - AI Awareness & Trust Index
- **VAL** - Valori eco-civici
- **AGY** - Agency Ecodigitale
- **EPAS** - Eco-Posthuman Agency Scale

Ciascuna dimensione D_i viene preliminarmente standardizzata (z-score) per garantire confrontabilità:

$$Z_{D_i} = \frac{D_i - \mu_{D_i}}{\sigma_{D_i}}$$

dove: μ_{D_i}= media della dimensione e σ_{D_i}= deviazione standard della dimensione. Per il calcolo finale dell'EcoAI Index in forma base e pesi uguali verrà usata la formula:

$$\text{EcoAI Index} = \frac{Z_{INFO} + Z_{AATI} + Z_{VAL} + Z_{AGY} + Z_{EPAS}}{5}$$

Le prime tre dimensioni (INFO, AATI, VAL) sono state inizialmente individuate attraverso l'indagine esplorativa condotta con la prima somministrazione del questionario conoscitivo (n=403), da cui sono emersi pattern non solo empirici ma concettualmente rilevanti: la centralità dell'informazione Ecodigitale, la necessità di comprendere rischi e potenzialità dell'AI e la rilevanza dei valori eco-civici per spiegare atteggiamenti e comportamenti degli studenti.

La seconda somministrazione, costruita attraverso un processo sistematico di operazionalizzazione (Sartori, 1984; Ricolfi, 1997), ha permesso di testare e confermare la struttura a cinque fattori del modello, includendo anche le due dimensioni più avanzate e filosoficamente dense: AGY (agency civica Ecodigitale) ed EPAS (eco-posthuman agency). Quest'ultima, in particolare, rappresenta l'elemento più innovativo dell'indice, traducendo in forma empirica il nucleo ontologico del Framework EcoAI, ossia la possibilità di concepire la cittadinanza quale forma di intra-azione Ecodigitale distribuita, in linea con le teorie relazionali di Barad (2007), Haraway (2016), Braidotti (2019) e Morton (2013).

Metodologicamente, l'EcoAI Index adotta il paradigma della misurazione negli studi educativi e sociologici contemporanei, basandosi su dati ordinali, correlazioni policoriche e stimatore WLSMV (Muthén & Muthén, 1998 - 2017). La scelta di strutturare tutte le dimensioni su item Likert a cinque punti risponde sia a esigenze epistemologiche legate alla valutazione di costrutti complessi, sia alla necessità di contenere il carico cognitivo per studenti adolescenti, come suggerito dalla *Tailored Design Method* (Dillman et al., 2014). L'applicazione della CFA unifattoriale e multifattoriale, del test di invarianza per genere e coorte, nonché della SEM finale che modella le relazioni tra le cinque dimensioni, colloca l'indice nel solco delle buone pratiche internazionali per lo sviluppo di strumenti educativi complessi (Byrne, 2012; Brown, 2015; Kline, 2016).

Dal punto di vista applicativo, l'EcoAI Index si distingue per la sua duplice funzione: diagnostica e progettuale. In chiave diagnostica, consente di rilevare la distribuzione collettiva dell'alfabetizzazione Ecodigitale in un dato contesto scolastico, di identificare pattern di disallineamento tra valori dichiarati e orientamenti agiti, di intercettare aree critiche a livello di istituto o di coorte. In chiave progettuale, l'indice fornisce un supporto concreto a insegnanti, ricercatori e policy maker, permettendo di sviluppare interventi educativi mirati e di valutare l'impatto di percorsi didattici innovativi, come i moduli di realtà aumentata ecologica, le esperienze di citizen science digitale, gli audit algoritmici scolastici e i laboratori di ecomedialità partecipativa.

L'obiettivo dell'EcoAI Index non è confinato alla sfera accademica ma tende ad essere un dispositivo di governance educativa capace di informare politiche scolastiche, linee guida nazionali sull'AI in educazione e protocolli per la formazione docenti. Grazie all'allineamento con i framework internazionali (GreenComp, EC, 2022; DigComp, Vuorikari et al., 2022; UNESCO *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*, 2021; OECD *AI Principles*, 2019) l'indice può essere utilizzato anche come strumento di comparazione internazionale e di trasferibilità curricolare, consentendo analisi su larga scala e adattamenti nei diversi contesti educativi.

Infine, la scelta di sviluppare l'EcoAI Index attraverso due fasi complementari (una prima esplorativa, necessaria a individuare i nuclei concettuali emergenti nelle percezioni studentesche, e una seconda confermativa, centrata sulla validazione strutturale del modello) garantisce la solidità metodologica e la coerenza epistemica dello strumento. La sua costruzione riflette pienamente la logica dell'intero Framework EcoAI, in cui la teoria incorpora la pratica, la trasforma e ne viene a sua volta trasformata.

Trasferibilità e governance educativa

L'EcoAI Index dimostra una forte adattabilità a contesti educativi eterogenei e può essere integrato in modo trasversale nella governance scolastica a diversi livelli. La sua architettura multidimensionale, basata su domini concettuali allineati alle principali cornici internazionali, GreenComp, DigComp, le raccomandazioni UNESCO e i principi OCSE, permette un utilizzo flessibile sia come strumento diagnostico sia come dispositivo progettuale. Dal punto di vista istituzionale, l'indice può supportare la definizione di competenze chiave nei curricoli scolastici, contribuendo alla costruzione di percorsi educativi coerenti con l'Agenda 2030 e con il target 4.7 sullo sviluppo sostenibile. Nella prospettiva della governance algoritmica emergente, l'EcoAI Index aiuta a individuare lacune formative, ad analizzare la vulnerabilità degli studenti rispetto alla disinformazione e ai bias della piattaformizzazione, e a progettare interventi educativi mirati per rafforzare agency, consapevolezza critica e responsabilità ecologica. La sua trasferibilità risulta inoltre facilitata dalla struttura modulare dei cinque domini, che consente adattamenti localizzati senza tradire la coerenza teorica del framework, offrendo così alle scuole una metrica versatile e culturalmente sensibile per interpretare le trasformazioni ecodigitali in corso.

3.5.1 INFO: Alfabetizzazione informativa Ecodigitale

La La dimensione **INFO** dell'EcoAI Index rappresenta il primo pilastro operativo del modello ed è concepita per misurare la capacità degli studenti di orientarsi, valutare criticamente e utilizzare informazioni digitali relative a sostenibilità, ambiente, diritti e intelligenza artificiale. Si tratta di una competenza che assume un ruolo fondativo nella struttura di EcoAI, poiché costituisce la condizione cognitiva e socio-tecnica su cui si innestano le altre dimensioni del framework: senza una solida alfabetizzazione informativa Ecodigitale, l'agency civica (AGY), la costruzione valoriale ecosistemica (VAL), la consapevolezza e fiducia nell'IA (AATI) e, soprattutto, l'eco-posthuman agency (EPAS) rischiano di disporsi su basi fragili, rese instabili

dalla vulnerabilità dei soggetti alla disinformazione, alle logiche di piattaforma e alle dinamiche algoritmiche.

La centralità epistemologica di INFO deriva dal fatto che il Framework EcoAI interpreta gli ecosistemi digitali come ambienti ecologici a tutti gli effetti, caratterizzati da flussi informativi, interdipendenze, feedback e punti di rottura simili a quelli dei sistemi naturali. La capacità di riconoscere attendibilità, affidabilità e tracciabilità delle informazioni, di confrontare fonti divergenti e di comprendere la materialità e la politicità dei dati digitali è dunque parte costitutiva della cittadinanza Ecodigitale. In questa prospettiva, INFO non si limita a rilevare competenze di ricerca o valutazione di notizie, configurandosi anche come un indicatore complesso di *ecological information literacy*, integrando le intuizioni dell'ecoliteracy classica con le sfide della dataficazione contemporanea.

Dal punto di vista operativo, la dimensione INFO è stata costruita a partire da un lavoro empirico in due fasi. La prima indagine esplorativa (Ciclo 1) ha consentito di identificare pattern preliminari nelle modalità con cui gli studenti italiani delle scuole secondarie ricercano, verificano e utilizzano informazioni su temi ambientali e sociali attraverso internet, social media e strumenti di intelligenza artificiale generativa. La seconda indagine (Ciclo 2), progettata come survey confermativa, ha invece formalizzato gli item della dimensione in modo coerente con il Framework EcoAI, permettendo la validazione fattoriale mediante correlazioni policoriche e stimatore WLSMV. La costruzione degli item è stata inoltre guidata da riferimenti metodologici consolidati nella letteratura internazionale, tra cui la *Digital Civic Engagement Scale* (DCE; Shah et al., 2019), il *Media Literacy Index* (Hobbs, 2017), i cluster del *GreenComp* dedicati alla valutazione critica dell'informazione, e l'*AI Literacy Questionnaire* (AILQ; Ng et al., 2021) per gli aspetti relativi all'uso dell'IA generativa come strumento di informazione.

La dimensione INFO intende quindi misurare un insieme articolato di pratiche e disposizioni: la ricerca autonoma di informazioni attendibili su temi ambientali e sociali, la capacità di confrontare fonti divergenti prima

di formarsi un'opinione, le strategie di verifica della credibilità delle fonti digitali, la partecipazione informativa attraverso la condivisione di contenuti o discussioni, il ricorso a strumenti di IA generativa per documentarsi in modo critico e la percezione del proprio livello di informazione Ecodigitale. Pur toccando elementi presenti in altri strumenti internazionali, nessuno degli indici esistenti integra sistematicamente i tre piani che caratterizzano INFO nel Framework EcoAI: l'ecologia dell'informazione, la sostenibilità e la dimensione algoritmica. Strumenti come MSELS (McBeth & Volk, 2009) misurano la literacy ambientale ma non considerano il ruolo dei media digitali; il PILA (OECD, 2019) rileva competenze di agency politica ma non integra la sostenibilità; DigComp 2.2 esplora la literacy digitale senza includere impatti ecologici o IA; l'AI Literacy Questionnaire affronta l'IA, ma non la dimensione ecologica. INFO rappresenta quindi uno strumento originale nel panorama internazionale, capace di colmare il divario tra alfabetizzazione informativa, educazione alla sostenibilità e comprensione critica della piattaformizzazione e dell'AI.

L'utilità di questa dimensione è duplice. Da un lato, permette di mappare con precisione il grado di preparazione degli studenti alle sfide della cittadinanza Ecodigitale, identificando vulnerabilità alla disinformazione climatica, ai bias algoritmici e alle dinamiche delle filter bubble. Dall'altro, costituisce un indicatore predittivo all'interno dei modelli SEM di EcoAI, con INFO che si configura consistentemente come antecedente di VAL e AGY. Questo rende la dimensione un elemento strategico sia per la misurazione sia per la progettazione curricolare e per la governance scolastica: intervenire su INFO significa migliorare le condizioni cognitive e affettive che sostengono l'adozione di valori ecologici e l'esercizio di agency civica negli ambienti digitali contemporanei.

Le Rubric dell'EcoAI Index: INFO (Alfabetizzazione informativa Ecodigitale)

La valutazione della dimensione **INFO** richiede una rubric capace di cogliere non solo abilità tecniche di ricerca e verifica delle informazioni, ma soprattutto la competenza ecologica e critica che consente agli studenti di

orientarsi nei flussi informativi ecodigitali. INFO, in quanto fondamento dell'EcoAI Index, misura la capacità di riconoscere qualità, attendibilità, implicazioni e materialità delle informazioni su sostenibilità, ambiente, IA e diritti digitali. La rubric sottostante definisce quattro livelli progressivi, Base, Intermedio, Avanzato, Autonomo-Critico, che rappresentano la maturazione cognitiva e socio-tecnica degli studenti all'interno degli ecosistemi informativi contemporanei.

Livello 1, Base (riconoscimento minimo e dipendenza da fonti algoritmicamente proposte)

A questo livello, lo studente mostra una comprensione frammentaria e prevalentemente superficiale dell'informazione Ecodigitale. Le fonti sono scelte in modo non intenzionale, spesso in base a ciò che appare nel feed algoritmico (YouTube, TikTok, Google Discover), e manca un confronto sistematico tra prospettive differenti. La sostenibilità viene appresa come insieme di slogan o notizie virali, senza riconoscere bias, omissioni o manipolazioni. L'uso dell'IA generativa avviene in modo ingenuo, senza considerare la necessità di verificare l'attendibilità delle risposte. Lo studente non distingue tra opinioni e dati e non è in grado di riconoscere contenuti sponsorizzati, greenwashing o frame emozionali. L'azione informativa è passiva, reattiva e soggetta alle logiche della piattaforma.

Livello 2, Intermedio (selezione ragionata e primi criteri di verifica)

Lo studente comincia a ricercare attivamente informazioni, sebbene in modo ancora discontinuo. Appaiono i primi indicatori di alfabetizzazione informativa: controllo di almeno un elemento (autore, data, fonte), confronto basico tra due articoli, uso di parole chiave appropriate. Emergono strategie rudimentali per individuare disinformazione o semplificazioni eccessive. L'IA generativa viene utilizzata come supporto conoscitivo, ma con qualche consapevolezza dei limiti. La dimensione ecologica dell'informazione è riconosciuta a livello intuitivo: lo studente nota la presenza di temi ambientali ma non considera ancora le implicazioni

materiali delle infrastrutture digitali. L'azione informativa è selettiva ma non ancora sistemica.

Livello 3, Avanzato (valutazione critica e consapevolezza ecologica dell'informazione)

A un livello più maturo, lo studente confronta consapevolmente fonti divergenti, distingue tra informazione primaria e derivata, riconosce frame comunicativi e individua possibili omissioni o distorsioni. Comprende che i sistemi digitali hanno impatti ambientali (energia, acqua, hardware) e che la produzione di dati non è neutra. Applica criteri espliciti per valutare la credibilità delle fonti e utilizza l'IA generativa come strumento dialogico, verificando con cura quanto ottenuto. Mostra capacità di identificare fenomeni come greenwashing, polarizzazione, algoritmi di raccomandazione e scaffolding reputazionale. La ricerca informativa diventa intenzionale, orientata alla qualità e non alla rapidità.

Livello 4, Autonomo-Critico (pensiero sistemico, eco-criticità e agency informativa)

Al livello massimo, lo studente interpreta l'informazione come parte di ecosistemi socio-tecnici complessi. È in grado di riconoscere le interdipendenze tra informazione, potere, ecologia e algoritmi. Ricostruisce genealogie delle fonti, identifica interessi in gioco, analizza la materialità dei media e valuta l'impatto socio-ambientale dei processi informativi. Utilizza l'IA generativa come strumento epistemico avanzato, integrandola con verifiche multiple e consapevolezza delle sue traiettorie di addestramento. Partecipa attivamente alla produzione e condivisione critica di informazione Ecodigitale, contribuendo a pratiche di cittadinanza informativa responsabile. In questo livello emerge pienamente la logica dell'EcoAI Framework: l'informazione non è un oggetto, ma un ambiente in cui esercitare agency critica, ecologica e relazionale.

3.5.2 AATI: Consapevolezza e Fiducia nell'Intelligenza Artificiale

La dimensione **AATI (AI Awareness & Trust Index)** costituisce uno dei nuclei analitici centrali dell'EcoAI Index, poiché intercetta la capacità degli studenti di comprendere cosa sia l'intelligenza artificiale, come funzioni, quali limiti e potenzialità presenti e quali implicazioni socio-ecologiche comportino i suoi utilizzi quotidiani. Se INFO misura la competenza nell'ambiente informativo, AATI valuta la capacità di muoversi criticamente nei sistemi algoritmici, riconoscendone infrastrutture, modelli, bias, vincoli e razionalità operative.

Dal punto di vista teorico, AATI nasce dall'intersezione tra **AI literacy** (Long & Magerko, 2020), algorithmic literacy (Cotter & Reisdorf, 2020) e public understanding of AI (Dignum, 2019), con integrazioni provenienti dagli studi sui rischi socio-politici dell'automazione (O'Neil, 2016) e dalla teoria critica dell'IA (Broussard, 2018; Crawford, 2021). Nel contesto EcoAI, tuttavia, questa dimensione assume un carattere specifico: include pienamente anche la materialità ecologica dei sistemi d'IA, cioè la consapevolezza che modelli linguistici, sistemi di visione artificiale e algoritmi predittivi sono incorporati in infrastrutture ad alto consumo energetico, con un impatto diretto su acqua, estrazione mineraria ed emissioni (Strubell, Ganesh & McCallum, 2019; Patterson et al., 2021; Bender et al., 2021).

La capacità di fidarsi o meno dell'IA, in questo contesto, non è interpretata come atteggiamento psicologico generico (entusiasmo/paura), ma come competenza epistemica: sapere quando l'IA è affidabile, quando non lo è, su quali basi prende decisioni e quali conseguenze comporta il suo utilizzo in ambiti come istruzione, governance, salute, sicurezza o sostenibilità ambientale. Ciò implica comprendere che i sistemi IA sono opachi, probabilistici e contestuali, e che la fiducia deve essere situata, informata e critica.

Questa dimensione è quindi pienamente radicata nelle finalità del Framework EcoAI: formare soggetti capaci di interpretare l'IA come parte degli ecosistemi ecodigitali, superando approcci tecnocentrici o ingenui. AATI dialoga in modo diretto soprattutto con il dominio Ecological

Understanding of AI, dove vengono elaborati temi come infrastrutture digitali, consumo energetico, ingiustizia ambientale e rischi sociopolitici associati ai sistemi algoritmici; con il dominio Identity Formation, poiché la fiducia nell'IA implica sempre anche una forma di posizionamento etico e ontologico.

Dal punto di vista operativo, AATI viene misurato nel questionario della seconda somministrazione EcoAI attraverso item che indagano:
(a) la capacità di riconoscere che cosa sia un algoritmo e come funzioni;
(b) la percezione dei rischi e dei bias;

(c) la consapevolezza del consumo energetico dell'IA;

(d) la fiducia informata (non cieca) in applicazioni scolastiche, quotidiane o civiche dell'IA;

(e) la capacità di valutare l'affidabilità dell'IA in base al contesto d'uso.

Non esiste, nella letteratura internazionale, un indice integrato che misuri simultaneamente *AI literacy*, *algorithmic awareness* e *ecological implications of AI*. L'AILQ (AI Literacy Questionnaire, Ng et al., 2021) misura competenze generali relative all'uso dell'IA; l'Algorithmic Knowledge Scale (Aridor et al., 2023) indaga conoscenze tecniche; l'Algorithmic Awareness Scale (Dogruel, 2021) valuta consapevolezza dei bias; ma nessuno di questi integra la dimensione ecologico-politica centrale nel Framework EcoAI. Questo rende AATI un contributo originale e teoricamente rilevante nel panorama internazionale.

Le Rubric dell'EcoAI Index: AATI (Consapevolezza e Fiducia Critica nell'IA)

La valutazione della dimensione AATI richiede una rubric capace di intercettare la maturazione cognitiva, etica e critica nei confronti dell'intelligenza artificiale. Qui la fiducia non è misurata come atteggiamento emotivo, ma come *competenza epistemica situata*: comprendere quando e perché l'IA è (o non è) affidabile, riconoscendo contemporaneamente il funzionamento tecnico, le implicazioni ecologiche,

i bias strutturali e le logiche politico-infrastrutturali. La progressione dei livelli permette di distinguere tra un uso ingenuo dell'IA, un uso strumentale, un uso critico e infine un uso riflessivo e responsabile.

Livello 1, Base (percezione ingenua e antropomorfizzante dell'IA)

Lo studente mostra una visione semplificata dell'intelligenza artificiale, spesso descritta come "intelligente", "neutrale" o dotata di intenzionalità. Non distingue tra algoritmi deterministici e modelli probabilistici e tende ad attribuire all'IA capacità autonome che essa non possiede. Non riconosce né la materialità delle infrastrutture né i rischi di bias, sorveglianza o disinformazione algoritmica. La fiducia è binaria: totale o nulla, spesso basata su narrazioni mediali. L'uso degli strumenti IA è passivo, senza controllo delle fonti, dei dati o delle logiche di funzionamento.

Livello 2, Intermedio (comprensione funzionale e primi indicatori critici)

A questo livello, lo studente inizia a distinguere tra diverse tipologie di IA (generativa, predittiva, classificatoria) e riconosce che gli algoritmi funzionano attraverso dati di addestramento e pattern statistici. Comprende in modo rudimentale che l'IA può commettere errori, ma non sa ancora valutare in quali contesti la sua affidabilità sia più o meno elevata. La dimensione ecologica dell'IA è presente ma superficiale: lo studente è consapevole che i modelli consumano energia, ma non sa collocare questo consumo nel quadro più ampio delle crisi ambientali. La fiducia è parzialmente situata, ma non del tutto consapevole.

Livello 3, Avanzato (fiducia situata, consapevolezza dei bias e delle implicazioni ecologiche)

Lo studente valuta l'affidabilità dell'IA in base al contesto: distingue tra compiti ad alta e bassa tolleranza dell'errore (ad esempio, IA in medicina vs IA per scrittura creativa). Riconosce i bias algoritmici, le discriminazioni sistemiche e i limiti dei dati, comprendendo che l'IA riflette le condizioni sociali ed ecologiche del mondo in cui viene addestrata. Comprende la materialità dell'IA (consumo energetico, sfruttamento minerario, acqua) e

la integra nelle sue valutazioni. Utilizza strumenti generativi con consapevolezza, verificando i risultati e mantenendo agency sul processo cognitivo. La fiducia è critica, argomentata e contestualizzata.

Livello 4, Autonomo-Critico (competenza epistemica completa e agency Ecodigitale)

Al livello massimo, lo studente interpreta l'IA come attore ecologico, politico e infrastrutturale. Riconosce le logiche economiche, geopolitiche e normative che modellano lo sviluppo dei sistemi IA e analizza le conseguenze di lungo periodo sulle comunità, sugli ecosistemi e sulla qualità democratica delle istituzioni. Comprende in profondità la natura probabilistica dei modelli e sa decodificare i limiti dell'IA in relazione ai dati, al consumo energetico, ai rischi di sorveglianza e ai processi decisionali automatizzati. La fiducia diventa *responsabile*, sempre accompagnata da verifica, posizionamento etico e valutazione delle alternative. Questo livello incarna pienamente l'obiettivo del Framework EcoAI: non solo comprendere l'IA, ma esercitare agency Ecodigitale all'interno dei suoi ecosistemi.

3.5.3 VAL: Valori eco-civici e responsabilità ambientale

La dimensione VAL (Eco-Civic Values & Environmental Responsibility) dell'EcoAI Index misura l'orientamento valoriale degli studenti rispetto alla sostenibilità, all'ecologia e alla partecipazione civica ecologico-digitale. Si tratta della componente più profondamente formativa e trasformativa dell'intero framework, poiché intercetta non solo ciò che gli studenti *sanno* o *fanno*, ma ciò in cui *credono*, ciò che considerano giusto e ciò che ritengono di dover proteggere e trasformare nel mondo in cui vivono.

Dal punto di vista teorico, VAL raccoglie l'eredità dell'ecoliteracy civica (Orr, 1992/2004; Capra, 1996; Sterling, 2003) e la integra con la tradizione della cittadinanza ecologica (Dobson, 2003; Barry, 1999) e con le forme emergenti di ecodigital civic agency che caratterizzano le società contemporanee. In questa prospettiva, i valori eco-civici emergono

dall'intra-azione tra studenti, tecnologie, media, istituzioni e ambienti (Barad, 2007; Haraway, 2016). La responsabilità si configura come caratteristica immanente del coinvolgimento sistemico, distribuita asimmetricamente tra nodi e super-nodi in funzione dell'accesso differenziale alle infrastrutture.

Nel contesto dell'EcoAI Framework, la dimensione VAL occupa una posizione strategica: costituisce il ponte tra i domini cognitivi (Systems Understanding, Ecological Understanding of AI) e quelli agentivi (Tool-Based Learning, Identity Formation). Senza valori orientati alla sostenibilità, la conoscenza rimane sterile; senza agency Ecodigitale, i valori restano aspirazioni astratte. È la dimensione che mostra se gli apprendimenti sistemici e tecnici conducono a trasformazioni etiche e civiche, come richiesto dall'SDG 4.7 dell'Agenda 2030, dal GreenComp europeo (JRC, 2022) e dalle prospettive pedagogiche critiche.

Il questionario EcoAI misura VAL attraverso item che indagano:
(a) l'importanza attribuita alla sostenibilità ambientale e sociale;
(b) il senso di responsabilità verso le generazioni future;
(c) la percezione dell'interconnessione tra scelte individuali e sistemi ecodigitali;
(d) atteggiamenti verso la giustizia climatica e l'equità ambientale;
(e) la propensione a comportamenti civici eco-orientati, sia offline sia negli spazi digitali.

La letteratura internazionale offre numerosi strumenti per la valutazione di valori e atteggiamenti ambientali (tra questi il New Ecological Paradigm, NEP, Dunlap et al., 2000; il Connectedness to Nature Scale, Mayer & Frantz, 2004; e indici di cittadinanza ecologica, Dobson, 2003) ma nessuno integra dimensioni civiche e digitali in chiave eco-postumana. Le scale sulla sostenibilità presenti in GreenComp e OECD PISA Global Competence includono valori, ma non dialogano con le tecnologie digitali, l'IA, o la giustizia Ecodigitale. In questo senso, VAL rappresenta un contributo innovativo: un ponte tra ecologia, etica digitale e cittadinanza critica.

Nel Framework EcoAI, questa dimensione dialoga direttamente con il dominio Identity Formation, poiché i valori sono considerati parte integrante della costruzione di identità ecodigitali; e con il dominio Systems Understanding, perché i valori derivano dalla comprensione delle interdipendenze. Le implicazioni educative sono profonde: coltivare valori eco-civici significa formare soggetti capaci di immaginare futuri sostenibili (Futures Literacy, Miller 2018), di riconoscere responsabilità planetarie e di posizionarsi eticamente all'interno degli ecosistemi socio-tecnici.

Le Rubric dell'EcoAI Index: VAL (Valori eco-civici e responsabilità ambientale)

La rubric VAL valuta il grado di interiorizzazione e trasformazione dei valori eco-civici nello studente. Non si limita a rilevare atteggiamenti ecologici generici, ma mira a misurare la maturazione etica ed ecosistemica all'interno di ambienti ecodigitali. I livelli descrivono il passaggio da una percezione superficiale della sostenibilità a una forma complessa di responsabilità ecologica e civica, radicata nelle relazioni tra umani, tecnologie e ambienti.

Livello 1, Base (valori ecologici superficiali e prescrittivi)

Lo studente riconosce l'importanza generale della sostenibilità, ma in modo vago, prescrittivo o normativo ("fare la raccolta differenziata", "non inquinare"). Collega i problemi ambientali solo a comportamenti individuali, senza cogliere dimensioni sistemiche, politiche o tecnologiche. L'idea di responsabilità è percepita come obbligo morale, non come processo relazionale o collettivo. L'impegno civico è assente o limitato a gesti simbolici. Manca consapevolezza del legame tra ecologia e sistemi digitali.

Livello 2, Intermedio (valori interiorizzati, ma ancora individualizzati)

Inizia a emergere una comprensione più articolata dei problemi ecologici, riconosciuti come fenomeni complessi che coinvolgono società, economia e istituzioni. Lo studente mostra sensibilità verso temi come giustizia

climatica, consumo responsabile, equità intergenerazionale. Tuttavia, la responsabilità è ancora concepita prevalentemente come scelta individuale, non come processo distribuito nelle infrastrutture socio-tecniche. L'impegno civico digitale è presente, ma intermittente e non ancora critico.

Livello 3, Avanzato (valori eco-civici complessi e senso di responsabilità situata)

Lo studente comprende le interdipendenze tra sistemi ecologici, sociali e tecnologici, riconoscendo che la sostenibilità richiede trasformazioni collettive e istituzionali. La responsabilità è intesa come capacità di vedere il proprio ruolo all'interno di sistemi più ampi, con attenzione agli impatti delle tecnologie digitali e dell'IA sulle crisi ambientali. L'impegno civico è costante, situato e informato. Lo studente mobilita i valori per orientare scelte, partecipazioni e comportamenti, sia offline sia online.

Livello 4, Autonomo-Critico (responsabilità ecosistemica e immaginazione civica)

Il livello più alto è caratterizzato da una visione profondamente relazionale della responsabilità: lo studente riconosce che le proprie azioni sono intrecciate con quelle di umani, non-umani, istituzioni, piattaforme e infrastrutture. I valori eco-civici diventano principi guida per la progettazione di futuri sostenibili. L'identità Ecodigitale è pienamente sviluppata. L'impegno civico include forme di partecipazione trasformativa, advocacy, citizen science e progettazione etica dell'ecosistema digitale. Lo studente collega sistematicamente ecologia, tecnologia, etica e politica, incarnando pienamente gli obiettivi dell'EcoAI Framework.

3.5.4 AGY: Agency civica Ecodigitale

La dimensione **AGY (Ecodigital Civic Agency)** dell'EcoAI Index rappresenta il nucleo operativo della cittadinanza Ecodigitale. Essa misura la capacità degli studenti di esercitare un'azione informata, responsabile e trasformativa nei contesti civici contemporanei, caratterizzati da un'elevata

interdipendenza tra ambienti ecologici, sistemi digitali e infrastrutture algoritmiche. AGY non si limita a rilevare l'attivismo online o il livello di partecipazione civica; va oltre, esplorando come le tecnologie digitali, dai social media all'intelligenza artificiale, co-producono possibilità, limiti e forme emergenti di agency.

Dal punto di vista teorico, AGY si fonda su un lascito significativo della ricerca sociologica e pedagogica. Da un lato, dialoga con il concetto di digital civic engagement e con i lavori pionieristici di Henry Jenkins sulla *participatory culture* (Jenkins et al., 2009), ma li supera integrando la dimensione ecologica e postumana, assente nella letteratura tradizionale. Dall'altro, raccoglie l'eredità degli studi sulla cittadinanza ecologica (Dobson, 2003) e la fonde con le riflessioni sul ruolo delle piattaforme digitali nella partecipazione civica (Zhang & Lin, 2014), introducendo una prospettiva Ecodigitale radicalmente nuova.

Nel Framework EcoAI, La dimensione AGY si collega direttamente al dominio Tool-Based Learning del Framework, operazionalizzando la capacità di utilizzare strumenti digitali e IA per agency civica ed ecologica e al dominio Identity Formation. Se Systems Understanding e VAL elaborano il "perché" dell'azione e AATI definisce la modalità critica di interazione con l'IA, AGY rappresenta il "come": il passaggio dalla consapevolezza alla capacità di intervenire negli ecosistemi ecodigitali, riconoscendo le relazioni tra dati, algoritmi, piattaforme e decisioni pubbliche.

Gli item del questionario EcoAI relativi ad AGY sono stati sviluppati integrando quanto emerso nella prima somministrazione (questionario esplorativo) in cui gli studenti hanno mostrato forme di agency digitalmente mediate ma spesso prive di consapevolezza ecologica; Con la formalizzazione metodologica della seconda somministrazione (EcoAI Survey), che ha permesso di costruire indicatori più raffinati e teoricamente fondati. La misura di AGY include:

- comportamenti civici digitali (commentare, diffondere, discutere temi civici/ambientali)

- partecipazione politica Ecodigitale (petizioni, iniziative scolastiche, mobilitazione online)
- capacità di attivare reti ecodigitali (coordinamento, progettazione, co-creazione)
- uso dell'IA come strumento civico (co-scrittura, fact-checking, visualizzazioni)
- lettura critica dell'infrastruttura mediale (riconoscere la posizione strutturale delle piattaforme come super-nodi, i bias incorporati nei feed, i corporate framings)

La letteratura internazionale offre strumenti parziali, ma nessuno adeguato allo scopo di EcoAI. Ad esempio: il Digital Civic Engagement Scale (Shah et al., 2019) misura partecipazione politica digitale, ma non considera ecologia né IA; l'Online Political Engagement Index (Zúñiga et al., 2018) enfatizza attivismo politico, ignorando la sostenibilità; le scale UNESCO e OECD si concentrano su competenze digitali generali, senza includere l'ecodigital agency; infine, gli strumenti di Environmental Education rilevano agency ambientale, ma esclusivamente offline e senza mediologia.

Ne consegue che AGY costituisce una dimensione originale nella sua integrazione di ecologia, partecipazione civica e azione digitale mediata da IA. Essa risponde all'urgenza sociologica di leggere la cittadinanza contemporanea come ecologia politica, in cui gli atti civici sono distribuiti tra soggetti umani, artefatti tecnologici, dati e piattaforme.

Le Rubric dell'EcoAI Index: AGY (Ecodigital Civic Agency)

La rubric AGY valuta lo sviluppo dell'azione Ecodigitale, considerando la capacità dello studente di intervenire criticamente e trasformativamente negli spazi civici mediati dalle tecnologie digitali. Essa misura non solo l'intenzionalità dell'agire, ma anche la consapevolezza dell'infrastruttura tecnologica che condiziona e orienta le possibilità di agency.

Livello 1, Base (agency reattiva e piattaforma-dipendente)

L’azione civica è sporadica e scarsamente intenzionale. Lo studente interagisce con contenuti ambientali o civici principalmente quando compaiono nei feed algoritmici e non distingue mobilitazione autentica da trend superficiali. La partecipazione si limita a like, condivisioni o consumi passivi. L’IA viene usata senza consapevolezza per operazioni semplici o riproduttive. Manca comprensione delle reti di potere che organizzano l’informazione.

Livello 2, Intermedio (agency situata ma discontinua)

Lo studente partecipa a discussioni, si informa su petizioni, commenta progetti ambientali e utilizza strumenti digitali per informarsi e contribuire. Appaiono forme di riflessività: distingue contenuti informativi da contenuti manipolativi, utilizza l’IA per informarsi o produrre testi semplici. Tuttavia, l’azione civica resta discontinua, spesso individualista e non pienamente contestualizzata all’interno di sistemi ecodigitali complessi.

Livello 3, Avanzato (agency Ecodigitale strategica)

L’azione è intenzionale, coerente e informata. Lo studente utilizza piattaforme e strumenti di IA per partecipare a progetti civici, coordinare attività, produrre contenuti informativi, verificare dati, collaborare con altri. Comprende la materialità delle piattaforme e riconosce il ruolo degli algoritmi nelle configurazioni della visibilità pubblica. È capace di orientare l’azione in base a valori eco-civici, adattandola ai contesti sociotecnici.

Livello 4, Autonomo-Critico (agency trasformativa e sistemica)

Lo studente agisce come nodo attivo di ecosistemi civici ecodigitali. Partecipa alla progettazione di campagne, conduce analisi informazionali, utilizza IA generativa e strumenti digitali per amplificare cause ambientali e civiche, valuta rischi e potenzialità delle piattaforme. L’agire è collaborativo, distribuito e orientato a trasformazioni strutturali. È in grado di esercitare advocacy, leadership civica e progettualità eco-sociali, incarnando pienamente l’approccio del Framework EcoAI.

3.5.5 EPAS: Eco-Posthuman Agency

La dimensione **EPAS (Eco-Posthuman Agency)** costituisce la componente ontologica e trasformativa dell'EcoAI Index, quella che rende EcoAI un modello realmente innovativo nel panorama internazionale degli strumenti per misurare competenze ecologico-digitali. EPAS indaga come lo studente concepisce la propria agency all'interno di ecosistemi ibridi composti da umani, tecnologie, dati, ambienti e non-umani. In altre parole, EPAS misura il modo in cui gli individui comprendono di essere *parte* e non esterni osservatori, di reti complesse in cui la soggettività, l'azione e la responsabilità emergono sempre da relazioni.

Questa prospettiva deriva dalla tradizione postumana e relazionale della filosofia contemporanea, in particolare dall'onto-epistemologia agenziale di Karen Barad (2007), dal pensiero simpoietico di Donna Haraway (2016), dal posthuman critical theory di Rosi Braidotti (2013), dal concetto di hyperobjects di Timothy Morton (2013) e dagli studi sulla vital materialism di Jane Bennett (2010). In tutte queste teorie, l'agency non è una proprietà individuale né un attributo antropocentrico, ma un processo distribuito, co-emergente e situato all'interno di assemblaggi sociotecnici ed ecologici.

EPAS traduce questo impianto filosofico in un indicatore empirico e misurabile. L'elemento originale sta proprio qui: non esiste, nella letteratura internazionale, alcun indice educativo che misuri la forma eco-tecno-relazionale dell'agency, né nell'educazione alla sostenibilità, né nell'AI literacy, né nel digital citizenship. Gli strumenti esistenti, come il *Environmental Action Index*, l'*AI Literacy Scale* o le rubriche di *Digital Agency* dell'OECD, considerano separatamente ecologia, tecnologia e partecipazione civica, mentre EPAS le integra in un unico modello teorico e operativo.

Nel Framework EcoAI, EPAS corrisponde al dominio Identity Formation e costituisce la massima espressione della teoria dell'identità postumana Ecodigitale, proposta come impianto filosofico del framework (Rubino, 2025). Essa osserva la soggettività come nodo situato in reti relazionali che

connettono organismi viventi, dispositivi, media, infrastrutture, ecosistemi e sistemi algoritmici, differenziate al loro interno dalla posizione dei super-nodi. Nei questionari EcoAI, la dimensione EPAS si concretizza in item che rilevano:

- la percezione di essere parte di reti più-che-umane;
- il riconoscimento dell'agency dei sistemi tecnologici e degli ambienti naturali;
- la capacità di leggere processi co-produttivi tra umani, IA e ambiente;
- la consapevolezza che l'agency emerge come capacità distribuita e asimmetrica dalla partecipazione relazionale nel sistema Ecodigitale;
- il grado di immaginazione Ecodigitale, cioè la capacità di prefigurare futuri condivisi e simpoietici.

Gli item sono stati sviluppati in due fasi: una fase esplorativa (questionario 1) che ha mostrato come gli studenti percepiscano spesso l'IA come un soggetto autonomo e antropomorfizzato, senza comprenderne il radicamento ecologico e materiale, e una fase confermativa (EcoAI Survey) che ha formalizzato la dimensione EPAS come costrutto latente, poi validato tramite CFA e test di invarianza.

Se INFO, AATI, VAL e AGY descrivono il piano cognitivo, etico e operativo dell'azione Ecodigitale, EPAS rappresenta il livello ontologico, che definisce quale tipo di soggetto emerge dai processi educativi contemporanei. È il ponte concettuale che consente di valutare se gli studenti abbiano sviluppato una forma di consapevolezza post-antropocentrica, in cui la responsabilità, l'agire e la cittadinanza sono distribuiti tra umani e non-umani.

Le Rubric dell'EcoAI Index: EPAS (Eco-Posthuman Agency)

Livello 1, Base (soggettività centrata sul sé e agency antropocentrica)

La percezione del proprio agire è individualista e antropocentrica. Lo studente considera le tecnologie come strumenti neutri e l'ambiente come sfondo delle attività umane. Le reti sociotecniche rimangono invisibili, così

come la materialità ecologica dell'IA. Manca la comprensione dei processi co-produttivi tra umani e non-umani.

Livello 2, Intermedio (riconoscimento parziale delle relazioni ecodigitali)

Lo studente inizia a riconoscere che le tecnologie influenzano decisioni e azioni, ma questa consapevolezza resta superficiale. Emergono intuizioni su interdipendenze ecologiche e digitali, senza cogliere pienamente la natura distribuita dell'agency. La dimensione postumana è percepita ma non interiorizzata.

Livello 3, Avanzato (agency relazionale e distribuita)

Lo studente comprende che la propria agency emerge da relazioni tra fattori ecologici, tecnologici e sociali. È in grado di leggere processi di co-produzione tra IA, ambiente e comportamenti umani. La soggettività è interpretata come nodo di relazioni e non come entità autonoma. Emergono forme mature di responsabilità condivisa.

Livello 4, Autonomo-Critico (eco-posthuman agency matura)

Lo studente agisce secondo una visione pienamente postumana ed ecologica della soggettività. Riconosce l'agency di tecnologie, dati, ecosistemi e non-umani, integrandola in una prospettiva etica e politica complessa. È capace di immaginare futuri ecodigitali simpoietici e di elaborare forme di responsabilità distribuita e multispecie. L'agire civico è orientato a trasformazioni sistemiche.

Capitolo 4 Disegno della ricerca

4.1 Prima somministrazione esplorativa: Domande, ipotesi di ricerca e strumento

4.1.1 Obiettivi e razionale della fase esplorativa

La prima somministrazione del questionario si colloca all'interno della fase esplorativa del disegno di ricerca, concepita con una duplice funzione: sul piano sostantivo, descrivere in modo preliminare rappresentazioni, pratiche e atteggiamenti degli studenti delle scuole secondarie rispetto all'intelligenza artificiale, alla cittadinanza digitale e alla sostenibilità ambientale; sul piano strumentale, testare e calibrare uno strumento di rilevazione in vista della costruzione e validazione del costrutto EcoAI.

Questa impostazione risponde a un'esigenza metodologica coerente con gli approcci di ricerca educativa che considerano le competenze socio-ecologiche e digitali come costrutti multidimensionali emergenti, non immediatamente riducibili a scale standardizzate (Tilbury, 2011; Boeve-de Pauw et al., 2015).

Dal punto di vista teorico, la fase esplorativa è giustificata dall'ipotesi che le pratiche quotidiane di utilizzo di tecnologie basate su IA possano coesistere con livelli eterogenei di consapevolezza critica, agency civica e orientamento valoriale, come suggerito dalle prospettive sull'educazione alla sostenibilità (GreenComp; SDG 4.7) e dagli studi sulla cittadinanza Ecodigitale e post-antropocentrica (Braidotti, 2013; Jickling & Sterling, 2017).

In tale cornice, l'esplorazione empirica non si limita alla verifica di un modello già stabilizzato, ma tenta l'identificazione delle dimensioni salienti che emergono dall'interazione tra alfabetizzazione informativa, percezioni dell'IA e sensibilità ecologica.

In termini operativi, gli obiettivi della fase esplorativa sono:

(1) mappare conoscenze, fonti informative, atteggiamenti e pratiche degli studenti in relazione all'IA e alle questioni ambientali;

(2) individuare pattern preliminari e dimensioni empiriche latenti utili a orientare la definizione delle scale EcoAI;

(3) valutare la coerenza interna e la leggibilità dello strumento, raccogliendo narrazioni discorsive tramite item aperti per l'analisi dei frame valoriali emergenti, in vista della successiva fase confermativa.
In linea con questa impostazione, la prima somministrazione assume una funzione euristica e orientativa piuttosto che di validazione statistica definitiva.
È importante sottolineare che in questa sezione viene presentato esclusivamente il disegno metodologico della fase esplorativa.
I risultati empirici, le distribuzioni osservate e le analisi statistiche derivanti dalla prima somministrazione sono presentati e discussi nel Capitolo 5, Sezioni 5.1-5.3, in modo distinto dalla descrizione del metodo.

4.1.2 Strumento e dataset operativi

Struttura e formato del questionario

Il questionario esplorativo è uno strumento auto-compilato online rivolto a studenti della scuola secondaria di secondo grado, progettato con duplice finalità: (1) mappare rappresentazioni, pratiche e atteggiamenti rispetto all'ambiente, alla cittadinanza digitale e all'intelligenza artificiale; (2) generare una prima base empirica per la formalizzazione operativa del costrutto EcoAI.

Lo strumento comprende sia domande chiuse (scala Likert 5 punti) sia domande aperte. Gli item si articolano in: (a) variabili nominali e dicotomiche; (b) variabili ordinali su scala di importanza e coinvolgimento; (c) batterie Likert cinque punti; (d) item a risposta multipla. Le domande aperte raccolgono narrazioni discorsive su IA, rapporto umani-natura-tecnologia e ruolo dell'educazione civica, utilizzate come supporto esplorativo per la costruzione dell'indicatore EcoAI e l'analisi dei frame valoriali (Fairclough, 2003; Silverman, 2013).

La costruzione ha attinto a: Middle School Environmental Literacy Survey (MSELS) per l'ecoliteracy (McBeth et al., 2011); item Eurobarometro e

OECD/PISA su sostenibilità e cittadinanza; indicazioni UNESCO e Council of Europe per competenze trasversali e digitali.

L'approccio metodologico ha bilanciato la necessità di costruire uno strumento esplorativo funzionale alla successiva validazione (fase confermativa) con l'esigenza di esplorare ambiti teorici ancora poco indagati nel contesto scolastico. L'integrazione di dati quantitativi e qualitativi ha consentito una lettura multifocale utile a orientare la costruzione del costrutto EcoAI nella seconda fase della ricerca.

Inquadramento generale dello strumento

In coerenza con il framework teorico presentato nei capitoli precedenti, lo strumento è stato costruito per intercettare quattro nuclei concettuali principali: ecoliteracy, valori eco-civici, agency Ecodigitale e civica, conoscenze e atteggiamenti verso l'IA.

Gli item sono prevalentemente a risposta chiusa e si articolano in diverse tipologie di variabili: (a) variabili nominali e dicotomiche (es. genere, partecipazione a lezioni di educazione civica, esperienza di educazione ambientale); (b) variabili ordinali su scala di importanza e coinvolgimento; (c) batterie Likert a cinque punti (per niente / un po' / decisamente sì / moltissimo) utilizzate per misurare la rilevanza attribuita a specifici temi e la forza di alcuni atteggiamenti; (d) item a risposta multipla (multi-choice con opzioni combinabili), impiegati per rilevare interessi tematici, contesti formativi e pratiche d'uso delle tecnologie.

Campione e modalità di somministrazione

La prima somministrazione ha coinvolto 403 studenti della scuola secondaria di secondo grado di Ariano Irpino (AV), reclutati mediante campionamento censuario presso due istituti: l'IIS "Giuseppe De Gruttola" (indirizzi tecnico-professionali: alberghiero, chimico-biotecnologico, elettrotecnica, meccatronica, agrario) e l'IISS "Ruggero II" (indirizzi liceali e tecnici: Liceo "G. Dorso" linguistico e artistico; Istituto Tecnico "G. Bruno"

AFM, CAT, sistemi informativi). Il campione è distribuito nelle cinque annualità (I-V classe).

La somministrazione è avvenuta nel periodo marzo-maggio 2025, online tramite Google Moduli in modalità guidata, con presenza del docente e del dottorando per garantire omogeneità di compilazione e supporto interpretativo. Il consenso informato era richiesto come prima domanda obbligatoria del questionario; senza consenso esplicito la compilazione non procedeva. Le autorizzazioni formali sono state gestite dagli istituti scolastici.

Dataset e variabili

Il dataset della fase esplorativa comprende 403 risposte valide, raccolte secondo le modalità descritte nella sezione precedente.

Dopo le operazioni di pulizia, il dataset contiene 48 variabili direttamente rilevate, cui si aggiungono le variabili derivate dalla dicotomizzazione degli item a risposta multipla (argomenti di interesse curricolare e tipologia di lezioni seguite), per un totale di variabili utilizzabili nelle analisi pari a 70, articolate nei seguenti ambiti:

- **Sociodemografiche:** genere, classe
- **Ecoliteracy:** coinvolgimento ambientale, conoscenza percepita, esposizione a educazione ambientale
- **Educazione civica:** partecipazione curricolare, conoscenza Agenda 2030, interessi tematici
- **Percezioni ambientali:** fonti di informazione, valutazione importanza educazione ambientale
- **AI literacy:** conoscenze, usi, atteggiamenti verso IA

Le distribuzioni delle variabili e le statistiche descrittive del campione sono presentate nel Capitolo 5, Sezione 5.1

Costrutti e dimensioni analizzate

Costrutti e dimensioni analizzate

Il questionario esplorativo è stato progettato per mappare le relazioni preliminari tra educazione civica, orientamento ecologico e percezioni dell'intelligenza artificiale, con l'obiettivo di orientare la successiva costruzione delle dimensioni teoriche del Framework EcoAI. A differenza della fase confermativa, in cui le dimensioni sono operazionalizzate attraverso scale strutturate, nella fase esplorativa le variabili sono rilevate in forma più aggregata e descrittiva, funzionali a esplorare pattern emergenti e a verificare la plausibilità empirica di una struttura multidimensionale.

Le principali aree concettuali esplorate sono:

a) Orientamento ecologico e valori eco-civici (antecedente di INFO e VAL)

Un primo blocco di item rileva l'orientamento valoriale degli studenti rispetto ai temi della sostenibilità e della cittadinanza globale. In particolare, una batteria di item chiede di valutare l'importanza attribuita a diversi obiettivi riconducibili all'Agenda 2030 (sconfiggere la povertà, lotta al cambiamento climatico, promuovere società pacifiche, sviluppo economico, urbanizzazione inclusiva). Le risposte, rilevate su scala ordinale a quattro punti, producono un punteggio aggregato di orientamento ecologico (Ecological Orientation Score), utilizzato come indicatore preliminare della dimensione valoriale.

Questa area esplora empiricamente la sovrapposizione concettuale tra conoscenza ecologica e valori eco-civici, che nella fase confermativa verranno distinti in due dimensioni separate: INFO (informational ecodigital literacy) e VAL (valori eco-civici). Nella fase esplorativa, invece, l'orientamento ecologico è trattato come costrutto unitario, in attesa di verifica fattoriale.

b) Interesse civico ed esposizione curricolare (antecedente di AGY)

Un secondo insieme di variabili rileva l'interesse dichiarato per tematiche di educazione civica e l'effettiva partecipazione a percorsi formativi curricolari. Gli studenti indicano se hanno seguito lezioni di educazione civica e selezionano, da liste predefinite, gli argomenti di maggiore interesse (ambiente, parità di genere, cittadinanza digitale, salute, disuguaglianze).

Viene inoltre rilevata la conoscenza dell'Agenda 2030 (variabile dicotomica).

Queste variabili fungono da indicatori preliminari di agency civica, intesa come combinazione di orientamento motivazionale e opportunità strutturali. Nella fase confermativa, tali elementi confluiranno nella dimensione AGY (agency Ecodigitale), misurata attraverso item su propensione all'azione collettiva, iniziativa personale e percezione di efficacia.

c) Pratiche digitali e identità online (antecedente di AATI e indicatori di contesto)

Una sezione significativa del questionario è dedicata alle pratiche digitali: uso di device (smartphone, PC, tablet, visori VR), frequenza d'uso di social media (Instagram, TikTok, Facebook, Twitter, Twitch, YouTube), creazione di contenuti, gestione dell'identità virtuale (aggiornamento status, avatar, pluralità di account). Vengono inoltre rilevati comportamenti legati alla vulnerabilità digitale (esperienze di bullismo online, furto di identità, uso di filtri per modifiche avatar).

Queste variabili forniscono un quadro descrittivo delle ecologie mediali degli studenti e costituiscono il contesto empirico per la successiva costruzione della dimensione AATI (AI literacy e atteggiamenti verso l'IA). Nella fase esplorativa, tuttavia, non vengono ancora rilevati indicatori strutturati su bias algoritmici, consapevolezza della dataficazione o percezione della non-neutralità tecnologica, che saranno introdotti nel questionario confermativo.

d) Percezioni preliminari dell'intelligenza artificiale (antecedente di AATI)

Un nucleo specifico di item esplora la familiarità con l'intelligenza artificiale: conoscenza dichiarata dell'IA (scala ordinale), uso di applicativi basati su IA (ChatGPT, Claude, Copilot, Gemini, Perplexity), atteggiamenti affettivi verso l'IA (impressione, interesse, preoccupazione), percezioni sull'utilità dell'IA generativa a scuola (scala utile-dannoso) e su ambiti applicativi specifici (ricerche, riassunti, produzione testi, tutoring, educazione mediale).

Questi item costituiscono la base empirica per la successiva costruzione della dimensione AATI nella fase confermativa. Tuttavia, nella fase esplorativa la rilevazione è più orientata a valutare familiarità e atteggiamenti generali, senza item dedicati alla comprensione dei meccanismi algoritmici, alla trasparenza tecnologica o alla consapevolezza critica dei limiti dell'IA, che saranno invece operazionalizzati nel secondo questionario. Il questionario esplorativo non mira a validare scale definitive, ma a esplorare la configurazione empirica delle relazioni tra educazione civica, orientamento ecologico e familiarità con l'IA. Le aree concettuali rilevate (orientamento ecologico, interesse civico, pratiche digitali, percezioni IA) funzionano come antecedenti empirici delle dimensioni INFO, VAL, AGY e AATI, che saranno formalizzate nella fase confermativa attraverso item multipli, scale Likert omogenee e procedure di validazione fattoriale.

Nel questionario esplorativo non sono presenti item specificamente progettati per misurare il riconoscimento di bias algoritmici, la percezione della non-neutralità tecnologica o la consapevolezza dei processi di dataficazione. Tali dimensioni vengono invece operazionalizzate nella seconda somministrazione, attraverso item dedicati relativi all'influenza degli algoritmi sui contenuti informativi, all'imparzialità dell'IA, alla trasparenza tecnologica e alla prevenzione delle discriminazioni algoritmiche.

4.1.3 Procedure di analisi della fase esplorativa

La fase esplorativa della ricerca è stata accompagnata da un insieme di procedure di analisi finalizzate a descrivere il dataset, verificare la qualità delle variabili raccolte e preparare il terreno per la successiva fase confermativa. Coerentemente con la natura esplorativa dello studio, tali procedure più che essere orientate alla validazione definitiva del modello EcoAI puntano alla ricognizione delle strutture empiriche emergenti e alla valutazione della fattibilità statistica delle dimensioni teoriche individuate.

Preparazione e gestione del dataset

I dati sono stati raccolti tramite questionario online somministrato mediante Google Moduli, accessibile agli studenti attraverso QR code e compilato in modalità guidata, con la presenza del docente di riferimento e del dottorando durante la somministrazione. Questa procedura ha consentito di ridurre errori di compilazione, chiarire eventuali dubbi interpretativi sugli item e garantire condizioni relativamente omogenee di risposta. Il dataset grezzo è stato esportato in formato compatibile con fogli di calcolo ed è stato inizialmente gestito in Microsoft Excel, dove sono state effettuate operazioni preliminari di controllo (verifica di colonne vuote, coerenza delle etichette, uniformità delle codifiche). Successivamente, i dati sono stati importati e analizzati mediante SPSS v30 e, in parallelo, tramite ambienti di calcolo basati su R e Python, utilizzati per verifiche incrociate, pulizia avanzata e preparazione delle variabili.

Le operazioni di data cleaning hanno incluso: (a) eliminazione di colonne completamente vuote generate dal formato di esportazione; (b) gestione dei valori mancanti; (c) ricodifica di variabili nominali e ordinali; (d) trasformazione di item a risposta multipla in set di variabili dicotomiche, quando necessario per le analisi successive.

Analisi descrittive preliminari

In una prima fase sono state condotte analisi descrittive univariate, volte a esplorare le distribuzioni delle variabili principali (frequenze, percentuali, medie e deviazioni standard, ove applicabile). Tali analisi hanno riguardato sia le variabili di contesto (genere, classe, esposizione a educazione civica e ambientale), sia gli item afferenti alle dimensioni INFO, VAL, AGY e AATI.

Questa fase ha avuto una funzione essenzialmente diagnostica: individuare eventuali sbilanciamenti, ceiling/floor effects, categorie scarsamente popolate o formulazioni di item potenzialmente ambigue, da considerare in vista della raffinazione dello strumento.

Verifica preliminare di affidabilità e coerenza interna

Per i gruppi di item concettualmente affini, sono state condotte analisi preliminari di coerenza interna, utilizzando indicatori di affidabilità quali il coefficiente Cronbach's α. Pur nella consapevolezza dei limiti di tali indici in fase esplorativa e in presenza di scale non ancora stabilizzate, questi test hanno fornito indicazioni utili sulla consistenza delle batterie di item e sulla possibilità di aggregazione in indici provvisori.

I risultati di tali verifiche non sono interpretati come evidenze definitive di affidabilità, ma come segnali orientativi per la selezione, la riformulazione o l'eliminazione di item nella successiva fase confermativa.

Analisi esplorative multivariate

In coerenza con gli obiettivi esplorativi dello studio, sono state inoltre condotte analisi multivariate preliminari, finalizzate a individuare pattern ricorrenti e configurazioni tipiche tra le variabili. In particolare, sono state esplorate analisi di cluster (ad es. k-means) su sottoinsiemi di variabili relative a interessi civici, percezioni ambientali e atteggiamenti verso l'IA, con l'obiettivo di identificare profili emergenti di studenti; inoltre, sono state effettuate analisi di associazione e regressioni preliminari per esplorare relazioni tra dimensioni chiave (ad es. valori eco-civici, coinvolgimento ambientale, familiarità con l'IA), senza finalità inferenziali forti. Queste analisi hanno avuto una funzione euristica e orientativa, contribuendo a informare le scelte metodologiche e teoriche della fase confermativa. Sulla base di queste evidenze, nella seconda fase della ricerca lo strumento è stato raffinato e sottoposto a procedure di validazione più stringenti, descritte nella sezione dedicata alla fase confermativa.

4.2 Fase confermativa: validazione strumento EcoAI Index

4.2.1 Motivazioni teoriche e funzione della seconda somministrazione

La seconda somministrazione rappresenta la prosecuzione logica e metodologicamente fondata del percorso di ricerca avviato con la fase

esplorativa. In linea con la metodologia delle scienze sociali, una prima fase esplorativa consente di individuare dimensioni rilevanti, ipotesi plausibili e configurazioni preliminari dei dati, mentre una fase successiva di tipo confermativo è necessaria per verificarne la coerenza strutturale e la solidità teorica.

Questa impostazione sequenziale (esplorazione, definizione, validazione) è coerente con l'impostazione classica della ricerca sociologica. Marradi sottolinea come il processo di costruzione concettuale proceda attraverso "successive approssimazioni", che richiedono momenti distinti di elaborazione teorica e di verifica empirica (Marradi, 2007). Analogamente, de Vaus distingue tra studi *exploratory* e *confirmatory*, evidenziando come i primi siano funzionali alla chiarificazione concettuale e all'individuazione di pattern preliminari, mentre i secondi risultino indispensabili per il test di modelli teorici strutturati (De Vaus, 2014).

La prima somministrazione ha svolto pienamente questa funzione esplorativa, permettendo di delineare il profilo eco-civico degli studenti e di osservare le prime relazioni tra educazione civica, ecoliteracy e uso delle tecnologie digitali. Come osserva Ricolfi, gli indici preliminari prodotti nelle fasi iniziali della ricerca hanno principalmente una funzione orientativa e richiedono successivi momenti di formalizzazione prima di poter essere considerati costrutti stabili e generalizzabili (Ricolfi, 1997).

A partire da questo insieme di evidenze, si è resa opportuna una fase specificamente orientata alla verifica strutturale delle dimensioni teoriche del Framework EcoAI. Tale passaggio è coerente anche con la prospettiva del postumanesimo Ecodigitale, che interpreta i fenomeni educativi come sistemi relazionali complessi tra umano, tecnologia e ambiente (Braidotti, 2013). In questo quadro, l'identificazione di più componenti interrelate (INFO, VAL, AGY, AATI ed EPAS) richiede una verifica empirica che ne accerti la distinzione e la coerenza interna.

Dal punto di vista metodologico, la confirmatory factor analysis (CFA) rappresenta lo strumento privilegiato per testare modelli teorici complessi

e multidimensionali. Brown individua nella CFA una procedura centrale per la validazione delle strutture latenti e per la valutazione dell'adeguatezza dei modelli di misurazione nelle scienze sociali (Brown, 2015). In modo complementare, la costruzione delle scale nella fase confermativa segue criteri di validità di contenuto e di coerenza concettuale, in linea con l'impostazione di Sartori sul rigore necessario nel passaggio dal concetto all'indicatore (Sartori, 1970).

Le scelte tecniche adottate in questa fase, utilizzo di item multipli per ciascuna dimensione, omogeneità delle scale di risposta, struttura Likert a cinque punti, rispondono inoltre alle indicazioni metodologiche più recenti sulla costruzione e validazione di modelli confermativi nelle scienze sociali (Martire et al. 2023).

In quest'ottica, la seconda somministrazione non sostituisce la prima, ma la completa, fornendo le condizioni necessarie per trasformare il Framework EcoAI in uno strumento empiricamente verificabile.

Questa coerenza non è da intendere come neutralizzazione della tensione epistemologica tra ontologie relazionali e misura scalare, ma come gestione esplicita di quella tensione. Il Framework EcoAI riconosce che qualsiasi strumento di rilevazione empirica in contesti scolastici è necessariamente ancorato al soggetto individuale come vettore tecnico di accesso ai dati, pur avendo come obiettivo analitico primario il monitoraggio di configurazioni collettive e processi sistemici. I dati individuali non sono l'unità teorica di analisi ma il punto di accesso metodologico a pattern relazionali che emergono a livello di classe e di sistema scolastico.

4.2.2 Campione confermativo e procedura

Il campione della fase confermativa è costituito da 199 studenti della scuola secondaria di secondo grado, distribuiti dal primo al quinto anno di corso. La presenza di studenti appartenenti a tutte le annualità del percorso scolastico consente una lettura trasversale delle dimensioni dell'EcoAI Index e permette di considerare, in chiave descrittiva, la possibile influenza

della progressiva esposizione all'educazione civica, ai temi ambientali e alle tecnologie digitali lungo il ciclo di studi.

La distribuzione per classe riflette la struttura tipica degli istituti secondari superiori italiani e non presenta concentrazioni anomale tali da compromettere l'utilizzo del campione per le analisi confermative. Per quanto riguarda il genere, la rilevazione effettuata tramite Google Moduli mostra una prevalenza della componente maschile (65,1%), a fronte del 33,3% di studentesse e di una quota residuale di risposte non specificate (1,6%). Questa distribuzione, pur non compromettendo la validità complessiva delle analisi, viene considerata nelle procedure successive di test di invarianza del modello. Oltre alle variabili sociodemografiche di base, il questionario della fase confermativa include alcuni indicatori di contesto socio-digitale, utili a descrivere il livello di esposizione mediale e formativa del campione. In particolare, sono state rilevate la familiarità dichiarata con l'intelligenza artificiale, il tempo medio trascorso online e il numero di anni di educazione civica frequentati. La familiarità con l'intelligenza artificiale è stata misurata tramite una domanda diretta ("Sai cos'è l'intelligenza artificiale?"), con modalità di risposta ordinali. I dati mostrano che la quasi totalità degli studenti dichiara una conoscenza almeno generale dell'IA. Il tempo medio trascorso online è stato rilevato attraverso categorie ordinali che permettono di stimare la densità dell'esperienza digitale quotidiana degli studenti. La formazione civica è stata descritta attraverso il numero di anni di educazione civica frequentati, trattato come variabile ordinale. A fini descrittivi, sono riportati anche i valori di media e deviazione standard. Nel loro insieme, le variabili presentate in questa sezione forniscono un quadro descrittivo del campione confermativo e delle principali condizioni di contesto entro cui lo strumento EcoAI Index è stato somministrato. Il confronto con il campione della fase esplorativa è mantenuto su un piano esclusivamente descrittivo, al fine di garantire continuità metodologica senza introdurre anticipazioni interpretative. La sezione successiva (4.2.3) è dedicata alla descrizione del processo di selezione degli item e di

costruzione delle scale definitive, illustrando i criteri teorici e tecnici adottati in vista delle analisi di validazione confermativa.

4.2.3 Strumento EcoAI Index: item selection e scale definitive

La costruzione dello strumento EcoAI Index nasce dall'esigenza di tradurre operativamente le cinque dimensioni teoriche del Framework, informazione (INFO), valori (VAL), agency ecologica (AGY), IA literacy (AATI) e consapevolezza eco-postumana (EPAS), in un insieme coerente di item capaci di rappresentarne la struttura latente. Seguendo un approccio teorico-confermativo, ogni dimensione è stata definita attraverso un set di indicatori concettualmente omogenei, derivati dalla letteratura sulla media literacy, sull'educazione civica digitale, sulla sostenibilità e sulle rappresentazioni sociali dell'intelligenza artificiale. Tale operazione si colloca nella prospettiva metodologica delineata da Sartori, secondo cui la misurazione empirica richiede una chiara operazionalizzazione concettuale (Sartori, 1970). In questo senso, la struttura del questionario è stata progettata affinché ogni dimensione teorica fosse associata ad almeno tre o quattro indicatori osservabili, in linea con le buone pratiche di costruzione degli strumenti suggerite da Marradi (1981).

La definizione degli item ha seguito i criteri di validità di contenuto indicati da Ricolfi (1997), garantendo che ciascun indicatore riflettesse in maniera fedele il dominio semantico di riferimento. Gli item sono stati formulati con struttura semplice, univoca e priva di ambiguità semantiche, seguendo le raccomandazioni di Martellini circa la necessità di ridurre la complessità cognitiva nelle survey rivolte a studenti adolescenti (Martellini, 2010, *Le tecniche della ricerca sociale*). Ne deriva un insieme di affermazioni brevi e chiare, ancorate a comportamenti o percezioni dirette, prive di tecnicismi o formulazioni culturalmente sovraccariche.

Dal punto di vista metrico, lo strumento adotta una scala Likert a cinque categorie ordinali, in continuità con la prima somministrazione e con pratiche consolidate negli studi empirici sugli adolescenti (Buzzi, Cavalli &

De Lillo, 2016, *La condizione giovanile in Italia*). Tale formato consente un equilibrio tra granularità informativa e accessibilità cognitiva e risulta compatibile con analisi confermative basate su stime per dati ordinali, fondate su soglie e correlazioni policoriche (Martire, 2021, *Analisi dei dati nelle scienze sociali*, Carocci).

Un accorgimento metodologico specifico ha riguardato la gestione del bias di coorte, riconosciuto come rilevante nelle ricerche educative con studenti collocati in differenti fasi del percorso scolastico. Come evidenziato da Civitillo et al. (2020, *Metodi e tecniche della ricerca sociale*, Carocci), differenze nella maturità cognitiva, nell'esposizione all'educazione civica e nella familiarità con strumenti digitali possono influenzare la comprensione degli item. Per questa ragione, negli item che richiedevano conoscenze avanzate o esperienza diretta con l'IA è stata introdotta l'opzione "non so / non ho esperienza", così da evitare risposte forzate e distinguere tra mancanza di opinione e mancanza di esperienza. In fase analitica, tale opzione è stata trattata come valore mancante definito dall'utente, preservando la coerenza della scala Likert nelle categorie valide.

Struttura del questionario: Costrutti, dimensioni validate e variabili descrittive

Il questionario è stato costruito attorno a quattro macro-dimensioni teoriche, declinate in sottovariabili e indicatori specifici: (1) Ecoliteracy (Capra, 1996; Orr, 1992), intesa come comprensione ecologica cognitiva, affettiva e pratica; (2) Valori eco-civici (VAL), in dialogo con GreenComp (Bianchi et al., 2022) e SDGs (UNESCO, 2020); (3) Agency eco-civica (AGY), ispirata alla letteratura sull'educazione trasformativa e sulla cittadinanza critica (Freire, 1970; Biesta, 2011); (4) AI literacy e atteggiamenti verso l'IA (AATI), con riferimento ai framework di AI literacy (Long & Magerko, 2020; OECD, 2021). A queste si affianca un insieme di indicatori indiretti di bias ed ecologie mediali, utili a esplorare vulnerabilità informative e configurazioni di fiducia/consapevolezza tecnologica (Noble, 2018; Eubanks, 2017).

a) Dimensione Ecoliteracy (INFO)

Il primo blocco di item è dedicato alla rilevazione di conoscenze, sensibilità e pratiche ecologiche, costituendo il nucleo empirico della dimensione INFO. L'ecoliteracy è qui intesa come intreccio di comprensione cognitiva dei problemi ambientali, coinvolgimento affettivo e pratiche quotidiane.

Le principali variabili includono:

Coinvolgimento e conoscenza percepita dei problemi ambientali.

Alcune domande misurano il coinvolgimento soggettivo ("Quanto ti senti coinvolto dai problemi ambientali?") e la conoscenza percepita ("Quanta conoscenza hai della questione ambientale e dei suoi problemi?"). Le modalità di risposta sono ordinate e fungono da indicatori preliminari di engagement affettivo e auto-valutazione cognitiva.

*Percezioni sull'educazione ambientale ed esperienze formative pregresse***.**

Un item chiede di valutare l'importanza dell'educazione ambientale, mentre ulteriori domande rilevano l'eventuale partecipazione a percorsi di educazione all'ambiente e i contesti in cui tali esperienze si sono svolte (scuola, famiglia, auto-apprendimento, gruppi informali). Queste variabili combinano misure dicotomiche e nominali e descrivono l'esposizione formale e informale all'educazione ambientale.

Fonti di informazione sulle questioni ambientali.

Un item indaga le fonti abitualmente utilizzate per informarsi sulle questioni ambientali, includendo fonti istituzionali e digitali (Internet e social media). Le risposte, codificate nominalmente, consentono di derivare indicatori utili a descrivere le configurazioni mediali dell'ecoliteracy.

b) Dimensione Valori eco-civici (VAL)

La dimensione VAL riguarda l'orientamento valoriale degli studenti rispetto ai temi della sostenibilità e della cittadinanza globale. In questa fase esplorativa, i valori eco-civici sono rilevati attraverso una batteria di item

che chiedono di valutare l'importanza attribuita a diversi temi riconducibili agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.

Una serie di item chiede di indicare "quanto sono importanti per te questi temi", riferendosi, tra gli altri, a: sconfiggere la povertà; lotta al cambiamento climatico; promuovere società pacifiche; sviluppo economico; urbanizzazione inclusiva. Le risposte sono rilevate su una scala ordinale a quattro punti (per niente, un po', moltissimo, decisamente sì).

Questi item funzionano come indicatori di valori eco-civici, ma sono al contempo concettualmente intrecciati alla dimensione INFO, poiché la priorità attribuita a tali temi presuppone una forma di consapevolezza ecologica e sistemica. In questa fase esplorativa, la distinzione tra ecoliteracy e valori è mantenuta sul piano analitico, pur riconoscendone la parziale sovrapposizione concettuale.

c) Dimensione Agency eco-civica (AGY)

Un ulteriore gruppo di item esplora aspetti che operano come indicatori preliminari della dimensione AGY. Pur non costituendo ancora una scala formalizzata, tali variabili permettono di descrivere orientamenti motivazionali, opportunità curricolari e iniziative personali connesse alla cittadinanza Ecodigitale.

Interessi tematici in educazione civica.

Gli studenti selezionano, da liste predefinite, gli argomenti di educazione civica di maggiore interesse (es. ambiente e cambiamenti climatici, parità di genere, cittadinanza digitale, salute, disuguaglianze). Le risposte consentono di costruire variabili dicotomiche (interessato/non interessato) come indicatori di orientamento motivazionale.

Partecipazione ed esposizione curricolare.

Il questionario rileva sia la presenza di lezioni di educazione civica, sia le tipologie di contenuti affrontati e la frequenza con cui specifici temi vengono trattati. Queste variabili descrivono le opportunità strutturali offerte dalla scuola per l'esercizio di competenze civiche ed ecodigitali.

Iniziativa personale e auto-apprendimento.

Alcune risposte consentono di individuare indicatori di apprendimento auto-diretto (ad es. educazione ambientale svolta “per conto proprio”), utilizzati come segnali preliminari di agency autonoma.

d) Dimensione AI literacy e atteggiamenti verso l’IA (AATI)

Un nucleo specifico di item è dedicato all’intelligenza artificiale, con l’obiettivo di rilevare in chiave esplorativa conoscenze di base, familiarità d’uso e atteggiamenti affettivi verso l’IA.

Conoscenze e rappresentazioni dell’IA.

Alcuni item chiedono di riconoscere o scegliere definizioni di IA fra diverse alternative. Le risposte, codificate nominalmente, permettono di distinguere tra rappresentazioni più tecniche e concezioni vaghe o scorrette.

Familiarità e uso di strumenti di IA generativa.

Il questionario rileva se gli studenti abbiano già utilizzato strumenti di IA generativa (es. ChatGPT), il livello di familiarità percepita e le finalità scolastiche attribuite a tali strumenti (elaborazione testi, ricerca di informazioni, supporto linguistico, personalizzazione delle attività). Queste variabili consentono di derivare indicatori di esposizione pratica all’IA in ambito educativo.

Atteggiamenti affettivi verso l’IA.

Una serie di affermazioni su scala Likert esplora dimensioni quali interesse, stupore e preoccupazione nei confronti dell’IA. Nella fase esplorativa tali item funzionano come indicatori preliminari di atteggiamento ambivalente e alimentano la successiva costruzione della dimensione AATI.

Sintesi operativa

La struttura del questionario esplorativo riflette la logica del Framework EcoAI: la dimensione INFO cattura conoscenze, pratiche e coinvolgimento ecologico; la dimensione VAL isola l’orientamento valoriale verso la

sostenibilità; la dimensione AGY esplora interessi civici, opportunità curricolari e iniziativa personale; la dimensione AATI riguarda conoscenze, usi e atteggiamenti verso l'IA; gli indicatori indiretti di bias ancorano lo strumento alla riflessione su ecologie mediali e dataficazione dell'educazione.

Come illustrato nella tabella seguente, il questionario comprende 46 item totali, di cui 29 inclusi nel modello CFA (distribuiti nelle 5 dimensioni) e 17 mantenuti come indicatori descrittivi

Dimensione EcoAI	**Variabili / Indicatori principali**	**N. item (≈)**	**Scala / Codifica**	**Riferimento teorico**
INFO - Informational Ecodigital Literacy	Conoscenze ambientali di base; pratiche ecologiche quotidiane; esposizione a contenuti ambientali digitali; coinvolgimento informativo e mediale	8-10	Likert 1-5 (+ "non so / non ho esperienza" ricodificata); item a risposta multipla	Ecoliteracy (Capra; Orr); Media Ecology; Ecomedia Studies
VAL - Valori eco-civici	Orientamento valoriale verso sostenibilità, responsabilità collettiva, giustizia ambientale, tutela del bene comune	5-6	Likert 1-5	GreenComp (EC, 2022); Educazione civica; Etica ecologica
AGY - Agency Ecodigitale	Interesse civico; partecipazione (formale/informale); iniziativa personale; percezione di efficacia; opportunità curricolari	6-8	Likert 1-5; item ordinali	Civic Engagement; Agency relazionale; Postumanesimo Ecodigitale
AATI - AI Awareness & Trust Index	Conoscenza percepita dell'IA; usi dell'IA; atteggiamenti; fiducia; preoccupazioni e rischi percepiti	7-9	Likert 1-5 (+ "non so / non ho esperienza"); risposte multiple	AI Literacy (OECD); UNESCO AI Ethics; Trust in Technology

Dimensione EcoAI	Variabili / Indicatori principali	N. item (≈)	Scala / Codifica	Riferimento teorico
Bias Indicatori indiretti /	Riconoscimento bias algoritmici; percezione neutralità tecnologica; consapevolezza di disinformazione e dataficazione	3-4	Likert 1-5; item scenario-based	Critical Data Studies; Algorithmic Bias; Ecologie mediali

Tabella 1 Sintesi operativa della struttura del questionario esplorativo EcoAI

Nota:
La colonna *"Item inclusi nel modello (CFA)"* indica gli indicatori utilizzati nella validazione confermativa del modello EcoAI Index. Gli *item descrittivi / esterni* sono stati mantenuti nel questionario con funzione esplorativa o contestuale e non sono stati inclusi nella stima dei fattori latenti.

Variabili descrittive:

Pratiche digitali e informazione civica. La sezione sulle pratiche digitali (collocata dopo i dati anagrafici) rileva il comportamento informativo degli studenti in relazione a temi ambientali e sociali: ricerca di notizie attendibili, confronto tra fonti, condivisione di contenuti a scopo di sensibilizzazione e coinvolgimento in iniziative civiche mediate dal digitale. La natura comportamentale di questi item li distingue dalle dimensioni latenti dell'EcoAI Index: essi forniscono indicatori descrittivi del livello di agency informativa quotidiana e possono essere impiegati come variabili esplicative nei modelli successivi.

Percezioni e rappresentazioni dell'intelligenza artificiale. Il blocco centrale raccoglie percezioni soggettive sull'IA: capacità di riconoscere contenuti generati da IA, uso dell'IA per finalità ambientali e sociali, comprensione di meccanismi algoritmici e giudizi etici sull'impatto delle tecnologie. All'interno di questo insieme si colloca la scala AATI (Attitudes toward Artificial Intelligence), trattata come dimensione autonoma nel modello EcoAI. Il questionario include inoltre affermazioni di natura etico-valoriale (ad es. su principi etici, discriminazioni algoritmiche, sostenibilità)

che, pur rilevanti, sono considerate esterne alla struttura teorica dell'EcoAI Index e vengono quindi trattate come indicatori descrittivi.

Agency civica ed Ecodigitale. Un blocco dedicato rileva la capacità di proporre idee per la comunità, il coinvolgimento in iniziative di sostenibilità, la propensione all'azione collettiva e la percezione dell'impatto tramite strumenti digitali. Alcuni item alimentano direttamente la dimensione AGY, mentre altri restano indicatori descrittivi di competenze civiche e motivazionali più ampie.

Rapporto tecnologia-natura-sostenibilità (EPAS). La sezione dedicata alla relazione tra umani, tecnologie e ambiente misura aspetti della dimensione EPAS (Eco-Posthuman Agency), integrando elementi soggettivi relativi alla responsabilità ecologica, alla collaborazione tra sistemi umani e non umani e agli effetti percepiti delle tecnologie sulla relazione con la natura. La presentazione descrittiva di questi item consente di distinguere quelli effettivamente modellizzati nella CFA da quelli mantenuti con funzione esplorativa.

Opinioni sull'IA a scuola. Infine, il questionario raccoglie giudizi sull'utilità dell'IA generativa (in particolare ChatGPT) in ambito scolastico, sia globalmente sia su attività specifiche (ricerca, scrittura, correzione, tutoring, educazione mediale). Queste variabili non rientrano nel modello EcoAI, ma possono essere utilizzate come descrittori del contesto scolastico e, se necessario, come covariate.

Scelte di stima per dati ordinali: policoriche e WLSMV

La scelta di adottare correlazioni policoriche e lo stimatore WLSMV nelle analisi confermative deriva da un'esigenza metodologica discussa nella letteratura sulla psicometria e sull'analisi multivariata di dati ordinali. Come osserva Martire (2021), la costruzione di scale Likert a risposta ordinata richiede metodi coerenti con la natura categoriale dei dati, evitando l'uso improprio di tecniche progettate per variabili continue. Le correlazioni policoriche consentono di stimare relazioni tra variabili ordinali assumendo che esse derivino da variabili latenti continue, fornendo

una rappresentazione più accurata rispetto alla correlazione di Pearson (Jöreskog & Sörbom, 1996; Brown, 2015).

Coerentemente, nelle analisi confermative è stato previsto l'uso dello stimatore minimi quadrati ponderati con media e varianza corrette (WLSMV, *Weighted Least Squares Mean and Variance Adjusted*), particolarmente indicato per CFA e SEM con variabili ordinali, distribuzioni non normali e gestione robusta dei valori mancanti (Muthén & Muthén, 1998-2017). Martire (2021) sottolinea l'adeguatezza di WLSMV in contesti educativi e sociologici con scale ordinali e campioni eterogenei; in modo coerente, studi metodologici raccomandano stimatori robusti per variabili non continue (Flora & Curran, 2004). L'impostazione consente inoltre di trattare le risposte "non so / non ho esperienza" come missing definiti dall'utente, preservando la coerenza del modello.

Preparazione dataset

Dopo la raccolta dei dati, sono state effettuate verifiche dei range di risposta, ispezioni della consistenza interna delle categorie, controlli sulla presenza di valori anomali, ricodifica sistematica degli item invertiti e gestione trasparente dei valori mancanti. Sono stati inoltre monitorati indicatori di asimmetria e curtosi degli item, caratteristiche frequenti nelle scale ordinali, soprattutto nei domini legati all'IA. Sebbene tali proprietà non impediscano l'uso di stimatori robusti per dati ordinali, esse sono state considerate nelle verifiche preliminari per garantire un impianto fattoriale solido.

Verifiche preliminari di fattorizzabilità

Al fine di verificare la fattorizzabilità dei dati raccolti, sono stati previsti controlli preliminari tramite indici di adeguatezza campionaria (Kaiser-Meyer-Olkin) e test di sfericità di Bartlett, in modo da valutare se la struttura delle correlazioni tra item sia sufficientemente compatta per sostenere un modello fattoriale. È stata inoltre esaminata la matrice delle comunalità per valutare la quota di varianza degli item spiegabile da estratti preliminari, utile come indicatore di coerenza prima della modellizzazione.

CFA a cinque fattori: obiettivi e criteri di validazione

L'analisi fattoriale confermativa (CFA) costituisce il passaggio chiave per verificare la struttura teorica a cinque dimensioni del Framework EcoAI. In questa prospettiva, la CFA permette di testare la coerenza tra la mappa teorica (Cap. 2) e la struttura empirica, verificando se gli indicatori siano effettivamente manifestazioni coerenti delle dimensioni latenti (Marradi, 1981; Brown, 2015). In accordo con Martire (2021) e Kline (2015), ogni dimensione è stata associata ad almeno tre o quattro item omogenei, condizione essenziale per la stima di modelli latenti affidabili.

La valutazione del modello si basa sui principali indici di adattamento (fit indices). Seguendo criteri consolidati, la bontà del modello è valutata attraverso CFI, TLI, RMSEA e SRMR; riferimenti metodologici per tali soglie e interpretazioni sono discussi in Byrne (2016).

SEM

L'ultima fase prevede l'applicazione del modello di equazioni strutturali (SEM, *Structural Equation Modeling*), idoneo a rappresentare sistemi complessi in cui più dimensioni interagiscono tra loro. In coerenza con l'impostazione relazionale del Framework EcoAI, il SEM consente di stimare simultaneamente la struttura latente dei fattori e le relazioni tra di essi, valutando ipotesi di associazione e/o mediazione tra INFO, AATI, VAL, AGY ed EPAS (Marradi, 1981; Kline, 2015; Byrne, 2016). Tale approccio permette di passare dalla validazione della misura (CFA) alla valutazione della struttura relazionale del modello (SEM), mantenendo coerenza tra teoria e operazionalizzazione.

4.2.4 Transizione ai Risultati

La seconda somministrazione ha completato il percorso metodologico necessario alla formalizzazione empirica del Framework EcoAI. Attraverso la costruzione strutturata delle scale, la definizione degli indicatori per ciascuna dimensione teorica e la predisposizione delle procedure di analisi confermativa, il framework è stato tradotto in uno strumento empiricamente trattabile. In questa fase sono state poste le condizioni

metodologiche per la verifica della coerenza fattoriale delle dimensioni, per il controllo dell'invarianza tra gruppi e per la successiva applicazione del modello di equazioni strutturali (SEM, *Structural Equation Modeling*), finalizzato alla stima dell'EcoAI Index come sintesi quantitativa del modello.

Completato questo passaggio, la ricerca dispone ora di un impianto analitico coerente per la presentazione dei risultati empirici. Il Capitolo 5 è dedicato ai risultati della fase esplorativa e alla descrizione dei pattern emergenti nelle due somministrazioni, mentre il Capitolo 6 presenta i risultati della fase confermativa, includendo le verifiche di affidabilità, la validazione fattoriale delle dimensioni EcoAI e la stima dell'EcoAI Index. Questa articolazione consente di restituire un quadro multilivello della cittadinanza Ecodigitale degli studenti coinvolti, mantenendo una chiara distinzione tra procedure metodologiche, risultati empirici e interpretazione teorica.

Capitolo 5 Risultati

In questo capitolo vengono presentati in forma organica e sistematica i risultati emersi dalle analisi relative alla prima e alla seconda somministrazione dei questionari EcoAI (fase esplorativa e fase confermativa). L'obiettivo è fornire una mappatura empirica dei profili emergenti nel campione e documentare il processo di validazione dello strumento EcoAI Survey, fino alla stima dell'indice sintetico EcoAI Index.

La struttura del capitolo riflette le principali dimensioni analitiche dell'indagine. Nella prima parte (Sezione 5.1) vengono presentati i risultati della prima somministrazione, con riferimento alle dimensioni di ecoliteracy, agency Ecodigitale e percezioni relative all'intelligenza artificiale, attraverso statistiche descrittive, analisi di correlazione e procedure di clustering.

Nella seconda parte (Sezione 5.2) sono riportati i risultati della fase confermativa: analisi fattoriale confermativa (CFA), test di invarianza, modello di equazioni strutturali (SEM) e costruzione dell'EcoAI Index, seguiti da un confronto sistematico tra le due fasi.

L'impostazione segue le linee guida consolidate per la presentazione di risultati quantitativi in ambito sociologico ed educativo: ogni sezione riporta evidenze empiriche in forma oggettiva, accompagnate da tabelle e figure, evitando interpretazioni teoriche o valutazioni normative, che saranno sviluppate nel Capitolo 6 (Discussione).

5.1 Risultati Survey esplorativa

5.1.1 Caratteristiche del campione e dati di contesto

La prima sezione dei risultati esplorativi presenta una descrizione sistematica delle caratteristiche del campione coinvolto nella prima somministrazione del questionario EcoAI, con l'obiettivo di contestualizzare le analisi successive e fornire un quadro trasparente delle variabili di background considerate. Il dataset analizzato comprende 403 risposte valide, raccolte tramite questionario online somministrato in contesto scolastico. Dopo una prima operazione di pulizia dei dati (rimozione di colonne completamente vuote generate dall'esportazione del modulo), il dataset risulta composto da 48 variabili direttamente rilevate, più le variabili derivate dalla dicotomizzazione degli item a risposta multipla, per un totale di [N] variabili utilizzabili, includendo variabili socio-demografiche, item di ecoliteracy, educazione civica, percezioni ambientali e prime dimensioni di AI literacy.

Statistiche riepilogative di sezione:

		Genere	Classe	Lezioni educazione civica	Conoscenza Agenda 2030	Lezioni Educazione ambientale
N	Valido	403	403	403	398	400
	Mancante	0	0	0	5	3

Tabella 2 Statistiche riepilogative di sezione

Genere:

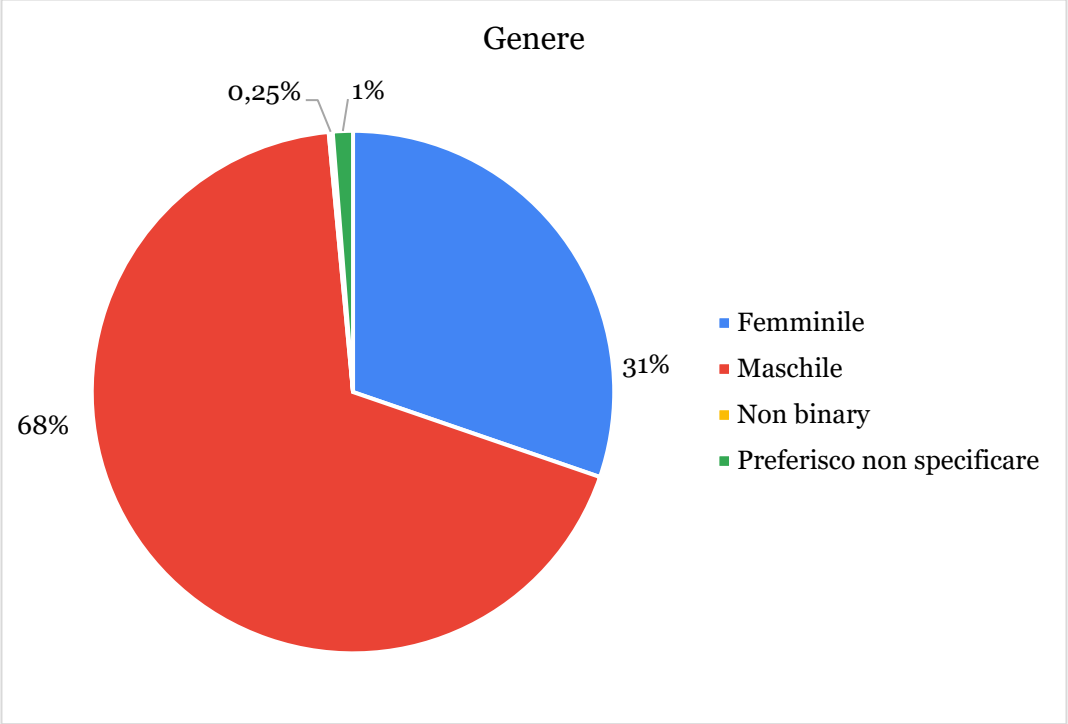


Tabella 3 Distribuzione per genere

Dal grafico emerge una distribuzione fortemente sbilanciata verso la componente maschile, pari a circa il 68% del campione, mentre la componente femminile rappresenta circa il 31%; le altre opzioni di genere risultano residuali (circa 1,25% complessivo). In termini descrittivi, il campione risulta non bilanciato per genere, elemento rilevante da considerare nelle analisi successive, in particolare nei test di invarianza e nei confronti per sottogruppi.

Classe frequentata

La distribuzione per classe risulta relativamente omogenea lungo il quinquennio della scuola secondaria di secondo grado, con percentuali comprese tra il 17% e il 22% per ciascun anno di corso. In termini descrittivi, ciò indica una buona copertura delle diverse fasi del percorso scolastico,

utile per esplorare eventuali differenze legate all'età e alla progressione curricolare.

Classe Frequentata		
	Frequenza	Percentuale valida
I classe	90	22,3
II classe	70	17,4
III classe	78	19,4
IV classe	88	21,8
V classe	77	19,1
Totale	403	100,0

Tabella 4 Classe frequentata

5.1.2 Ecoliteracy e orientamenti valoriali ambientali

a) Conoscenza dell'Agenda 2030

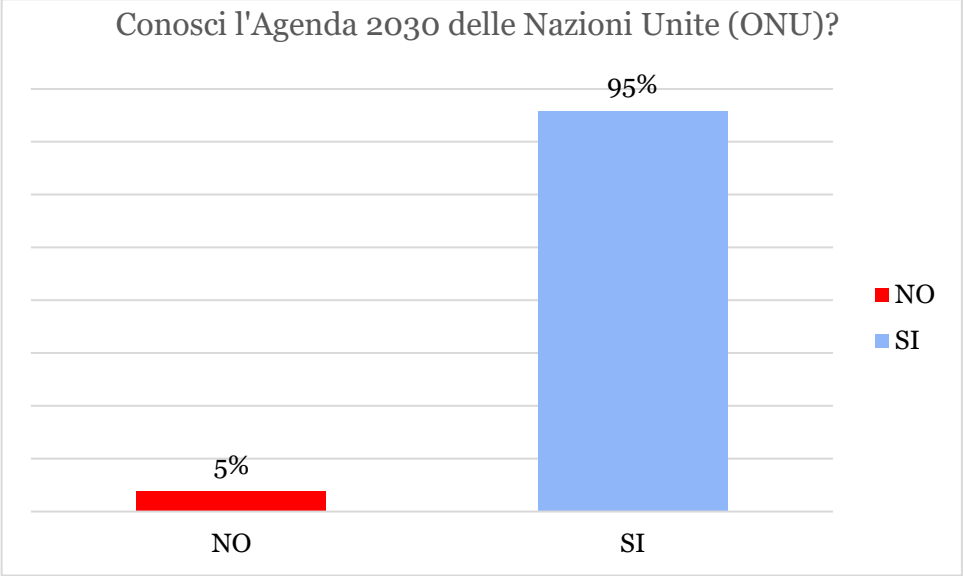


Figura 2 Conoscenza Agenda 2030

Il grafico mostra che la grande maggioranza degli studenti dichiara una conoscenza, almeno di base, dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (circa 96% delle risposte valide). In termini descrittivi, il dato risulta coerente con l'integrazione progressiva degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile nei curricoli scolastici, in particolare in relazione al target SDG 4.7.

b) Importanza attribuita ai temi dell'Agenda 2030

La rilevanza attribuita ai temi dell'Agenda 2030 è stata rilevata attraverso una batteria di item su scala ordinale a quattro categorie. Le statistiche descrittive mostrano una distribuzione differenziata delle risposte tra i diversi ambiti (sociale, ambientale, economico e istituzionale).

La consistenza interna della batteria è stata verificata tramite coefficiente α di Cronbach, che restituisce un valore pari a 0.723.

I dati mostrano che gli argomenti maggiormente selezionati riguardano lavoro e diritti (39,1%), salute e diritto alla salute (30,3%) e parità di genere (29,3%). Seguono temi legati alla Costituzione e all'educazione finanziaria (entrambi 27,2%), mentre gli argomenti ambientali si collocano in una fascia intermedia (22,6%).

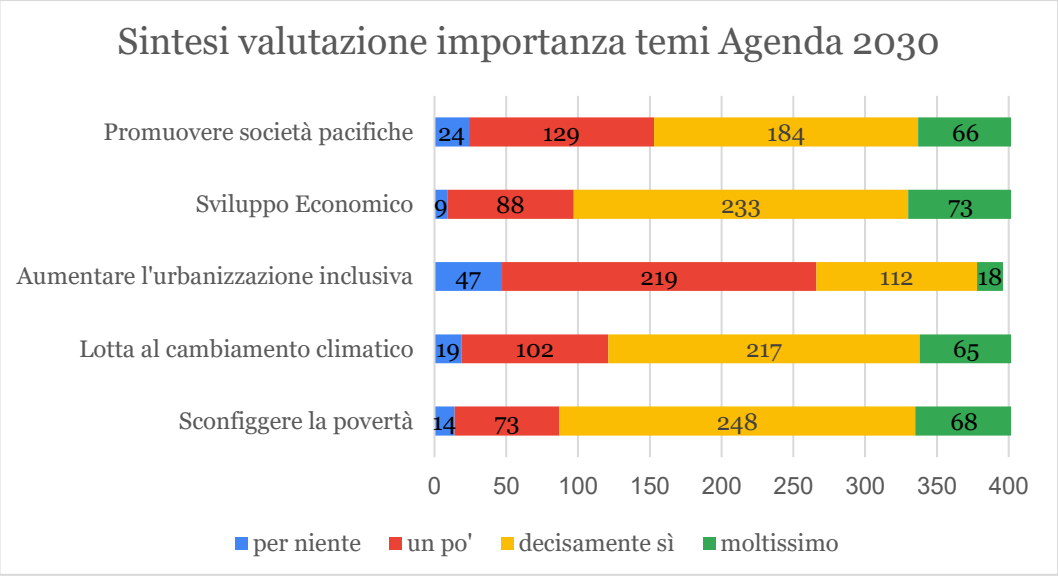


Figura 3 Sintesi importanza temi Agenda 2030

Tabella percentuali di sintesi: Valutazione temi agenda 2030	per niente	un po'	decisamente sì	Moltissimo
Sconfiggere la povertà	3.4	18.1	61.5	16.8
Lotta al cambiamento climatico	4.7	25.3	53.8	16.1
Aumentare l'urbanizzazione inclusiva	11.6	54.3	27.7	4.4
Sviluppo Economico	2.2	21.8	57.8	18.1
Promuovere società pacifiche	5.9	32.0	45.6	16.3

Tabella 5 Sintesi importanza Agenda 2030

c) Conoscenza percepita e coinvolgimento nelle questioni ambientali

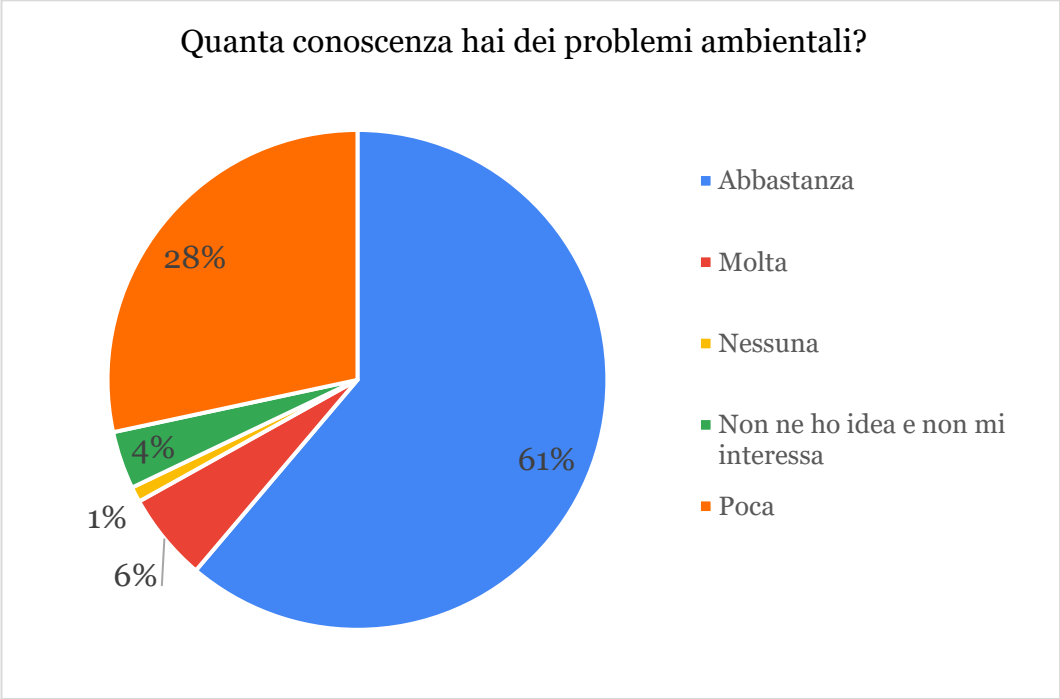


Figura 4 Conoscenza questioni ambientali

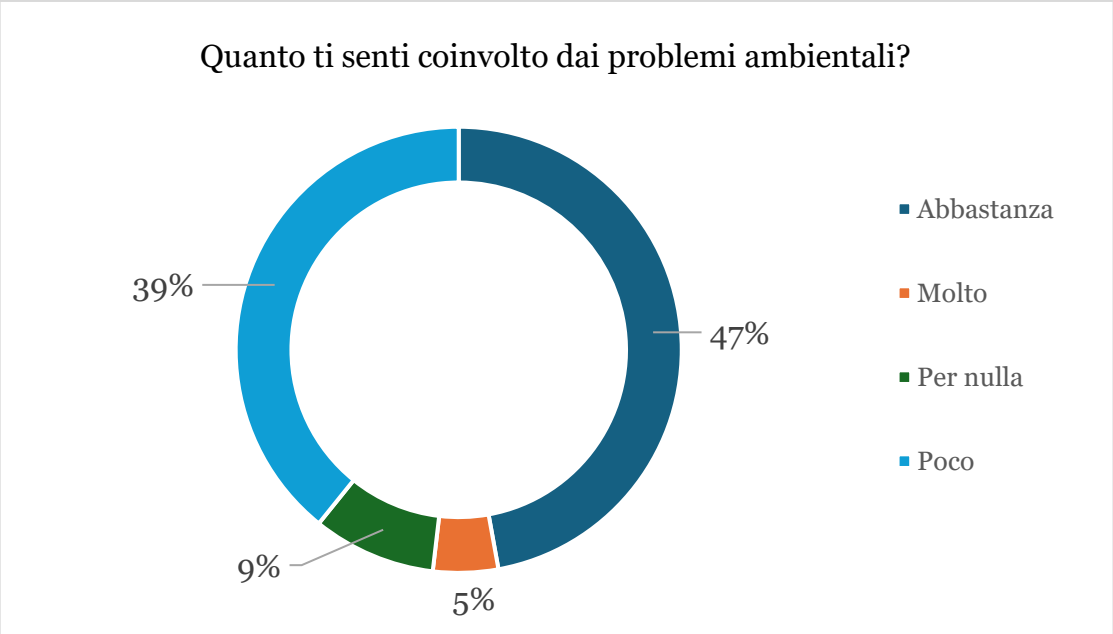


Figura 5 Coinvolgimento questioni ambientali

M ≈ 2,68 - SD ≈ 0,65

La maggioranza degli studenti si colloca su valori intermedi ("Poca/Abbastanza"), con minoranze agli estremi. Già dalle descrittive emerge una corrispondenza intuitiva: chi dichiara più conoscenza tende a sentirsi più coinvolto.

d) Fonti informative e pratiche di auto-apprendimento

Le fonti utilizzate per informarsi su temi ambientali e civici sono state analizzate tramite variabili nominali e dicotomiche. Parallelamente, le risposte relative all'apprendimento autonomo permettono di distinguere diverse modalità di accesso alle informazioni al di fuori dei contesti formali.

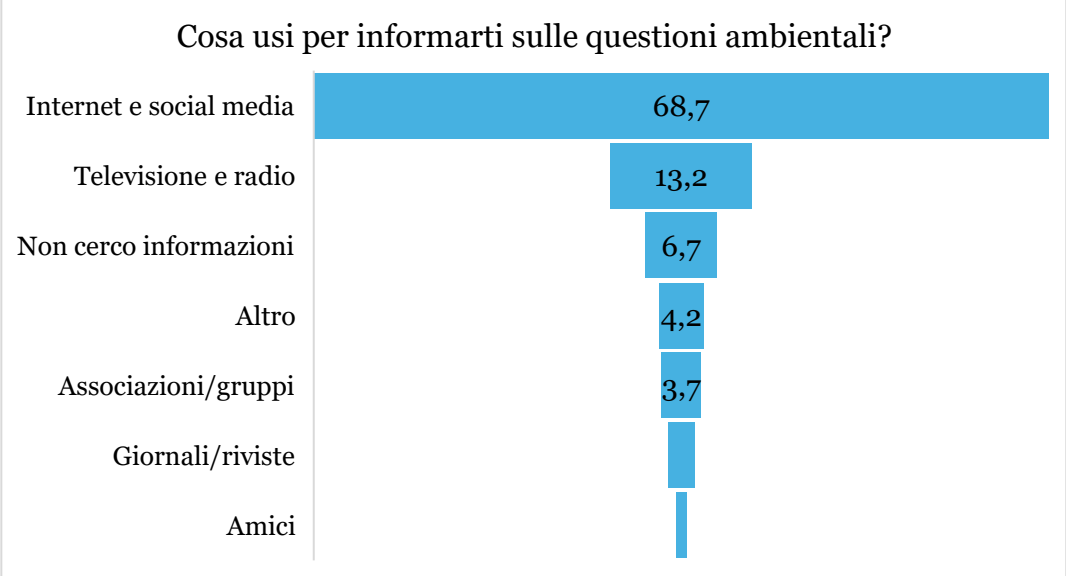


Figura 6 Fonti informazione questioni ambientali

Alla domanda "*Cosa usi di solito per informarti sulle questioni ambientali?*", le risposte più frequenti sono:

Internet e social media: 68,7%

Televisione e radio: 13,2%

Non cerco informazioni, non mi interessa: 6,7%

Altro: 4,2%

Associazioni o gruppi che lavorano sull'ambiente: 3,7%

Giornali, riviste: 2,5%

Amici: 1%

Questo conferma un pattern già noto in letteratura: la centralità di internet e social media come principale ecosistema informativo per i temi ambientali (68,7% N = 275), seguiti da televisione e radio (13,2% N = 53). Una quota del campione dichiara di non cercare informazioni ambientali per disinteresse (6,7% N = 27). In termini descrittivi, la distribuzione evidenzia la centralità degli ambienti digitali come ecosistema informativo prevalente.

e) Coinvolgimento nei problemi ambientali

Alla domanda «*Quale di queste frasi ti rispecchia di più*?», volta a rilevare il posizionamento generale rispetto alla centralità della questione ambientale, emerge un orientamento complessivamente elevato verso il riconoscimento dell'ambiente come problema prioritario

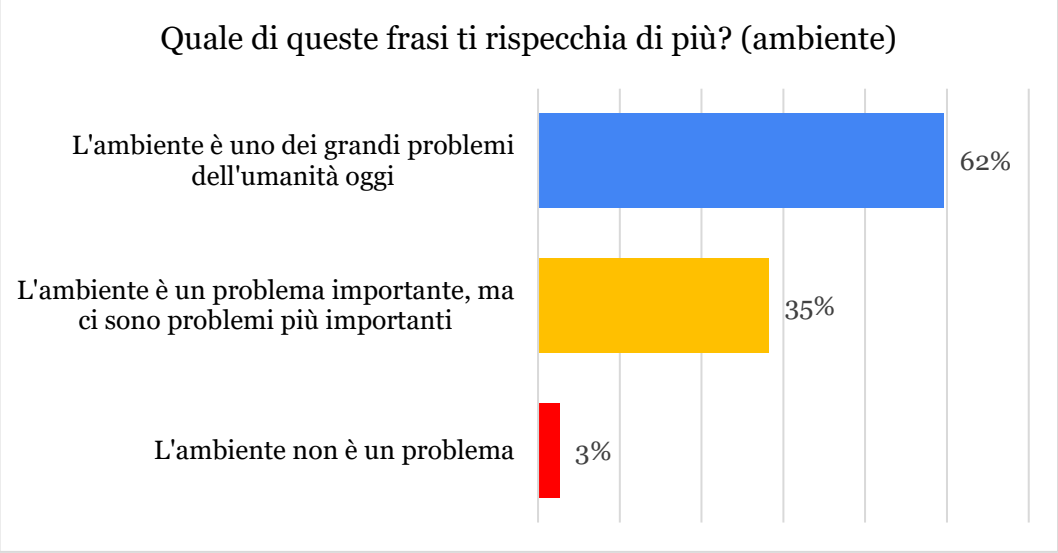


Figura 7 Posizionamento questioni ambientali

Dal grafico appare un ampio consenso sull'importanza dell'educazione ambientale nel curricolo, con una maggioranza che ritiene l'ambiente molto importante e l'educazione necessaria (62%) «*l'ambiente è uno dei grandi problemi dell'umanità oggi*», indicando una piena interiorizzazione della rilevanza sistemica della crisi ambientale. Una quota consistente del campione (35%) riconosce comunque l'importanza del problema ambientale, pur collocandolo all'interno di una gerarchia di criticità

percepite come concorrenti. Solo una minoranza residuale (3%) dichiara che «*l'ambiente non è un problema*», suggerendo che atteggiamenti di negazione o disinteresse risultano marginali nel campione analizzato. La distribuzione delle risposte evidenzia un orientamento valoriale diffuso verso il riconoscimento della questione ambientale come tema rilevante, costituendo una base interpretativa importante per le successive analisi su conoscenza, coinvolgimento, agency e cittadinanza Ecodigitale. Nota tecnica: questa variabile viene utilizzata come indicatore di posizionamento valoriale generale e come possibile predittore nelle analisi esplorative successive.

f) Valutazione dell'educazione ambientale

La consistenza interna della batteria è stata verificata tramite coefficiente α di Cronbach, che restituisce un valore complessivo indicativo di una affidabilità alta

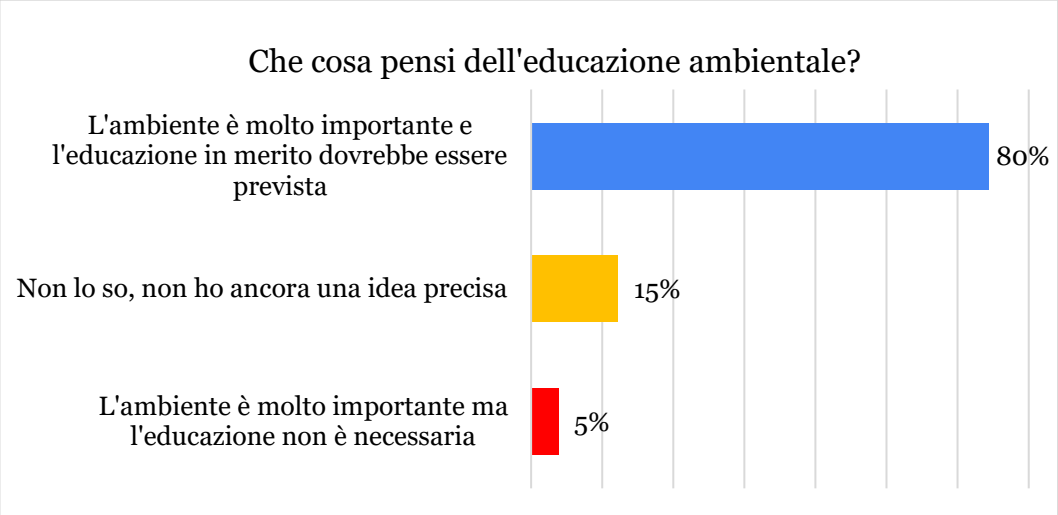


Figura 8 Opinioni educazione ambientale

Le opinioni sull'educazione ambientale sono nettamente positive: "*L'ambiente è molto importante e l'educazione in merito dovrebbe essere prevista*": 80% seguito da: "*Non lo so, non ho ancora una idea precisa*": 14,8%. Infine, "*L'ambiente è molto importante ma l'educazione non è necessaria*": 5%. In termini descrittivi, la distribuzione evidenzia quindi un ampio consenso sull'importanza di inserire l'educazione ambientale nel

curricolo, con una minoranza limitata che problematizza il nesso fra rilevanza del tema e necessità formale di educazione. Una quota minoritaria esprime incertezza (N = 59) o una posizione più problematica sul ruolo dell'educazione formale (N = 19).

g) Esperienza pregressa di educazione ambientale

Hai mai seguito lezioni di Educazione Ambientale?

	Frequenza	Percentuale
SI	262	65,1
NO	141	34,9
Totale	403	100,0

Tabella 6 Lezioni di educazione ambientale

I dati indicano che una maggioranza del campione ha seguito esperienze di educazione ambientale (Sì ≈ 65,1%), mentre una quota non trascurabile dichiara di non averne seguite (No ≈ 34,9%). La distribuzione mostra quindi una copertura non completa di tali percorsi formativi.

h) Fonti di educazione ambientale

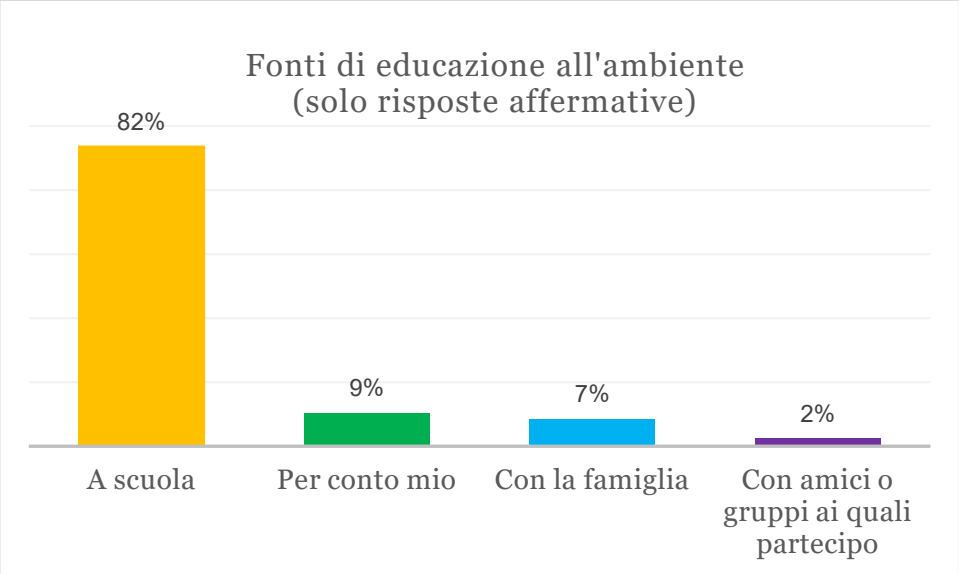


Figura 9 Fonti di educazione ambientale

5.1.3 Agency eco-civica, educazione civica e pratiche digitali

Questa sezione è stata elaborata per rilevare interessi, partecipazione e pratiche di apprendimento per costruire profili di agency Ecodigitale (discussi nel Cap 6).

a) Educazione Civica: partecipazione

Hai mai seguito lezioni di Educazione Civica?

	Frequenza	Percentuale
SI	397	98,5
NO	6	1,5
Totale	403	100,0

Tabella 7 Partecipazione lezioni Educazione Civica

I dati mostrano che la quasi totalità del campione dichiara di aver seguito lezioni di educazione civica (circa 98,5%), mentre dalla tabella precedente mostra che una quota più contenuta, seppur maggioritaria, riporta esperienze di educazione ambientale (circa 65%). In termini descrittivi, la distribuzione segnala una presenza strutturata dell'educazione civica nei contesti scolastici indagati, a fronte di una copertura più disomogenea dei percorsi di educazione ambientale.

b) Lezioni di educazione civica seguite

Indica tra le seguenti quali lezioni hai seguito (puoi sceglierne più di una)

Tema	**N**	**%**
Lavoro e diritti	209	52,9%
Costituzione: storia e principi	188	47,6%
Ambiente: cambiamenti climatici, inquinamento e sostenibilità	183	46,3%
Scuola e diritto all'istruzione	144	36,5%

Tema	N	%
Parità di genere	146	37,0%
Salute e diritto alla salute	132	33,4%
Guerra (storia e contemporaneità)	86	21,8%
Protezione Civile e Cittadinanza attiva	82	20,8%
Cittadinanza digitale	80	20,3%
Migrazioni e diritti	79	20,0%
Pena di morte e tortura	79	20,0%
Disuguaglianza e povertà	103	26,1%
Educazione finanziaria	72	18,2%
Unione Europea e relazioni internazionali	69	17,5%
Tutela del patrimonio artistico e culturale	43	10,9%

Tabella 8 Frequenza lezioni per tema

c) Interesse per gli argomenti di educazione civica:

Gli interessi degli studenti per i diversi ambiti dell'educazione civica sono stati analizzati tramite frequenze assolute e relative. L'analisi evidenzia una distribuzione non uniforme degli interessi, con differenze rilevanti tra i diversi ambiti proposti.

Il questionario include una domanda a scelta multipla: "*Indica tra i seguenti argomenti ti interessano di più* (puoi sceglierne più di uno)"

La tabella esplora la distribuzione degli interessi dichiarati dagli studenti rispetto ai principali temi dell'educazione civica, sulla base di una domanda a scelta multipla che consentiva la selezione di più opzioni:

Argomento di Interesse	Visualizzazione (Percentuale)	Frequenza (N)	Percentuale (%)
Lavoro e diritti		152	39,1%

Argomento di Interesse	Visualizzazione (Percentuale)	Frequenza (N)	Percentuale (%)
Salute e diritto alla salute		118	30,3%
Parità di genere		114	29,3%
Costituzione: storia e principi		106	27,2%
Educazione finanziaria		106	27,2%
Ambiente: cambiamenti climatici		88	22,6%
Scuola e diritto all'istruzione		84	21,6%
Disuguaglianza e povertà		83	21,3%
Pena di morte e tortura		83	21,3%
Guerra		81	20,8%
UE e relazioni internazionali		63	16,2%
Cittadinanza digitale		62	15,9%
Migrazioni e diritti		61	15,7%
Protezione Civile e Cittadinanza attiva		51	13,1%

Argomento di Interesse	Visualizzazione (Percentuale)	Frequenza (N)	Percentuale (%)
Tutela del patrimonio artistico		43	11,1%

Tabella 9 Argomenti di interesse

La distribuzione delle scelte è stata analizzata tramite variabili dicotomiche a scelta multipla (presenza/assenza di ciascun tema tra i 15 previsti). La coerenza del pattern di selezione, calcolata tramite KR-20, è pari a 0.712 per gli interessi dichiarati e 0.847 per le lezioni seguite, valori da interpretare come indicatori orientativi della coerenza tematica interna, non come misure di unidimensionalità. La distribuzione degli interessi degli studenti rispetto ai temi di Educazione Civica rivela un quadro significativo delle priorità percepite, che combina dimensioni normative, sociali e culturali della cittadinanza contemporanea. I dati mostrano come gli argomenti connessi alla dimensione del lavoro e dei diritti costituiscano l'area tematica più rilevante (39,1%), evidenziando una crescente sensibilità verso la precarietà, la sicurezza economica e il funzionamento del mercato del lavoro. Questo orientamento è coerente con le analisi di Beck (2000) sulla "società del rischio" e con gli studi più recenti sulle insicurezze occupazionali giovanili nel contesto europeo.

L'elevato interesse per la salute e il diritto alla salute (30,3%) può essere interpretato alla luce del post-pandemia: le esperienze di vulnerabilità collettiva hanno reso la salute un tema civico e politico oltre che medico. Gli studenti mostrano una marcata attenzione ai temi legati al benessere, al funzionamento dei servizi e al diritto universale alla cura, in linea con le osservazioni di Kickbusch (2015) sulla "*Health Citizenship*".

La forte presenza del tema parità di genere (29,3%) indica una crescente interiorizzazione dei principi di equità e inclusione all'interno del campo giovanile. È un dato coerente con le ricerche di Inglehart e Norris (2003) sull'avanzamento dei valori post-materialisti nelle nuove generazioni, e con gli studi italiani sull'attivismo digitale e i femminismi giovanili (Lo Schiavo, Rebughini, 2025; Banfi, Bonazzi, 2024). Temi come Costituzione (27,2%) e

Educazione finanziaria (27,2%) mostrano la persistenza di un interesse per le dimensioni strutturali della cittadinanza: da un lato l'identità istituzionale, dall'altro le competenze economiche, oggi sempre più percepite come determinanti per la partecipazione autonoma nella società complessa (OECD: PISA 2022 Financial Literacy Framework, 2024).

Gli argomenti legati alle disuguaglianze, alla pena di morte, alla scuola, alla guerra e alla cittadinanza digitale oscillano tra il 20% e il 22%. Questa fascia intermedia indica che gli studenti riconoscono la rilevanza di tali temi ma li percepiscono come meno centrati sulla loro esperienza diretta. Tuttavia, l'interesse non trascurabile verso la cittadinanza digitale (15,9%) testimonia l'emergere di nuove forme di civic engagement mediate dalle tecnologie digitali, coerenti con la letteratura su "*digital citizenship*" (Mossberger, Tolbert & McNeal, 2008).

La Protezione civile (13,1%) e la Tutela del patrimonio artistico e culturale (11,1%) risultano meno centrali. Ciò suggerisce che le competenze di prevenzione del rischio e la dimensione culturale della cittadinanza non sono ancora pienamente interiorizzate come elementi fondamentali del vivere civile, nonostante siano centrali nell'educazione alla sostenibilità (vedi UNESCO, 2017). I temi più astratti o istituzionali risultano meno prioritari, mentre acquisiscono peso le problematiche sociali vissute nella quotidianità o percepite come imminenti. In questo senso, il quadro è coerente con gli orientamenti della competenza civica delineata nel GreenComp Framework (European Commission, 2022), dove l'accento è posto sulla capacità degli studenti di comprendere le interconnessioni tra dimensioni sociali, ambientali ed economiche.

Analizzando le occorrenze complessive (conteggio di tutte le scelte, considerando che ciascun rispondente può selezionare più temi), i dati suggeriscono almeno quattro cluster tematici spontanei di interesse:

CLUSTER 1 - Diritti sociali e lavoro

Lavoro e diritti, Disuguaglianza e povertà, Scuola e diritto all'istruzione, Salute e diritto alla salute, Parità di genere

CLUSTER 2 - Giustizia globale e conflitti

Guerra, Pena di morte e tortura, Migrazioni e diritti, Unione Europea e relazioni internazionali

CLUSTER 3 - Sostenibilità e cittadinanza Ecodigitale

Ambiente: cambiamenti climatici, inquinamento e sostenibilità, Cittadinanza digitale, Protezione Civile e Cittadinanza attiva

CLUSTER 4 - Istituzioni, cultura e risorse

Costituzione: storia e principi fondamentali, Tutela del patrimonio artistico e culturale, Educazione finanziaria.[1]

Nota: Il quarto cluster, cioè comprendente Costituzione, tutela del patrimonio artistico e educazione finanziaria, presenta una struttura tematica eterogenea che richiede una giustificazione teorica esplicita. I tre temi non condividono un oggetto empirico unitario, né un campo di pratiche sociali immediatamente riconoscibile. La coerenza del raggruppamento è invece di ordine simbolico e normativo: ciascun tema rinvia a forme di accesso a risorse culturali e giuridiche che, in senso *bourdieusiano*, operano come capitale culturale istituzionalizzato e capitale giuridico. La Costituzione veicola le norme fondative dell'ordinamento; il patrimonio artistico e culturale rappresenta la forma oggettivata del capitale culturale nazionale; l'educazione finanziaria riguarda la padronanza di codici tecnico-normativi necessari per orientarsi in ambienti economici regolati. Il cluster è stato quindi denominato alfabetizzazione istituzionale e culturale, nella misura in cui il suo asse comune è la trasmissione di

[1] Occorre inoltre segnalare un limite interno alla costruzione del cluster. La Costituzione registra una presenza nelle lezioni seguite pari al 46,9% del campione, un valore che supera di circa 18 punti percentuali la media complessiva del Cluster 3 (28,6%) e di oltre 20 punti quella degli altri due temi del Cluster 4 (patrimonio: 10,7%; educazione finanziaria: 17,9%). Questo squilibrio segnala che il peso del cluster è di fatto sostenuto quasi interamente da un singolo tema, mentre gli altri due hanno una presenza nettamente marginale. Sul piano analitico, ciò implica che la media aggregata del cluster non rappresenta in modo fedele la distribuzione interna: un'operazione di aggregazione che somma valori così distanti rischia di produrre un indicatore sintetico poco informativo. La scelta di mantenere i tre temi in un unico raggruppamento è teoricamente motivata, ma sul piano della comparazione quantitativa tra cluster il peso sproporzionato della Costituzione andrebbe riconosciuto come fonte di distorsione, e i valori del singolo tema andrebbero letti in parallelo alla media aggregata, non in sua sostituzione.

competenze per l'accesso e l'uso di risorse simboliche socialmente distribuite in modo diseguale.

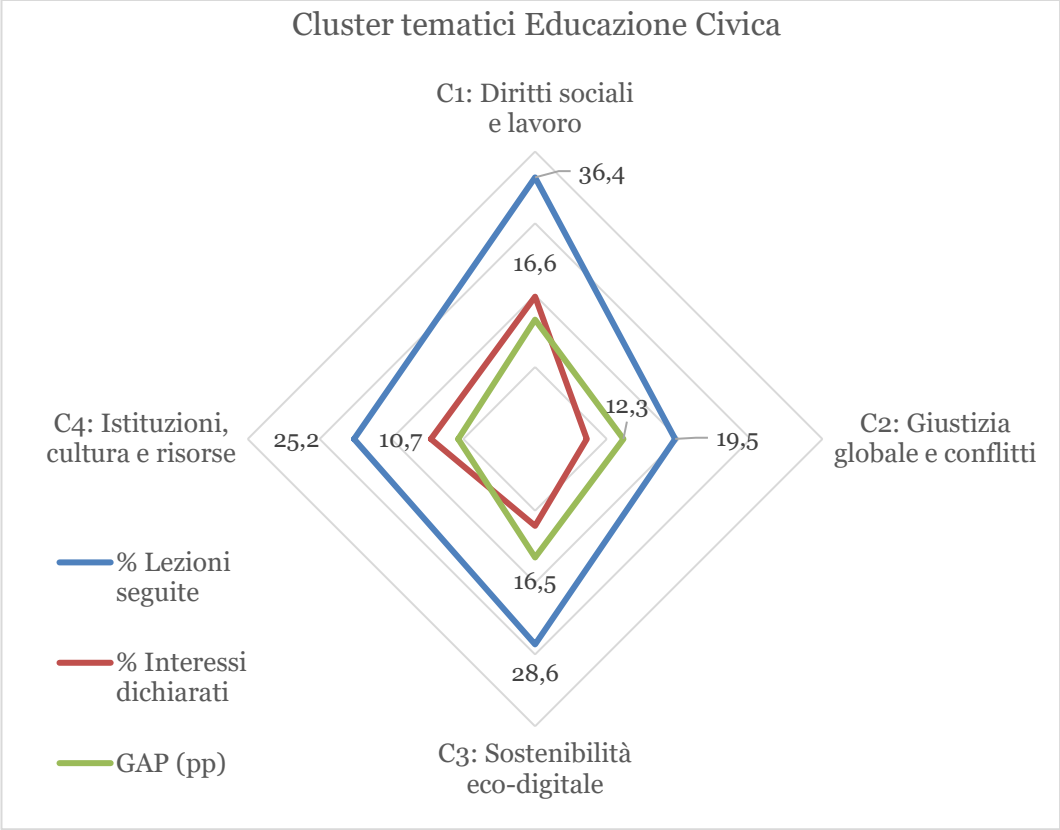


Figura 10 Cluster tematici Educazione Civica

Cluster tematici			
Cluster	% Lezioni seguite	% Interessi dichiarati	GAP (pp)
C1: Diritti sociali e lavoro	36,4	19,8	16,6
C2: Giustizia globale e conflitti	19,5	7,2	12,3
C3: Sostenibilità Ecodigitale	28,6	12,1	16,5
C4: Istituzioni, cultura e risorse	25,2	14,5	10,7

Tabella 10 Sintesi cluster educazione civica

Il grafico radar evidenzia una caratteristica strutturale trasversale a tutti i cluster: la superficie corrispondente alle lezioni seguite è sistematicamente più ampia di quella relativa agli interessi dichiarati. Il GAP tra le due dimensioni non si inverte in nessun punto, per nessuno dei quindici temi gli interessi dichiarati, superano la frequenza di partecipazione alle lezioni. Questo dato suggerisce che il curricolo di educazione civica ha orientato la distribuzione dei temi in modo sostanzialmente indipendente dalle preferenze espresse dagli studenti.

Sul piano quantitativo, i valori di GAP più elevati si concentrano su due temi che appartengono a cluster distinti ma condividono una caratteristica comune: Ambiente e sostenibilità (+27,8 pp) e Scuola e diritto all'istruzione (+27,3 pp) sono tra i contenuti più frequentemente trattati nelle lezioni, eppure registrano una delle quote più basse di interesse dichiarato. L'interpretazione più parsimoniosa è che si tratti di temi percepiti come obbligatori o scontati nell'offerta scolastica, e per questo scarsamente rivendicati come priorità personali. Nel caso dell'Ambiente, va tuttavia segnalata una tensione con la narrativa dominante sull'engagement giovanile per le questioni climatiche: l'alto GAP suggerisce che la trattazione scolastica del tema non si traduce automaticamente in un interesse soggettivo dichiarato, il che pone una questione sulla forma e non solo sul contenuto della didattica.

All'opposto, i GAP più contenuti si registrano su Salute (+5,0 pp) ed Educazione finanziaria (+4,3 pp). In entrambi i casi, la vicinanza tra frequenza di lezione e interesse dichiarato indica una relativa coerenza tra offerta e domanda o, in alternativa, che si tratta di temi la cui rilevanza percepita è abbastanza alta da generare interesse indipendentemente dalla frequenza scolastica. Salute, in particolare, è il tema con la quota di interesse dichiarato più elevata tra quelli con bassa copertura curricolare relativa.

A livello di cluster aggregato, il profilo del radar mostra che C1 (Diritti sociali e lavoro) e C3 (sostenibilità Ecodigitale) presentano i GAP medi più elevati (rispettivamente +16,6 e +16,5 pp), quasi identici tra loro nonostante la diversità tematica. C2 e C4 si collocano su valori inferiori (+12,3 e +10,7 pp), ma per ragioni strutturalmente diverse: in C2 la bassa quota di interesse riflette probabilmente la distanza percepita dai temi (conflitti geopolitici, diritto internazionale); in C4 il GAP ridotto è invece artefatto statistico prodotto dallo squilibrio interno già discusso, la Costituzione da sola abbassa la media del cluster avvicinando lezioni e interessi su un valore intermedio.

Un'osservazione metodologica si impone: il GAP misurato qui è puramente descrittivo e non consente inferenze causali. Non è possibile stabilire, con

questi dati, se l'interesse basso sia conseguenza dell'esposizione scolastica (effetto di saturazione), preceda la lezione (disinteresse preesistente), o rifletta un artefatto dello strumento di rilevazione, la formulazione della domanda sugli interessi potrebbe aver orientato le risposte verso temi non trattati a scuola, producendo sistematicamente una sottodichiarazione di interesse per i temi già coperti.

d) Punteggi compositi di esposizione curricolare e interesse civico

Per l'analisi dell'esposizione curricolare e degli interessi dichiarati in ambito civico ed ecologico, si è adottato un approccio basato su punteggi compositi descrittivi anziché su algoritmi classificatori. La scelta è motivata dalla natura delle variabili disponibili, cioè risposte a scelta multipla, trattabili come misure formative (Bollen & Bauldry, 2011) che non consentono di assumere covarianza comune tra item né di calcolare indicatori di affidabilità interna. Tre punteggi sono stati costruiti per ciascuna delle due domande rilevanti (domanda 5: lezioni seguite; domanda 6: interessi dichiarati), ottenendo sei indicatori analiticamente distinti.

Thematic Diversity Score (TDS): conta quanti dei 15 temi ufficiali del curricolo di educazione civica sono stati selezionati da ciascun rispondente. Range teorico 0-15. Misura l'ampiezza dell'esposizione formativa (TDS_L) e dell'interesse dichiarato (TDS_I).

Eco-Thematic Score (ETS): conta i temi a valenza ecologica e di cittadinanza ambientale: Ambiente (cambiamenti climatici, inquinamento e sostenibilità), Protezione Civile e Cittadinanza attiva, Cittadinanza digitale. Range teorico 0-3.

Civic Agency Score (CAS): conta i temi relativi a diritti, partecipazione e giustizia sociale: Lavoro e diritti, Parità di genere, Disuguaglianza e povertà, Scuola e diritto all'istruzione, Migrazioni e diritti, Unione Europea e relazioni internazionali, Costituzione. Range teorico 0-7.

Il GAP tra punteggio lezioni e punteggio interessi (L–I) è calcolato per ciascun indicatore come misura della distanza tra offerta curricolare e domanda soggettiva. Valori positivi indicano eccesso di esposizione rispetto all'interesse; valori negativi indicano interessi non coperti dall'offerta.

Risultati

Punteggio di diversità tematica (TDS). L'ampiezza media dell'esposizione curricolare è TDS_L M=4.21 (SD=3.67), con mediana=3, metà del campione ha seguito al massimo 3 temi su 15. L'ampiezza degli interessi è inferiore: TDS_I M=3.22 (SD=2.70). Il GAP medio è +1.00 (SD=3.44), con mediana=0: il curricolo supera gli interessi in media, ma la distribuzione è ampia e simmetrica, con casi di inversione (GAP negativo fino a −15). Solo l'1.7% del campione dichiara di non aver seguito alcun tema.

Punteggio Eco-tematico (ETS). Il 42.9% del campione ha ETS_L=0 non ha ricevuto alcuna lezione sui tre temi ecologici considerati. Chi ne ha ricevuta almeno una si ferma in media a M=0.86 (SD=0.92) sull'intero campione. Sul versante degli interessi, il 62.3% ha ETS_I=0: la quota di chi non dichiara interesse per nessun tema eco-civico è significativamente più alta rispetto a chi non ne ha ricevuto lezione. Il GAP medio è +0.36 (SD=0.94): 100 studenti (24.8%) hanno ricevuto più lezioni eco-tematiche di quante ne dichiarino interesse, mentre 46 (11.4%) mostrano l'inverso.

Punteggio di Agency Civica (CAS). L'esposizione curricolare ai temi di diritti e partecipazione è più estesa: CAS_L M=2.33 (SD=1.99), con solo il 13.9% a zero. L'interesse dichiarato è inferiore: CAS_I M=1.65 (SD=1.51). Il GAP medio è +0.68 (SD=1.95).

Differenze per genere**:** Le studentesse femminili mostrano punteggi sistematicamente più alti degli studenti maschili su tutti e sei gli indicatori. Il divario è più marcato sull'ETS (ETS_L: F=1.16 vs M=0.71) che sul CAS (CAS_L: F=2.48 vs M=2.26). Dato il forte sbilanciamento di genere del campione (68% maschile), questo pattern va letto con cautela.

Differenze per classe: Il TDS_L mostra un picco in seconda classe (M=5.51) e un andamento non monotono lungo il quinquennio, suggerendo che l'esposizione curricolare non aumenta linearmente con l'anno scolastico. Gli interessi (TDS_I) crescono invece gradualmente dalla prima (2.76) alla quinta (3.48). L'ETS_I cresce leggermente dalla prima (0.47) alla quinta (0.58), con andamento più stabile rispetto alle lezioni.

Risultati

Punteggio di diversità tematica (TDS). L'ampiezza media dell'esposizione curricolare è TDS_L M=4.21 (SD=3.67), con mediana=3, metà del campione ha seguito al massimo 3 temi su 15. L'ampiezza degli interessi è inferiore: TDS_I M=3.22 (SD=2.70). Il GAP medio è +1.00 (SD=3.44), con mediana=0: il curricolo supera gli interessi in media, ma la distribuzione è ampia e simmetrica, con casi di inversione (GAP negativo fino a −15). Solo l'1.7% del campione dichiara di non aver seguito alcun tema.

Punteggio Eco-tematico (ETS). Il 42.9% del campione ha ETS_L=0 non ha ricevuto alcuna lezione sui tre temi ecologici considerati. Chi ne ha ricevuta almeno una si ferma in media a M=0.86 (SD=0.92) sull'intero campione. Sul versante degli interessi, il 62.3% ha ETS_I=0: la quota di chi non dichiara interesse per nessun tema eco-civico è significativamente più alta rispetto a chi non ne ha ricevuto lezione. Il GAP medio è +0.36 (SD=0.94): 100 studenti (24.8%) hanno ricevuto più lezioni eco-tematiche di quante ne dichiarino interesse, mentre 46 (11.4%) mostrano l'inverso.

Punteggio di Agency Civica (CAS). L'esposizione curricolare ai temi di diritti e partecipazione è più estesa: CAS_L M=2.33 (SD=1.99), con solo il 13.9% a zero. L'interesse dichiarato è inferiore: CAS_I M=1.65 (SD=1.51). Il GAP medio è +0.68 (SD=1.95).

Differenze per genere**:** Le studentesse femminili mostrano punteggi sistematicamente più alti degli studenti maschili su tutti e sei gli indicatori. Il divario è più marcato sull'ETS (ETS_L: F=1.16 vs M=0.71) che sul CAS (CAS_L: F=2.48 vs M=2.26). Dato il forte sbilanciamento di genere del campione (68% maschile), questo pattern va letto con cautela.

Differenze per classe: Il TDS_L mostra un picco in seconda classe (M=5.51) e un andamento non monotono lungo il quinquennio, suggerendo che l'esposizione curricolare non aumenta linearmente con l'anno scolastico. Gli interessi (TDS_I) crescono invece gradualmente dalla prima (2.76) alla quinta (3.48). L'ETS_I cresce leggermente dalla prima (0.47) alla quinta (0.58), con andamento più stabile rispetto alle lezioni.

Gli interessi (TDS_I) crescono invece gradualmente dalla prima (2.76) alla quinta (3.48). L'ETS_I cresce leggermente dalla prima (0.47) alla quinta (0.58), con andamento più stabile rispetto alle lezioni.

5.1.4 Identità digitale e uso delle piattaforme

Confronto con tecnologie:

a) "Sono una persona che apprezza le tecnologie"

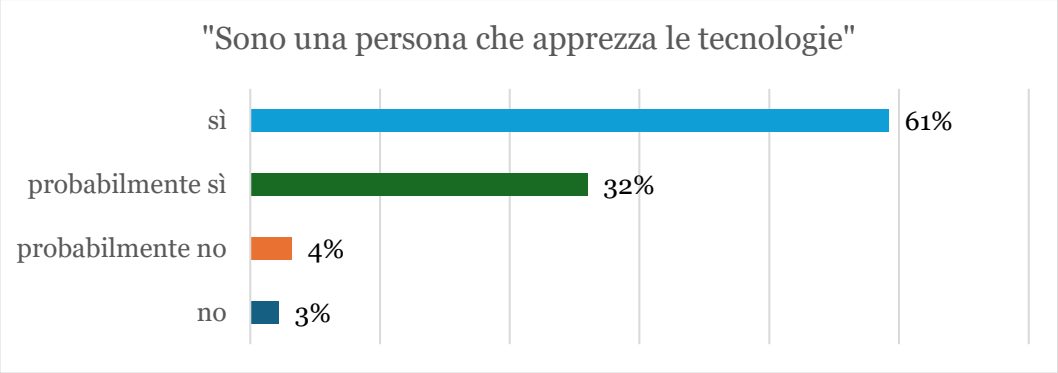


Figura 11 Apprezzamento tecnologie

b) Frequenza di utilizzo dei dispositivi

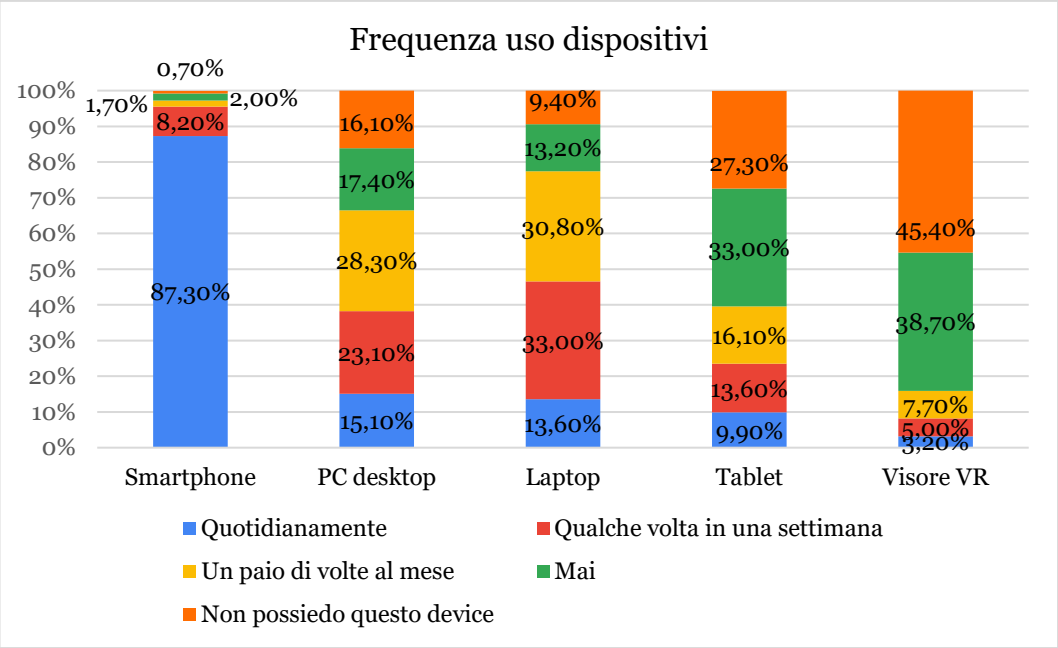


Figura 12 Frequenza utilizzo device

La distribuzione delle risposte evidenzia una netta gerarchia nell'uso dei dispositivi digitali. Lo smartphone si conferma il dispositivo dominante: l'87,3% del campione ne dichiara un utilizzo quotidiano (M=3.82, SD=0.55 su scala 0-4), con meno del 3% che non lo utilizza. Il PC portatile e il PC desktop si collocano su frequenze intermedie, con utilizzo prevalentemente settimanale o mensile (rispettivamente M=2.52 e M=2.43). Il tablet presenta un profilo di uso sporadico o assente per oltre il 60% del campione (M=2.01). Il visore VR risulta il dispositivo meno diffuso: il 45,4% dichiara di non possederlo e il 38,7% di non averlo mai utilizzato (M=1.50), confermando la sua marginalità nell'ecosistema tecnologico giovanile attuale.

c) Frequenza di uso di servizi e piattaforme

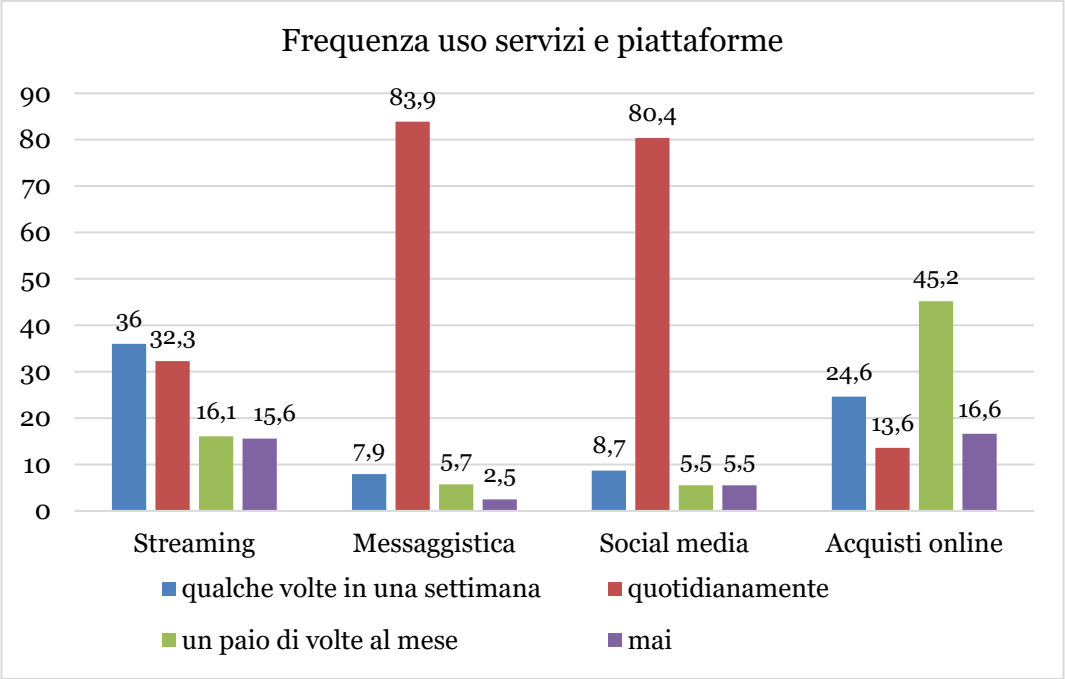


Figura 13 Frequenza uso di servizi

La distribuzione delle risposte delinea una gerarchia netta nell'intensità d'uso dei principali servizi digitali. Le app di messaggistica istantanea e i social media si collocano entrambi su frequenze di utilizzo quotidiano per oltre l'80% del campione (rispettivamente 83,9% e 80,4%), con medie molto elevate (M=3.73, SD=0.68 e M=3.64, SD=0.82 su scala 1-4). Questi valori confermano la centralità strutturale delle piattaforme comunicative e relazionali nell'esperienza digitale quotidiana degli studenti. I servizi di streaming mostrano un profilo di uso più distribuito: il 32,3% li utilizza quotidianamente e il 36,0% più volte a settimana (M=2.85, SD=1.04), con una variabilità più elevata rispetto ai servizi di comunicazione. Gli acquisti online presentano il profilo di uso meno intensivo: la modalità prevalente è mensile (45,2%), con solo il 13,6% che dichiara acquisti quotidiani (M=2.35, SD=0.91). Riassumendo, il gradiente di utilizzo (messaggistica > social > streaming > acquisti) riflette la distinzione tra pratiche comunicative incorporate nella routine quotidiana e pratiche di consumo dalla frequenza più episodica.

d) Creazione e aggiornamento avatar e immagine profilo

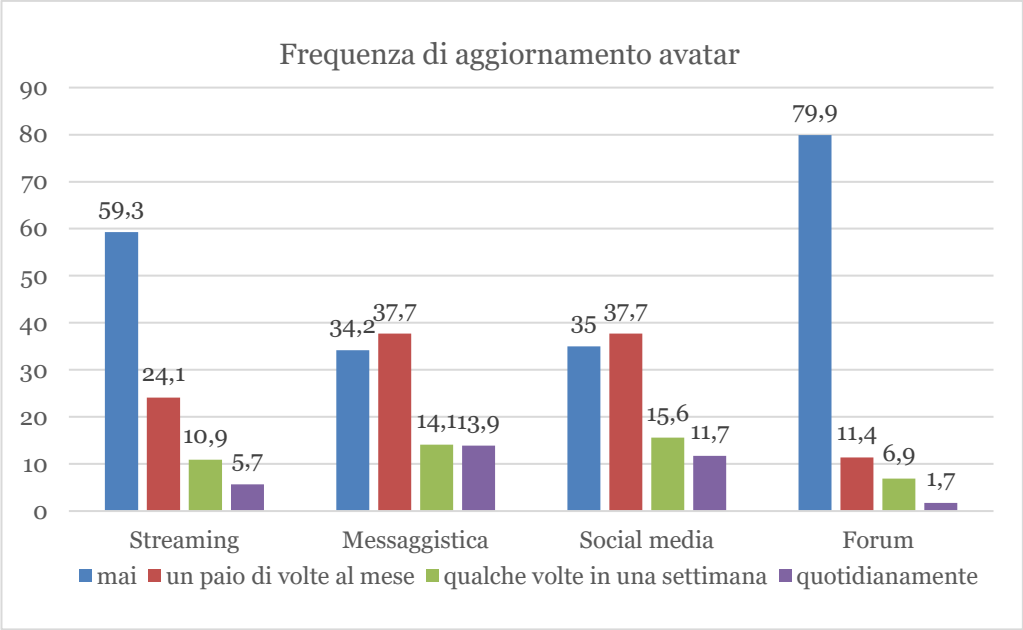


Figura 14 Frequenza aggiornamento avatar

L'aggiornamento di status e avatar risulta una pratica poco frequente nella quasi totalità delle piattaforme considerate. Il comportamento più inerte riguarda i forum, dove il 79,9% del campione dichiara di non aggiornare mai il proprio profilo (M=0.31, SD=0.68 su scala 0-3), e i servizi di streaming, con il 59,3% di rispondenti nella categoria "mai" (M=0.63, SD=0.89). Le piattaforme di messaggistica e i social media mostrano frequenze leggermente superiori ma comunque contenute: la modalità prevalente in entrambi i casi è mensile (37,7%), mentre l'aggiornamento quotidiano riguarda rispettivamente il 13,9% e l'11,7% del campione (messaggistica M=1.08, SD=1.02; social media M=1.04, SD=0.99). L'indice sintetico avatar_score, calcolato come media delle quattro piattaforme, restituisce un valore complessivo di M=0.763 (SD=0.734), confermando una gestione prevalentemente statica della rappresentazione digitale di sé. Coerentemente, solo il 19,4% del campione dichiara di utilizzare app o filtri per la modifica di foto, avatar o video, a fronte di un 76,4% che non ne fa uso.

e) Creazione contenuti sui social media

Domanda: "Crei contenuti per i tuoi social?"

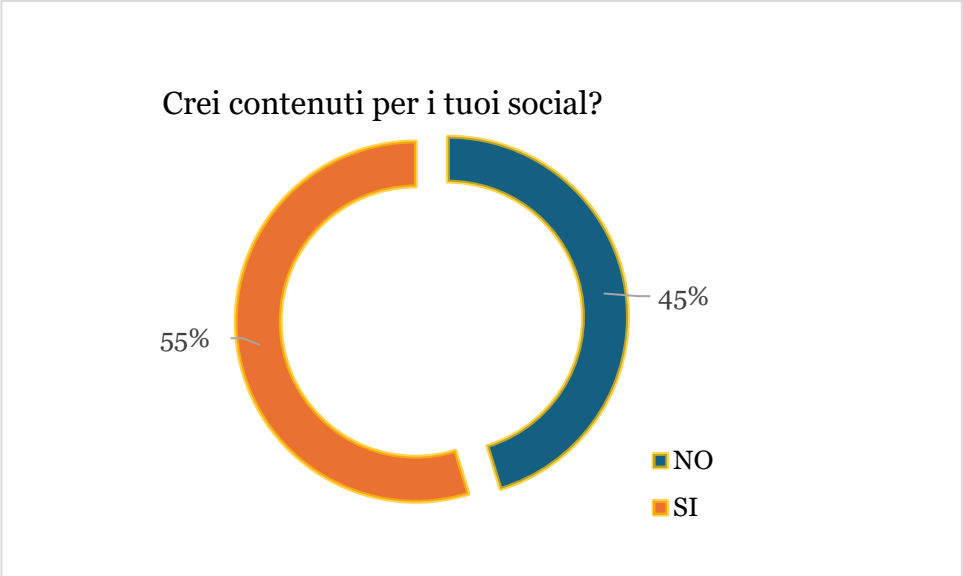


Figura 15 Creazione contenuti

Il campione si divide in modo sostanzialmente bipartito rispetto alla produzione di contenuti digitali: il 54,6% dichiara di creare contenuti per i propri social (n=220), a fronte del 45,2% che non lo fa (n=182). La quota di content creator è rilevante e non residuale, suggerendo che per una maggioranza, seppure non ampia, la presenza digitale non si esaurisce nel consumo passivo di contenuti ma include una dimensione attiva di produzione e pubblicazione.

f) Frequenza d'uso di servizi digitali

Domanda: "Con quale frequenza usi..."

Social Media	Utilizzatori (n)	Percentuale (%)
Instagram	373	92,6%
TikTok	352	87,3%
YouTube	296	73,4%
Facebook	115	28,5%
Twitch	98	24,3%
Pinterest	94	23,3%

Social Media	Utilizzatori (n)	Percentuale (%)
X (Twitter)	47	11,7%
Forum Community	8	2,0%
Reddit	8	2,0%
WhatsApp	7	1,7%

Tabella 11 Frequenza uso servizi digitali

La distribuzione degli utilizzatori per piattaforma delinea un ecosistema digitale fortemente concentrato sulle prime tre piattaforme. Instagram (92,6%, n=373) e TikTok (87,3%, n=352) si configurano come infrastrutture di presenza quasi universale nel campione, seguite da YouTube (73,4%, n=296). Esiste poi un divario netto rispetto alle piattaforme successive: Facebook si attesta al 28,5%, Twitch al 24,3%, Pinterest al 23,3%, mentre X (Twitter) scende all'11,7%. Forum community, Reddit e WhatsApp risultano marginali (tutti sotto il 2%), configurandosi come spazi di nicchia non rappresentativi del repertorio digitale del campione. Il profilo complessivo indica una concentrazione della presenza digitale su tre piattaforme visive e algoritmiche come Instagram, TikTok e YouTube, con un utilizzo residuale di piattaforme testuali, di discussione o relazionali tradizionali.

g) Frequenza creazione contenuti

Domanda: "Con quale frequenza?"

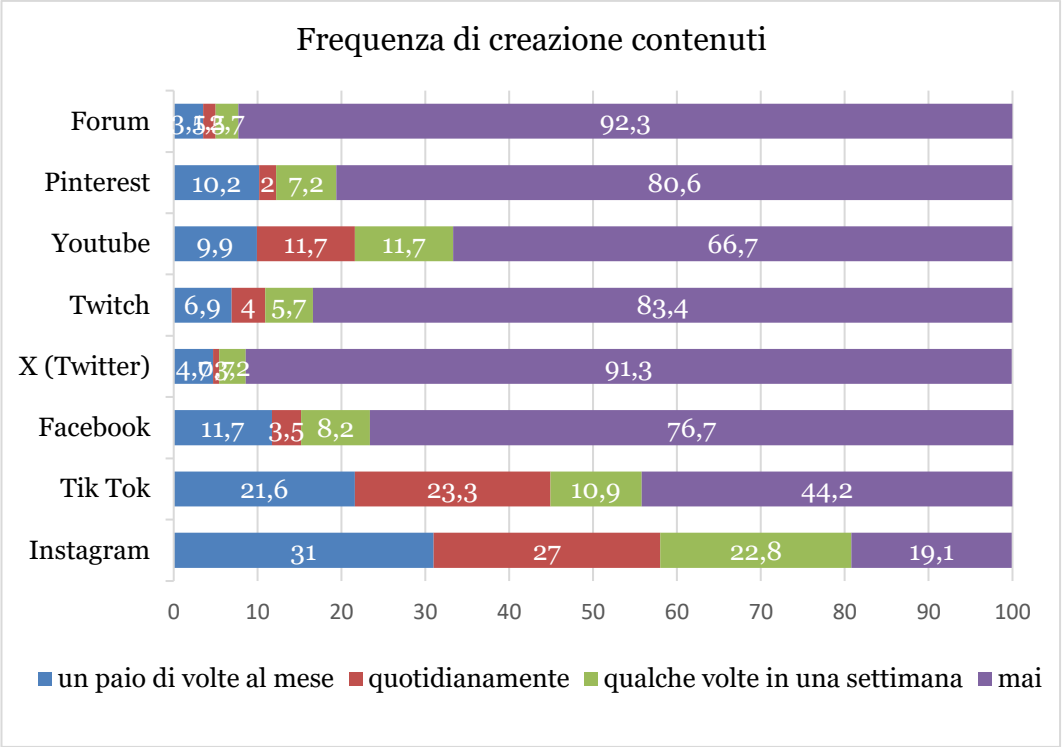


Figura 16 Frequenza creazione contenuti

La distribuzione della frequenza di creazione di contenuti conferma Instagram come piattaforma di produzione prevalente: il 27,0% del campione crea contenuti quotidianamente, il 22,8% qualche volta a settimana e il 31,0% un paio di volte al mese, con solo il 19,1% che non produce mai contenuti su questa piattaforma (M=2.58, SD=1.08). TikTok si colloca al secondo posto per attività produttiva, ma con un profilo più polarizzato: il 23,3% crea contenuti quotidianamente e il 21,6% mensilmente, mentre il 44,2% non produce mai, la quota di non-creatori più alta tra le piattaforme attive con la deviazione standard più alta (SD=1.21),. YouTube mostra una distribuzione relativamente equilibrata nelle tre categorie di frequenza positiva (9,9% / 11,7% / 11,7%), con il 66,7% di non-creatori, configurandosi come spazio di produzione occasionale per una minoranza. Le restanti piattaforme (Facebook, X-Twitter, Twitch, Pinterest e Forum) presentano quote di non-creatori superiori al 76% in tutti i casi, con Forum al 92,3% e X (Twitter) al 91,3%, confermando la loro marginalità non solo come spazi di fruizione ma ancor più come ambienti di produzione.

Dai dati si evince che la produzione di contenuti risulta fortemente concentrata su Instagram e, in misura più polarizzata, su TikTok. La convergenza tra le due piattaforme a più alta penetrazione (f) e le due a maggiore attività produttiva (g) indica che l'ecosistema digitale del campione si struttura attorno a un duopolio visivo-algoritmico, all'interno del quale coesistono logiche di fruizione e produzione difficilmente separabili.

5.1.5 Percezioni e Literacy sull'AI

a) Conoscenze dichiarate sull'IA

Le definizioni di IA selezionate dagli studenti sono state analizzate tramite frequenze e percentuali.

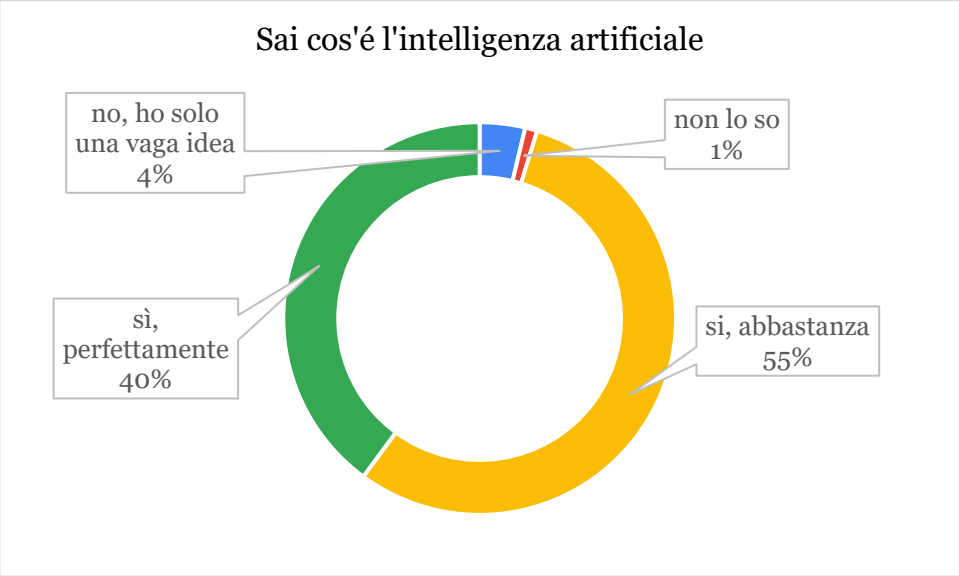


Figura 17 Conoscenza dichiarata AI

b) Definizione di AI:

La capacità di una macchina di imitare l'intelligenza umana, attraverso l'utilizzo di algoritmi e modelli matematici per apprendere dai dati e svolgere compiti che richiedono un certo grado di intelligenza.	57%

Un sistema informatico in grado di ragionare autonomamente, prendere decisioni etiche e provare emozioni come un essere umano.	23%
Una tecnologia che consente alle macchine di diventare coscienti e di superare l'intelligenza umana.	18%
Ci sta rovinando	0,26%
L'intelligenza artificiale è come una sorta di aiuto in tutti gli ambiti, a partire da consigli a vere e proprie decisioni.	0,26%
La capacità di una macchina di apprendere, migliorarsi, conoscere i dati, imparare a svolgere compiti senza i limiti della mente umana	0,26%
Non ha emozioni, esegue solamente ciò che gli chiedi	0,26%
Per me inutile	0,26%
Per me l'intelligenza artificiale è una specie di macchina che imita l'umano e lo aiuta a svolgere compiti	0,26%
Un sistema comodo e conveniente per avere informazioni che interessano maggiormente	0,26%
Totale complessivo	100%

Tabella 12 Percentuali definizioni AI

La conoscenza dichiarata dell'intelligenza artificiale risulta diffusa: il 55,1% del campione afferma di conoscerla "abbastanza" e il 39,7% "perfettamente", con solo il 4,7% che dichiara una conoscenza vaga o assente. Tuttavia, l'incrocio tra conoscenza autodichiarata e scelta della definizione corretta rivela una discrepanza sistematica tra percezione di competenza ed effettiva comprensione del concetto.

Alla domanda sulla definizione di IA, il 57,0% seleziona la risposta corretta: "*la capacità di una macchina di imitare l'intelligenza umana attraverso algoritmi e modelli matematici*", mentre il 23,0% sceglie una definizione antropomorfica (macchina capace di ragionare autonomamente e provare emozioni) e il 18,2% una definizione fantascientifica (macchina cosciente e superiore all'intelligenza umana). Il 41,3% del campione seleziona dunque una definizione errata o fortemente distorta. Il dato più rilevante emerge dal crosstab: tra chi dichiara di conoscere l'IA "perfettamente", solo il 51,9% sceglie la definizione corretta, una percentuale inferiore a quella di chi afferma di conoscerla "abbastanza" (62,1%). Questo pattern indica che la sicurezza autodichiarata non costituisce un predittore affidabile della comprensione effettiva, e segnala la presenza di un effetto di sovrastima della propria competenza (overconfidence) particolarmente pronunciato nel sottogruppo a più alta autovalutazione.

c) Uso di applicazioni che si servono di Intelligenza Artificiale

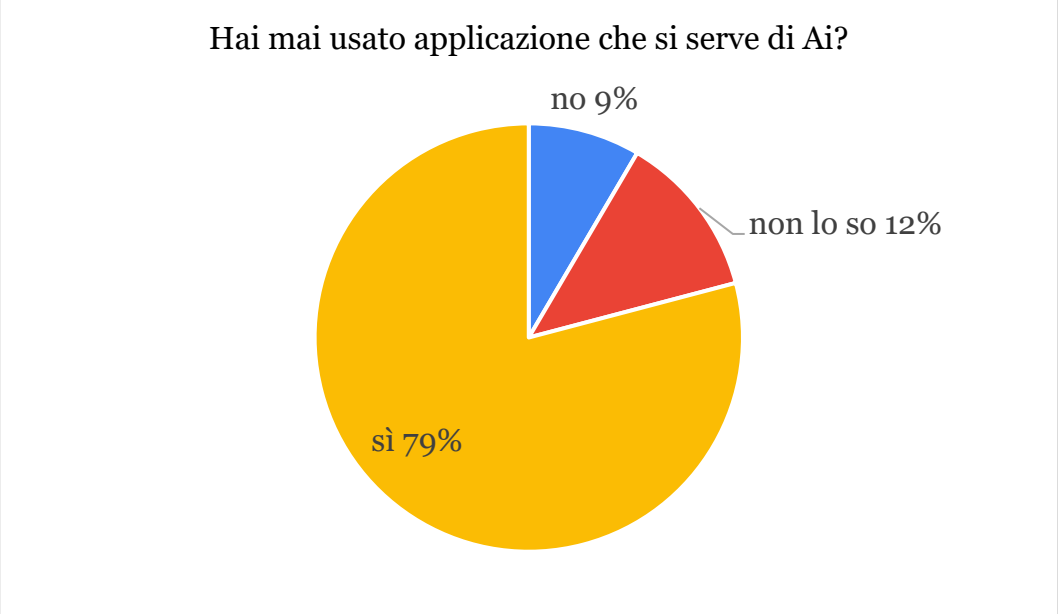


Figura 18 Uso applicazioni con AI

Il 78,9% del campione dichiara di aver utilizzato almeno un'applicazione basata su intelligenza artificiale (n=318), a fronte di un 8,4% che afferma di

non averne mai fatto uso e di un 12,4% che esprime incertezza ("non lo so"). Quest'ultima categoria è analiticamente rilevante: indica un segmento del campione che utilizza verosimilmente strumenti AI senza riconoscerne la natura tecnologica, dato coerente con il livello di alfabetizzazione concettuale emerso nella sezione precedente.

d) Familiarità con strumenti di IA generativa

L'uso dichiarato di strumenti di IA generativa (es. ChatGPT)

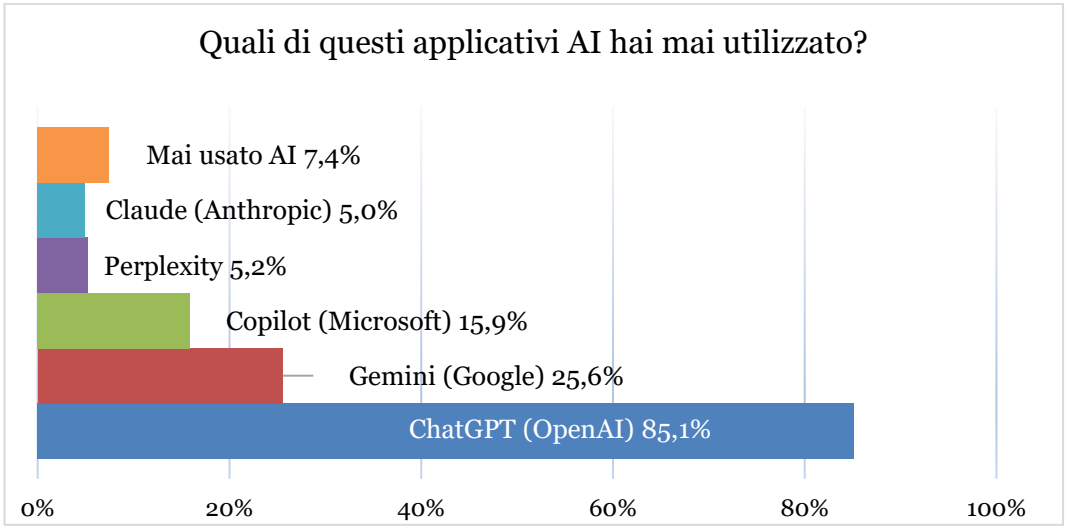


Figura 19 Quale AI utilizzata

L'analisi per strumento specifico (risposta multipla, N=403) rivela una concentrazione estrema su ChatGPT: l'85,1% del campione lo menziona, con un distacco netto rispetto a Gemini (25,6%) e Copilot (15,9%). Perplexity e Claude si attestano entrambi attorno al 5%, mentre il 7,4% dichiara di non aver mai utilizzato alcuna applicazione AI. Il panorama d'uso risulta quindi fortemente polarizzato attorno a un unico strumento, con una coda di utilizzatori di piattaforme alternative ancora marginale nel campione.

Il crosstab tra uso dichiarato e scelta della definizione corretta mostra che gli utilizzatori di AI non presentano una comprensione concettuale significativamente superiore ai non utilizzatori: il 59,0% di chi usa AI sceglie la definizione corretta, contro il 51,6% di chi non la usa e il 48,9% di chi non sa. La differenza è contenuta e non indica una relazione lineare tra esposizione pratica allo strumento e comprensione teorica del costrutto,

evidenza che rafforza l'ipotesi di un utilizzo prevalentemente strumentale, non accompagnato da riflessione critica sulla tecnologia impiegata.

e) Atteggiamenti verso l'IA

Gli atteggiamenti affettivi verso l'IA sono stati rilevati tramite item su scala Likert. Le distribuzioni mostrano la coesistenza di valutazioni positive e preoccupazioni.

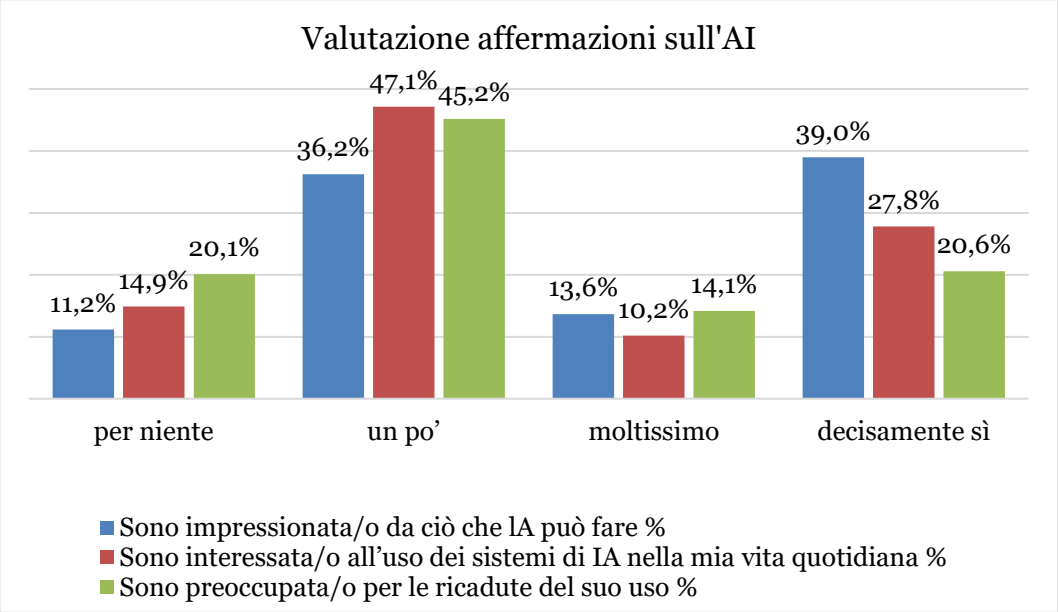


Figura 20 Atteggiamenti verso AI

f) Uso AI generativa a scuola è utile o dannoso?

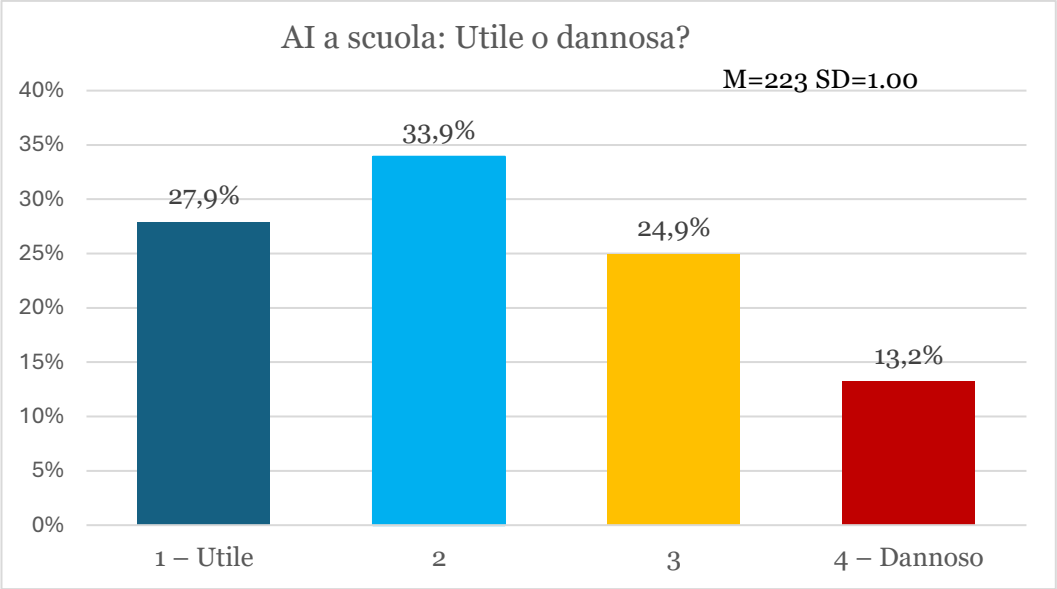


Figura 21 AI: Utile o dannosa

La valutazione dell'IA generativa in contesto scolastico rivela un orientamento complessivamente ambivalente, con una distribuzione delle opinioni che non converge né verso una posizione di chiara accettazione né di netto rifiuto. Alla domanda sull'utilità percepita di ChatGPT a scuola (scala 1=utile, 4=dannoso), la media si colloca a M=2.23 (SD=1.00), leggermente sotto il punto centrale della scala. Il 27,8% lo valuta pienamente utile e il 33,7% tendenzialmente utile, mentre il 24,8% si orienta verso la dannosità e il 13,2% la valuta pienamente dannosa. La distribuzione è continua e senza modalità dominante netta, indicando una popolazione studentesca divisa e non consolidata nelle proprie valutazioni.

g) L'idea di usare uno strumento di Intelligenza Artificiale Generativa come ChatGPT a scuola:

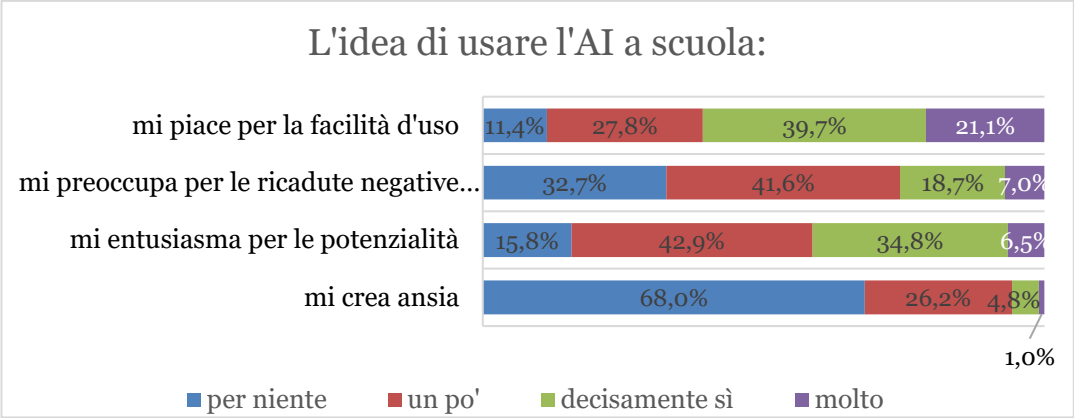


Figura 22 Pareri uso AI a scuola

L'analisi degli atteggiamenti specifici conferma questa struttura ambivalente. L'item con la media più alta è "mi piace per la facilità d'uso" (M=2.70, SD=0.93), con il 60,8% del campione che esprime accordo. L'entusiasmo per le potenzialità si attesta a M=2.32 (SD=0.82), con il 41,4% di risposte positive. Le preoccupazioni per le ricadute negative sullo studio raggiungono M=2.00 (SD=0.89), con il 25,7% di accordo. L'ansia risulta l'item meno condiviso (M=1.39, SD=0.63, 5,8% positivo), suggerendo che la resistenza all'IA generativa sia di natura prevalentemente pragmatica e valutativa.

Sul versante dell'inclusione scolastica, il 64,3% del campione riconosce una qualche utilità potenziale dell'IA (38,7% "sì, abbastanza" + 25,6% "sì, decisamente"), mentre il 35,5% esprime scetticismo o rifiuto. Il profilo complessivo indica una disponibilità condizionata, prevalentemente strumentale e legata alla facilità d'uso, piuttosto che un'adesione motivata da comprensione critica delle potenzialità tecnologiche.

h) Utilità della GenAI a scuola per attività:

Il questionario include una domanda sulle possibili funzioni dell'IA generativa a scuola (es. ChatGPT)

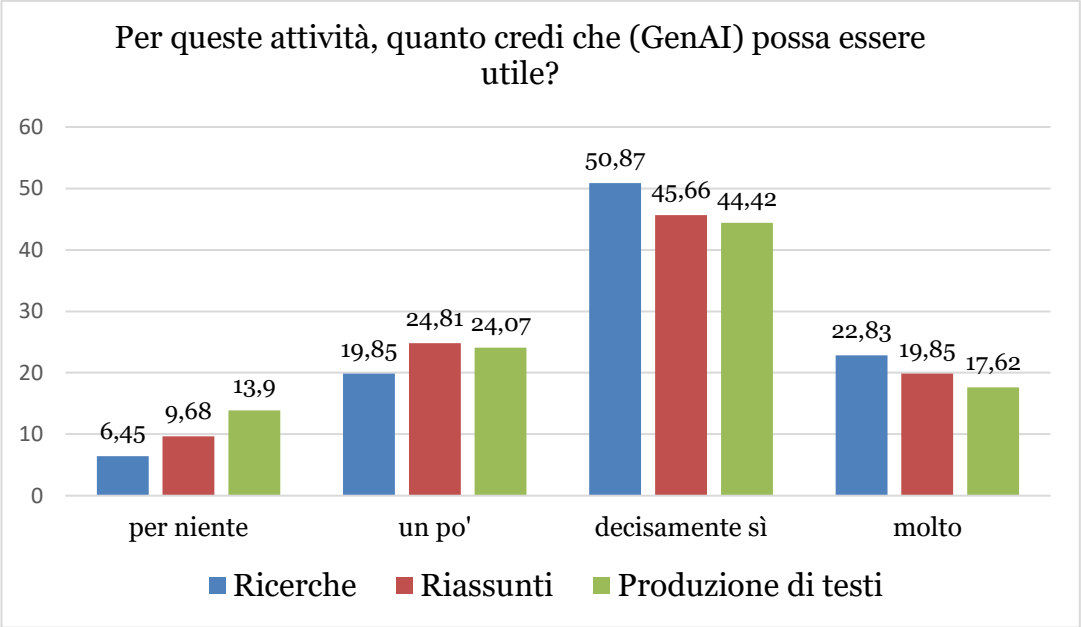


Figura 23 Utilità AI a scuola 1

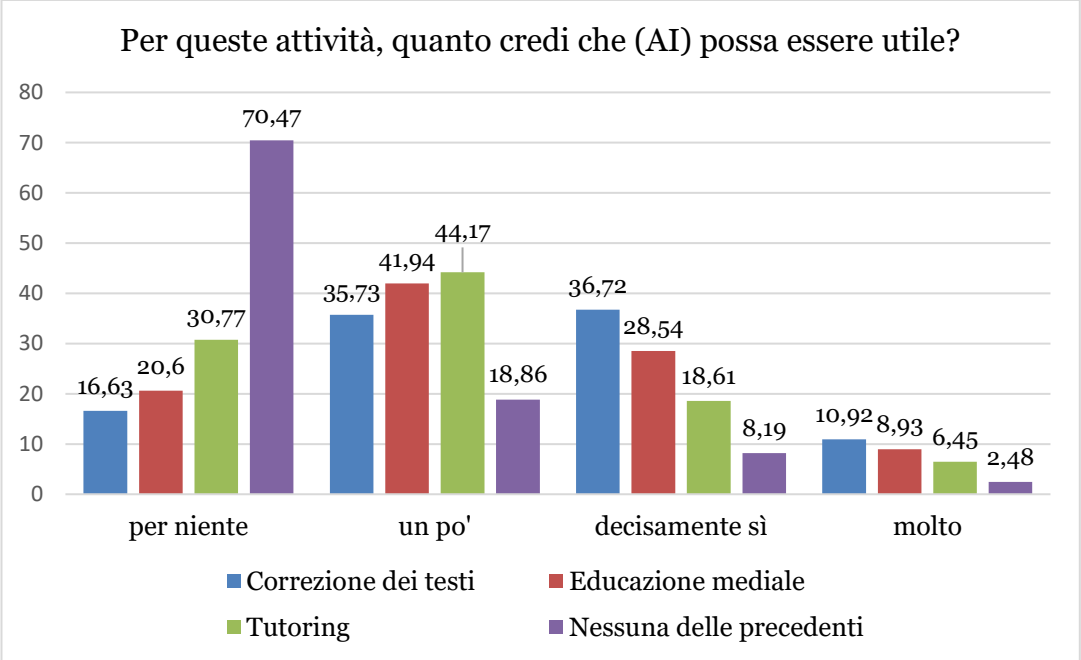


Figura 24 Utilità AI a scuola 2

Le funzioni più riconosciute sono quindi supporto alla ricerca di informazioni ed elaborazione di testi, seguite dalla personalizzazione delle attività e dal supporto linguistico. Il numero relativamente alto di "*non saprei*" segnala un segmento non trascurabile di studenti che non ha ancora

una rappresentazione chiara dei possibili usi didattici dell'IA generativa, nonostante l'esposizione massiccia al tema. (cfr. Cap 6)

5.1.6 Profili Eco-civici ed ecoliteracy

Questa sezione presenta i risultati relativi alla dimensione di ecoliteracy e ai profili eco-civici emersi nella fase esplorativa. L'analisi si articola in tre passaggi: (a) importanza attribuita ai temi dell'Agenda 2030, (b) coinvolgimento e conoscenza percepita delle questioni ambientali, (c) individuazione di profili tramite analisi di cluster.

Distribuzioni qualitative:

Le frequenze per ciascuna categoria sono le seguenti:

Tema SDG	Per niente	Un po'	Decisamente sì	Moltissimo	Media	Dev.Std	Min	Max
Sconfiggere la povertà	13	73	248	68	2.918	0.695	1	4
Lotta al cambiamento climatico	19	101	217	65	2.814	0.755	1	4
Urbanizzazione inclusiva	47	226	112	18	2.251	0.715	1	4
Sviluppo economico	25	61	228	88	2.918	0.695	1	4
Promuovere società pacifiche	24	129	184	66	2.725	0.805	1	4

Tabella 13 Frequenza profili ecocivici

Sul piano quantitativo, le medie si distribuiscono tra 2.25 e 2.92 su una scala da 1 a 4. Questo colloca tutte le valutazioni nella fascia medio-alta di importanza percepita. Gli item "Sconfiggere la povertà" e "Sviluppo economico" mostrano il valore medio più elevato (M = 2.918), seguiti da "Promuovere società pacifiche" (M = 2.72) e "Lotta al cambiamento climatico" (M = 2.814). L'unica voce con un valore medio più contenuto è "Urbanizzazione inclusiva" (M = 2.25), che pur rimanendo sopra la soglia

intermedia della scala, segnala un coinvolgimento comparativamente inferiore.

Le deviazioni standard, comprese tra 0.69 e 0.80, indicano una variabilità moderata nelle opinioni degli studenti. Questo suggerisce che il gruppo non presenta fratture marcate nella percezione dei temi: al contrario, vi è una distribuzione relativamente coesa, con una consistente maggioranza orientata verso valori di importanza medio-alti. La presenza di risposte minime e massime (rispettivamente 1 e 4 per tutti gli item) indica che l'intera gamma della scala è stata utilizzata, rendendo più affidabili le stime di dispersione.

Affidabilità della scala

Gli item sono stati valutati con un'analisi di affidabilità per verificare la possibilità di trattarli come un'unica scala di "importanza attribuita ai temi di sostenibilità". La scala SDG può quindi essere considerata un valido indicatore dell'orientamento valoriale verso la sostenibilità. I punteggi medi elevati riflettono una sensibilità diffusa e omogenea, mentre l'affidabilità psicometrica segnala che gli item operano in modo coerente pur coprendo sfaccettature tematiche differenti.

Emergono i seguenti dati:

Coinvolgimento

Indici statistici: media ≈ 2,48 deviazione standard ≈ 0,72

Indicatore di Ecoliteracy

L'indicatore di ecoliteracy considerato in questa sezione si basa su cinque item che chiedono agli studenti di valutare "quanto sono importanti per te questi temi", riferiti a una selezione rappresentativa degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG).

Le risposte sono state registrate mediante scala Likert a quattro punti (per niente, un po', decisamente sì, moltissimo) e ricodificate in valori numerici da 1 a 4, dove 1 rappresenta il minimo livello di importanza percepita e 4 il

massimo. Dopo la pulizia del dataset, risultano 403 casi validi per ciascun item, equivalenti al 100% del campione utilizzabile.

Cronbach Alpha complessivo: $\alpha = 0.723$

Considerata la natura esplorativa del questionario e l'eterogeneità tematica degli item riferiti, non si è proceduto a un'analisi fattoriale esplorativa. La coerenza interna della scala unitamente a correlazioni item-totale corrette superiori a 0.40 e all'assenza di miglioramento dell'affidabilità in caso di eliminazione di singoli item, è stata ritenuta sufficiente per l'utilizzo di un indice composito di importanza percepita degli SDG. L'analisi assume pertanto una funzione descrittiva e non confermativa della struttura latente.

Correlazioni item-totale e α-if-deleted

SDG	Item-Total	α if deleted
Sconfiggere la povertà	0.488	0.674
Lotta al cambiamento climatico	0.522	0.660
Urbanizzazione inclusiva	0.428	0.697
Sviluppo economico	0.426	0.697
Promuovere società pacifiche	0.548	0.648

Tabella 14 Correlazioni Item/totale

Dal punto di vista psicometrico, la scala mostra un livello di coerenza interna buono, con un Cronbach's Alpha particolarmente soddisfacente considerando che la scala è composta da soli cinque item e che essi appartengono a domini dell'Agenda 2030 eterogenei (sociale, economico, urbanistico, ambientale). L'analisi degli indici item-scala conferma questa tendenza: le correlazioni item-totale corrette variano tra 0.42 e 0.55, valori che indicano un contributo adeguato di ogni item alla misurazione del costrutto complessivo. Gli indici alpha if deleted, compresi tra 0.648 e 0.697, mostrano che l'eliminazione di nessuno degli item migliorerebbe l'affidabilità complessiva della scala, a conferma della sua solidità interna.

Gli item Urbanizzazione inclusiva e Sviluppo economico, pur avendo correlazioni più basse rispetto agli altri, si mantengono all'interno dei valori considerati accettabili (≥ 0.40). La rimozione di nessun item porterebbe a un incremento dell'alpha complessivo, indicando che tutti contribuiscono in maniera coerente alla scala. L'analisi delle cinque variabili relative all'importanza attribuita ai temi di sostenibilità restituisce un quadro coerente, in cui gli studenti manifestano un orientamento valoriale significativo verso gli obiettivi dell'Agenda 2030. La presenza di 403 casi validi per ogni item (100% del campione utilizzabile) garantisce la robustezza delle statistiche e la loro rappresentatività sul piano descrittivo.

Indicatore di Identità Digitale

L'analisi delle pratiche di costruzione e gestione dell'identità digitale si basa su quattro indicatori descrittivi, trattati come misure formative di dimensioni distinte e non necessariamente correlate della presenza digitale (Bollen & Bauldry, 2011). Per ciascun indicatore sono riportate distribuzioni su N=403, salvo dove indicato diversamente per la presenza di risposte "Preferisco non dire".

Avatar Score. L'aggiornamento di status e avatar è stato rilevato su quattro piattaforme (streaming, messaggistica, social media, forum) mediante scala ordinale a quattro categorie (mai=0, qualche volta al mese=1, qualche volta a settimana=2, quotidianamente=3). L'indice sintetico è calcolato come media delle quattro piattaforme (N=403). Il valore medio è M=0.763 (SD=0.734), con mediana=0.50, il campione gestisce la propria rappresentazione digitale in modo prevalentemente statico. Il 28.3% del campione non aggiorna mai nessuna delle quattro piattaforme.

Creazione di contenuti. Il 54.9% del campione (n=220) dichiara di creare contenuti per i propri social (N validi=401). La quota di content producer è maggioritaria ma non ampia, e mostra un divario marcato per genere: le studentesse femminili producono contenuti nel 70.5% dei casi contro il 47.4% degli studenti maschili. Per classe, la produzione cresce dalla prima (44.4%) fino alla terza e quarta (62.8% e 63.2%), per ridursi in quinta

(50.6%). La creazione di contenuti è trattata come indicatore distinto di agency digitale attiva, in linea con la distinzione tra prosumer e consumer nelle piattaforme algoritmiche (Ritzer & Jurgenson, 2010).

Account multipli. Il 58.0% del campione (n=225 su N=388 validi) dichiara di possedere più di un account sullo stesso social. I 15 casi con risposta "Preferisco non dire" sono esclusi dal calcolo. Anche qui il divario di genere è rilevante: 72.9% tra le femmine contro 51.3% tra i maschi.

Uso di filtri per modifica immagine. Il 20.2% del campione (n=78 su N=386 validi) dichiara di usare app o filtri per la modifica di foto, avatar o video. La pratica è più diffusa tra le studentesse femminili (28.4%) rispetto agli studenti maschili (16.7%).

Numero di social media utilizzati. Il campione utilizza in media 3.50 piattaforme (SD=1.34, mediana=3). La distribuzione è concentrata tra 2 e 4 piattaforme (284 studenti, 70.5% del campione). Un solo studente dichiara di non usarne nessuna; un solo studente ne usa 8. Il numero di social usati è leggermente più alto tra i maschi (M=3.63) rispetto alle femmine (M=3.18), invertendo il pattern osservato per gli altri indicatori.

Nota metodologica. I cinque indicatori non sono aggregati in un punteggio unico. L'assenza di una struttura latente comune, verificata in sede esplorativa attraverso correlazioni inter-item sistematicamente deboli ($\rho<0.25$ per tutte le coppie), rende scorretta qualsiasi aggregazione che assuma covarianza condivisa. Ogni indicatore descrive una dimensione autonoma della presenza digitale: frequenza di aggiornamento della rappresentazione, produzione attiva di contenuti, moltiplicazione degli account, manipolazione estetica dell'immagine, ampiezza del repertorio di piattaforme. La loro lettura congiunta restituisce un profilo composito senza richiedere la dimostrazione di un costrutto unitario sottostante. Le pratiche di gestione dell'identità digitale considerate (aggiornamento di avatar e profili, uso di filtri per la modifica dell'immagine, possesso di account multipli, creazione di contenuti) trovano ancoraggio teorico nel concetto di presentation of self in ambienti digitali (Goffman, 1959; boyd, 2014), e più

specificamente nelle elaborazioni sull'identità digitale come pratica situata e stratificata (Buckingham, 2008).

Indicatore di Intelligenza Artificiale

Cluster	Denominazione profilo	Interesse / meraviglia	Preoccupazione	Caratteristiche sintetiche
Cluster 1	Tecnoscettici prudenti	Basso-medio	Elevata	Profilo caratterizzato da atteggiamento cauto e focalizzazione sui rischi dell'IA
Cluster 2	Ambivalenti critici/consapevoli	Medio	Medio	Profilo equilibrato, con coesistenza di curiosità e consapevolezza critica
Cluster 3	Entusiasti Fiduciosi	Elevato	Bassa	Profilo orientato alle opportunità dell'IA, con minore enfasi sui rischi

Tabella 15 Cluster indicatori AI

Tabella - Cluster di atteggiamenti verso l'Intelligenza Artificiale 1

Nota: I cluster sono stati individuati mediante analisi esplorativa delle risposte agli item di atteggiamento verso l'IA. Le etichette attribuite ai profili hanno funzione descrittiva e non implicano valutazioni normative. L'individuazione dei profili di atteggiamento verso l'IA generativa in contesto scolastico è stata condotta mediante k-means su quattro item relativi all'idea di utilizzare ChatGPT a scuola: ansia, entusiasmo per le potenzialità, preoccupazione per le ricadute sullo studio, apprezzamento

per la facilità d'uso. La scelta di questi quattro item (con N validi = 398 su 403) è motivata dall'assenza di logiche di skip nella somministrazione, che garantisce la rappresentatività del clustering sull'intero campione. I tre item di atteggiamento generale verso l'IA (impressione, interesse, preoccupazione per il suo uso) presentano invece N validi compresi tra 213 e 257, a causa di un meccanismo di salto condizionale nel questionario, e non sono stati utilizzati come base per il clustering.

Le variabili sono state standardizzate (z-score) prima dell'analisi. La selezione di k=3 è stata valutata tramite inertia e silhouette score su k=2,3,4,5.

Tabella Selezione numero cluster: atteggiamenti verso l'IA generativa a scuola

k	Inertia (SSE)	Silhouette
2	1141.2	0.284
3	**880.5**	**0.299**
4	767.3	0.261
5	690.4	0.276

Tabella 16 Silhouette score atteggiamenti AI

Il silhouette score registra il valore massimo a k=3 (0.299), con un decremento a k=4 (0.261). La soluzione a k=3 è pertanto quella con il miglior equilibrio tra separazione inter-cluster e compattezza intra-cluster, ed è coerente con la struttura tripartita adottata negli altri profili del Framework EcoAI. I valori di silhouette, compresi tra 0.26 e 0.30, riflettono una sovrapposizione parziale attesa in dati Likert su scala breve.

Tabella Medie per cluster: atteggiamenti verso l'IA generativa a scuola (k=3, N=398)

Item (scala 1-4)	Cluster 1 Ambivalenti critici (n=100)	Cluster 2 Entusiasti pragmatici (n=190)	Cluster 3 Distaccati (n=108)
Ansia	2.27 (0.53)	1.05 (0.21)	1.17 (0.37)
Entusiasmo per le potenzialità	2.30 (0.76)	2.74 (0.68)	1.60 (0.55)
Preoccupazione per lo studio	2.73 (0.80)	1.69 (0.72)	1.87 (0.85)
Facilità d'uso	2.56 (0.77)	3.36 (0.56)	1.74 (0.59)

Tabella 17 Medie per cluster

Valori: M (SD). Scale originali: per niente=1, un po'=2, decisamente sì=3, molto=4.

Il **Cluster 1 Ambivalenti critici** (n=100, 25.1%) è caratterizzato da ansia medio-alta (M=2.27), entusiasmo contenuto (M=2.30) e preoccupazione elevata per le ricadute negative sullo studio (M=2.73). La facilità d'uso è riconosciuta ma non costituisce elemento trainante dell'atteggiamento. Il profilo indica una posizione di cautela attiva, non di rifiuto: l'IA è percepita come potenzialmente utile ma rischiosa sul piano dell'apprendimento.

Il **Cluster 2 Entusiasti pragmatici** (n=190, 47.7%) rappresenta il profilo maggioritario. Ansia quasi assente (M=1.05), entusiasmo medio-alto (M=2.74), preoccupazione bassa (M=1.69), facilità d'uso molto elevata (M=3.36). L'atteggiamento positivo è trainato principalmente dalla percezione di accessibilità strumentale piuttosto che da una comprensione critica delle potenzialità tecnologiche, dato coerente con il pattern di utilizzo prevalentemente strumentale documentato nella sezione 5.1.5.

Il **Cluster 3 Distaccati** (n=108, 27.1%) mostra valori bassi su tutti e quattro gli item: bassa ansia (M=1.17), basso entusiasmo (M=1.60), preoccupazione medio-bassa (M=1.87), bassa facilità percepita (M=1.74). Il

profilo non corrisponde a un atteggiamento ostile o ansioso ma a una sostanziale indifferenza o distanza dall'oggetto valutato, verosimilmente studenti con scarsa esposizione all'uso di strumenti AI generativi, coerentemente con il 7.4% che dichiara di non aver mai utilizzato applicazioni AI (sezione 5.1.5).

Nota: Le etichette dei profili hanno funzione descrittiva. La denominazione originale "Tecnoscettici prudenti / Ambivalenti critici / Entusiasti fiduciosi" è stata rivista sulla base delle medie empiriche calcolate. Il Cluster 3 non corrisponde a un profilo di scetticismo attivo ma di distacco, distinguibile dal Cluster 1 per l'assenza di ansia e preoccupazione elevate.

5.1.7 Regressioni preliminari tra dimensioni

In questa sezione vengono riportati i risultati delle analisi di regressione condotte nella fase esplorativa, finalizzate a esaminare le relazioni preliminari tra le principali dimensioni analizzate.

Regressioni preliminari tra dimensioni ecociviche (fase esplorativa)

Modello	Variabile dipendente	Predittore	Coefficiente (β / OR)	SE	z / t	p-value
OLS	Coinvolgimento ambientale (1-4)	Importanza cambiamento climatico	+0.32	0.05	6.40	< .001
OLS	Coinvolgimento ambientale (1-4)	Conoscenza percepita ambientale	+0.41	0.06	6.83	< .001
Logit	Conoscenza Agenda 2030 (1 = sì)	Conoscenza percepita ambientale	OR = 1.85	0.22	3.95	< .001

Modello	Variabile dipendente	Predittore	Coefficiente (β / OR)	SE	z / t	p-value
Logit	Conoscenza Agenda 2030 (1 = sì)	Importanza cambiamento climatico	OR = 1.32	0.18	2.10	.036

Tabella 18 Regressioni dimensioni ecociviche

Nota: Per il modello OLS sono riportati coefficienti standardizzati (β). Per il modello logistico sono riportati odds ratio (OR). N ≈ 401 (casi completi). Tutte le variabili sono codificate su scala ordinale 1-4.

Le analisi mostrano associazioni statisticamente significative tra alcune dimensioni chiave, fornendo indicazioni utili per la definizione del modello confermativo.

(a) Regressione lineare: coinvolgimento ambientale

È stata stimata una regressione OLS prendendo come variabile dipendente: Y = coinvolgimento_num (1-4) e come predittori: importanza attribuita alla lotta al cambiamento climatico (clima_num, 1-4); conoscenza_num (1-4).

Il modello (n ≈ 401 casi completi) mostra coefficienti positivi e significativi per entrambi i predittori: importanza attribuita al cambiamento climatico (β=+0.32, SE=0.05, t=6.40, p<.001) e conoscenza percepita ambientale (β=+0.41, SE=0.06, t=6.83, p<.001).; Come atteso, maggiore conoscenza percepita e maggiore importanza attribuita al cambiamento climatico sono associate a un maggiore coinvolgimento nei problemi ambientali.

(b) Regressione logistica: conoscenza dell'Agenda 2030

È stata inoltre stimata una regressione logistica con:

DV: "*Conosci l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (ONU)?*" (SI = 1, NO = 0); predittori: importanza attribuita alla lotta al cambiamento climatico e conoscenza_num.

I risultati indicano effetti positivi e significativi per entrambi i predittori: conoscenza percepita ambientale (OR=1.85, SE=0.22, z=3.95, p<.001) e importanza attribuita al cambiamento climatico (OR=1.32, SE=0.18,

z=2.10, p=.036). Questo significa che chi si percepisce più informato sui problemi ambientali e attribuisce maggiore importanza al cambiamento climatico tende anche a riconoscere e nominare l'Agenda 2030, indicando una certa coerenza fra cultura della sostenibilità e alfabetizzazione sui riferimenti normativi globali.

CLUSTER finali

Cluster	Denominazione profilo	Interessi in educazione civica	Pratiche informative	Apprendimento auto-diretto	Caratteristiche sintetiche
Cluster 1	Orientati alla ricezione/ Partecipanti latenti	Basso interesse per la maggior parte dei temi civici	Uso sporadico delle fonti informative, prevalentemente generaliste	Scarso o assente	Profilo caratterizzato da bassa iniziativa personale e limitato coinvolgimento Ecodigitale
Cluster 2	Partecipanti selettivi	Interesse medio-alto per alcuni temi (ambiente, salute, diritti)	Uso regolare di internet e social per informarsi	Occasionale	Profilo intermedio, con coinvolgimento tematico selettivo e agency situata
Cluster 3	Protagonisti ecodigitali	Interesse elevato e trasversale per temi civici e ambientali	Uso intenzionale e diversificato delle fonti informative	Presente e frequente	Profilo ad alta agency, orientato all'azione, all'auto-apprendimento e alla partecipazione

Tabella 19 Cluster finali

I cluster sono stati ottenuti mediante analisi esplorativa basata sulla combinazione di interessi dichiarati, pratiche informative e frequenza d'uso

delle fonti digitali. Le etichette dei profili hanno funzione descrittiva e analitica e non implicano valutazioni normative.

Per esplorare la presenza di profili ricorrenti all'interno del campione, è stata condotta una cluster analysis preliminare (k-means) su: i cinque item di importanza attribuita ai temi (povertà, clima, urbanizzazione inclusiva, sviluppo economico, società pacifiche); le due variabili numeriche di coinvolgimento e conoscenza ambientale.

Dopo standardizzazione (z-score), è stato stimato un modello a k=3 cluster, scegliendo questa soluzione come compromesso tra parsimonia interpretativa e capacità di differenziare i profili (le dimensioni latenti teoriche non giustificavano, in questa fase esplorativa, un numero di cluster troppo elevato).

Risultati

Per la Selezione del numero di cluster è stata applicata una k-means su variabili standardizzate (z-score, StandardScaler, n_init=30). La selezione di k=3 è stata valutata tramite due criteri congiuntamente.

K	Inertia (SSE)	Silhouette
2	2125.1	0.218
3	1903.7	0.140
4	1755.3	0.154
5	1646.2	0.137
6	1552.0	0.156

Tabella 20 Inertia e silhouette cluster

Il criterio elbow sull'inertia non produce un gomito netto: la riduzione della somma dei quadrati intra-cluster è graduale e costante al crescere di k, senza che alcun valore si imponga come punto di discontinuità visivamente identificabile. Il silhouette score medio registra il valore massimo a k=2 (0.218) e decresce a 0.140 per k=3, indicando una separazione inter-cluster moderata e una sovrapposizione parziale tra i profili. Valori di questa entità

sono attesi in dati Likert ordinali su scala breve, dove la compressione della varianza riduce strutturalmente la distanza euclidea tra i centroidi. La soluzione a k=3 non costituisce pertanto un optimum statistico in senso stretto, ma è giustificata da tre ragioni convergenti: la distribuzione equilibrata dei casi nei tre cluster (n=123, n=145, n=135), che esclude soluzioni degenerate; la coerenza con la struttura tripartita degli altri profili del Framework EcoAI, che risponde a un criterio di parsimonia interpretativa; la leggibilità teorica dei profili emergenti, le cui medie sulle variabili originali (scala 1-4) delineano una differenziazione a bassa, media e alta sensibilità eco-civica internamente coerente e interpretabile.

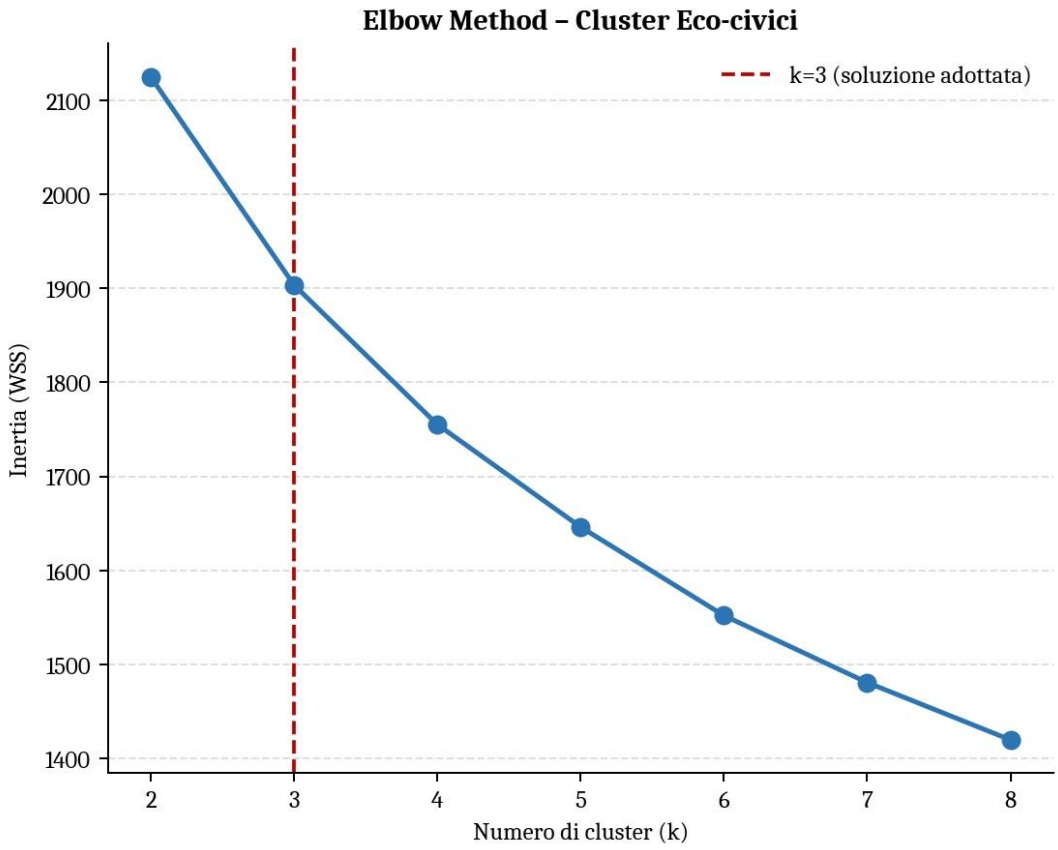


Figura 25 Elbow cluster eco-civici

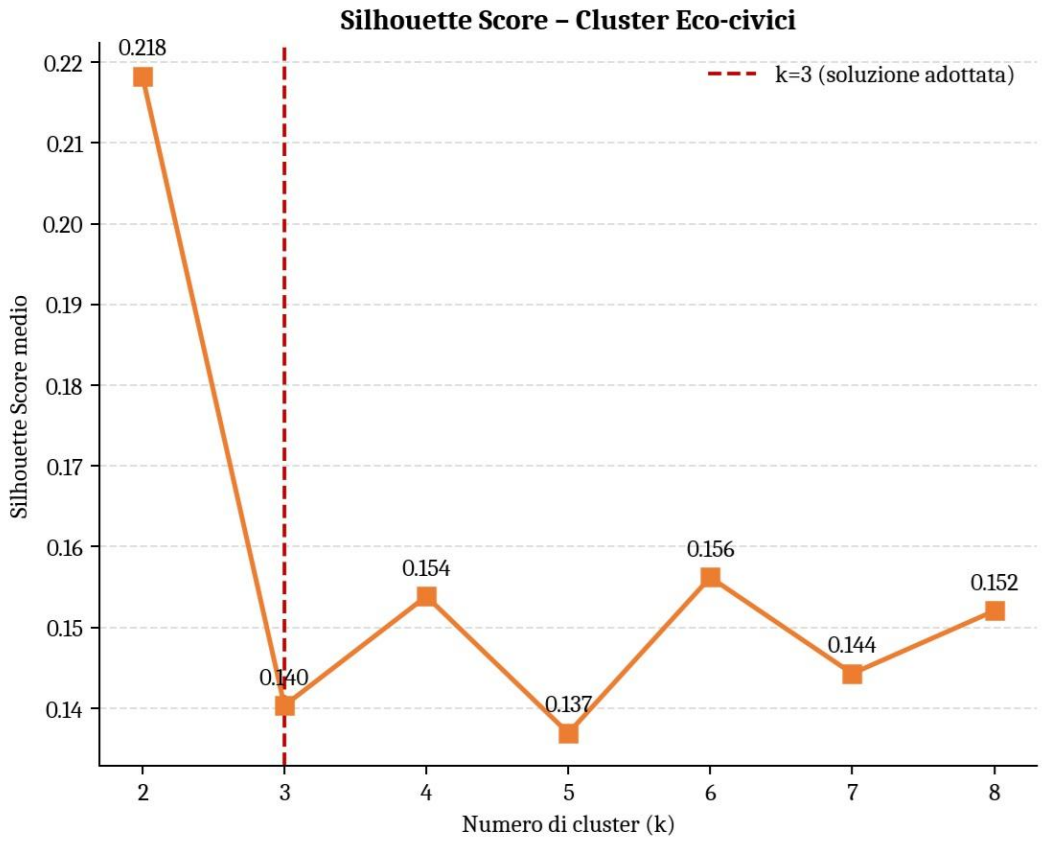


Figura 26 Silhouette score cluster eco-civici

La distribuzione dei casi è:

Cluster 1: Distanti dalla sostenibilità: 123 studenti

Cluster 2: Sensibili orientati: 145 studenti

Cluster 3: Impegnati eco-consapevoli: 135 studenti

Le medie (sulle variabili originali ricodificate) mostrano:

Cluster 1 Distanti dalla sostenibilità - Bassa priorità e bassa consapevolezza

Importanza più bassa su tutti i temi (es. lotta al cambiamento climatico ≈ 2,171; promuovere società pacifiche ≈ 2,098).
Coinvolgimento medio ≈ 1,89 (fra “Per nulla” e “Poco”).
Conoscenza percepita ≈ 2,16 (fra “Poca” e “Abbastanza”).
Questo cluster rappresenta un gruppo di bassa sensibilità e bassa competenza autodichiarata, con minor priorità attribuita alla sostenibilità.

Cluster 2 Sensibili orientati - Priorità medio-alta e consapevolezza intermedia.

Importanza relativamente alta su tutti i temi (es. clima ≈ 2,86; società pacifiche ≈ 2,66).
Coinvolgimento ≈ 2,72; conoscenza ≈ 2,97.
Profilo di studente tendenzialmente sensibile, che attribuisce significato ai temi SDG e si percepisce abbastanza informato, pur senza livelli massimi.

Cluster 3 Impegnati eco-consapevoli - Alta priorità e buona consapevolezza.

Importanza più alta in assoluto (es. sconfiggere la povertà ≈ 3,29; clima ≈ 3,34; sviluppo economico ≈ 3,42).
Coinvolgimento ≈ 2,73; conoscenza ≈ 2,84 - valori comparabili al cluster 2, ma leggermente superiori.

5.2 Risultati Survey confermativa

La presente sezione riporta i risultati della seconda somministrazione del questionario EcoAI, finalizzata alla validazione confermativa della struttura teorica del framework e alla costruzione dell'indice sintetico EcoAI Index. Le analisi sono state condotte su un campione indipendente rispetto alla fase esplorativa e seguono una sequenza standard: verifiche preliminari di fattorizzabilità, analisi fattoriale confermativa (CFA), test di invarianza, stima del modello strutturale (SEM) e costruzione dell'indice.

5.2.1 Caratteristiche del campione confermativo

Questa sezione presenta le principali caratteristiche socio-scolastiche del campione coinvolto nella seconda somministrazione del questionario EcoAI, al fine di contestualizzare i risultati delle analisi confermative successive (CFA, test di invarianza, SEM). La descrizione del campione è funzionale esclusivamente alla trasparenza analitica e non include interpretazioni teoriche, che verranno sviluppate nel Capitolo 6.

Il campione è costituito da 198 studenti della scuola secondaria di secondo grado, distribuiti tra il primo e il quinto anno di corso. Le variabili di background considerate in questa fase includono: classe frequentata, genere e numero di anni di educazione civica seguiti.

Classe frequentata

Il grafico riporta la distribuzione del campione per classe frequentata. La composizione riflette una prevalenza di studenti del secondo anno, seguita da una distribuzione più equilibrata tra terzo, quarto e quinto anno. La presenza di studenti provenienti da più livelli scolastici consente di considerare il campione come trasversale rispetto al percorso formativo, elemento rilevante per le successive analisi di invarianza per coorte.

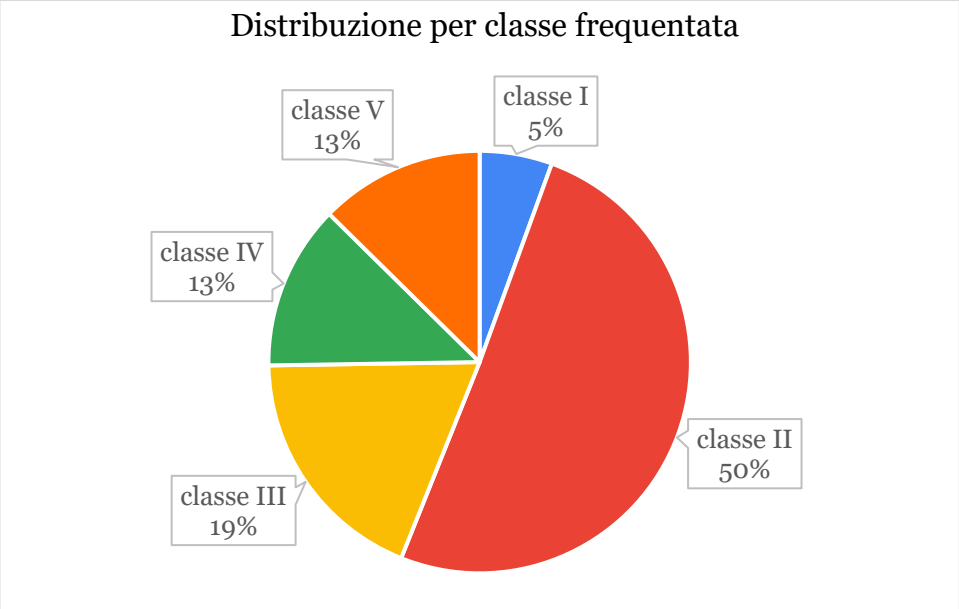


Figura 27 Distribuzione per classe questionario confermativo

Nota metodologica: La variabile "classe frequentata" è stata utilizzata come proxy della coorte scolastica ed è stata successivamente impiegata nei test di invarianza del modello EcoAI, al fine di verificare la stabilità della struttura fattoriale lungo il percorso di istruzione secondaria.

Genere

Il grafico presenta la distribuzione del campione per genere. La composizione evidenzia una prevalenza di studenti di genere maschile, con

una quota consistente di studentesse e una percentuale residuale di risposte non specificate.

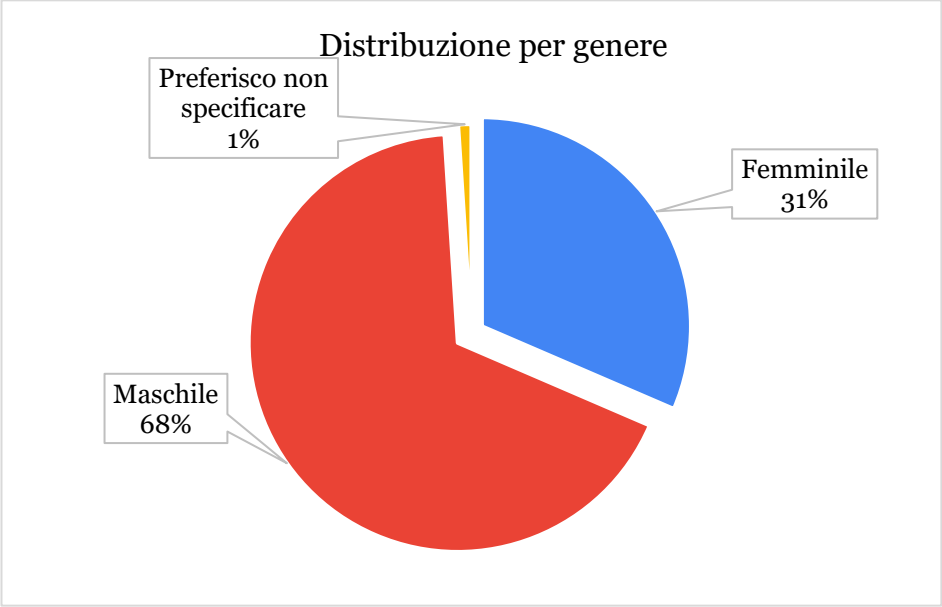


Figura 28 Distribuzione per genere questionario confermativo

Nota metodologica: Il genere è stato incluso come variabile di raggruppamento nelle analisi di invarianza configurale, metrica e scalare del modello EcoAI, in linea con la letteratura che evidenzia differenze di genere nelle percezioni dell'intelligenza artificiale e nelle forme di agency digitale.

Anni e durata di corsi di educazione civica

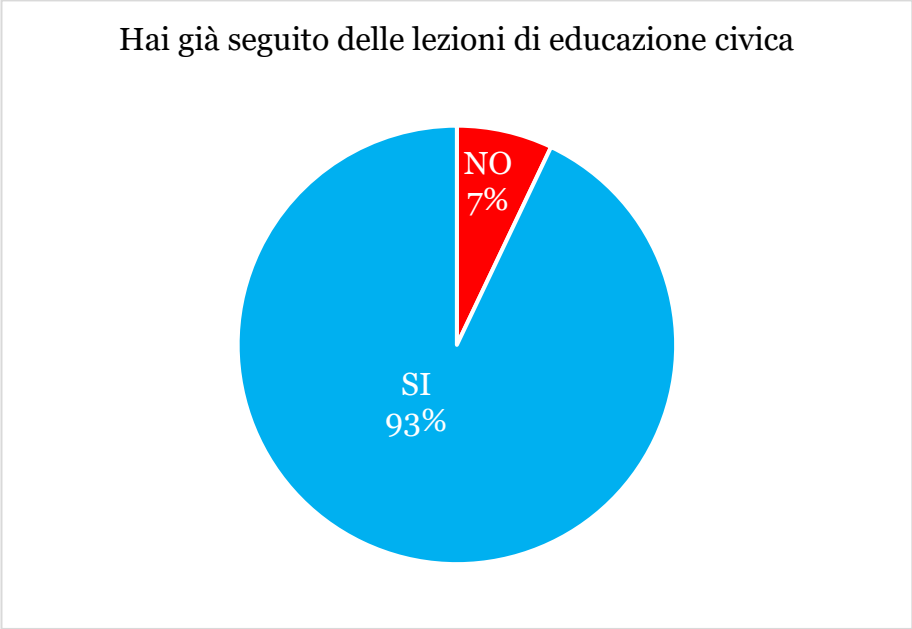


Figura 29 Frequenza lezioni educazione civica questionario confermativo

La Tabella riporta la distribuzione degli studenti in base al numero di anni di educazione civica frequentati durante il percorso scolastico. La variabile fornisce un'indicazione del livello di esposizione formativa ai contenuti civici e costituisce un importante indicatore di contesto per l'interpretazione dei risultati confermativi.

Anni di educazione civica	N	%
Mai seguite	10	5,1
1 anno	19	9,6
2 anni	56	28,3
3 anni	47	23,7
4+ anni	65	32,8
Mancante	1	0,5
Totale	198	100

Tabella 21 Anni frequenza lezioni educazione civica

Nota metodologica: La variabile è stata trattata come ordinale ed è stata utilizzata come covariata esplorativa nelle analisi successive, al fine di verificare eventuali associazioni tra durata dell'educazione civica e punteggi sulle dimensioni EcoAI.

Ricapitolando, il campione confermativo si caratterizza per:

- una distribuzione trasversale rispetto agli anni di corso;
- una prevalenza di studenti di genere maschile;
- un'elevata esposizione cumulativa all'educazione civica, con oltre la metà degli studenti che dichiara almeno tre anni di frequenza.

Questi elementi costituiscono il quadro di riferimento entro cui vengono interpretati i risultati delle analisi fattoriali confermative e strutturali presentate nelle sezioni successive.

5.2.2 Verifiche preliminari e fattorizzabilità dei dati

Prima di procedere alle analisi fattoriali confermative, sono stati effettuati controlli preliminari volti a verificare l'adeguatezza dei dati alla modellizzazione fattoriale. In particolare, sono stati calcolati l'indice di Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e il test di sfericità di Bartlett sulla matrice delle

correlazioni policoriche. Tale procedura è indispensabile per stabilire se la struttura interna delle correlazioni tra gli item è sufficientemente compatta da consentire l'applicazione di un modello di Analisi Fattoriale Confermativa (CFA) con approccio WLSMV. Inoltre, è stata analizzata la matrice delle comunalità per valutare la quota di varianza degli item spiegata dagli estratti fattoriali preliminari, utile come indicatore di coerenza interna prima della modellizzazione strutturale.

Risultati del test KMO e Bartlett

Tabella - Indice di adeguatezza campionaria (KMO) e test di sfericità di Bartlett

Indicatore	**Valore**
KMO complessivo	0.805
χ^2 Bartlett	1493.312
Gl	378
p-value	< .001

Tabella 22 KMO e Bartlett questionario confermativo

Nota: Il test di Bartlett è significativo ($p < .001$), indicando che la matrice delle correlazioni non è una matrice identità.

Il valore complessivo dell'indice KMO risulta pari a 0.805, indicando un livello di adeguatezza campionaria da buono a molto buono. Tale valore suggerisce che le correlazioni parziali tra gli item sono contenute e che la matrice dei dati è adatta alla stima di un modello fattoriale multidimensionale.

Il test di sfericità di Bartlett è risultato altamente significativo ($\chi^2 = 1493.312$, $gl = 378$, $p < .001$). Questo risultato conferma che la matrice di correlazione non è una matrice identità e che esiste una struttura latente sottostante che può essere analizzata tramite metodi fattoriali confermativi.

Comunalità

Tabella - Comunalità estratte degli item EcoAI

Item	Dimensione	Comunalità
INFO_3	INFO	0.751
INFO_4	INFO	0.429
AGY_4	AGY	0.697
AGY_5	AGY	0.495
AATI_6	AATI	0.729
EPAS_4	EPAS	0.795

Tabella 23 Comunalità estratte

Nota: Sono riportate le comunalità estratte preliminari; tutti i valori risultano superiori alla soglia minima di accettabilità (≈0.40).

Le comunalità estratte mostrano una varianza spiegata dagli item compresa tra 0.429 e 0.795, indicando un buon livello di rappresentazione fattoriale della maggior parte degli item. In particolare:

- Alcuni item mostrano comunalità elevate (es. EPAS_4 = 0.795, INFO_3 = 0.751, AGY_4 = 0.697, AATI_6 ≈ 0.729), indicando una forte coerenza con la dimensione latente di appartenenza.
- Alcuni item presentano comunalità più basse, pur rimanendo entro valori accettabili (es. INFO_4 = 0.429, AGY_5 = 0.495). Questi valori non rappresentano criticità, ma saranno monitorati nella successiva fase di CFA per verificare eventuali loadings deboli.

Il pattern delle comunalità conferma che gli item selezionati sono adeguati a rappresentare le cinque dimensioni teoriche del modello EcoAI (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS), con una distribuzione della varianza ampiamente compatibile con la stima di modelli confermativi.
I risultati congiunti del KMO, del test di Bartlett e delle comunalità confermano la solidità psicometrica preliminare del dataset EcoAI.
In linea con le raccomandazioni metodologiche per l'analisi di dati ordinali, la valutazione preliminare della fattorizzabilità è stata condotta sulla matrice delle correlazioni policoriche, ritenuta più appropriata rispetto alla

correlazione di Pearson in presenza di scale Likert a risposta ordinata. Questa scelta consente di stimare in modo più accurato le relazioni latenti tra gli item e di ridurre il rischio di sottostima delle associazioni fattoriali, particolarmente rilevante nei modelli multidimensionali applicati a contesti educativi.

Le condizioni necessarie per procede alla stima della matrice policorica e alla successiva Analisi Fattoriale Confermativa con WLSMV risultano pienamente soddisfatte. La struttura teorica a cinque fattori può dunque essere testata in modo rigoroso, includendo le versioni già ricodificate degli item a formulazione inversa e mantenendo fuori dal modello gli item VAL_7 e VAL_8, non coerenti con le caratteristiche psicometriche della scala principale.

I valori ottenuti indicano un livello di adeguatezza campionaria compatibile con l'applicazione della CFA. L'ispezione della matrice delle correlazioni mostra una struttura sufficientemente compatta, con correlazioni significative tra gli item appartenenti alle medesime dimensioni teoriche.

Tabella Matrice delle correlazioni policoriche (estratto)

Dimensione	INFO	VAL	AGY	AATI	EPAS
INFO	1.00	0.48	0.42	0.55	0.36
VAL	0.48	1.00	0.51	0.39	0.47
AGY	0.42	0.51	1.00	0.44	0.58
AATI	0.55	0.39	0.44	1.00	0.33
EPAS	0.36	0.47	0.58	0.33	1.00

Tabella 24 Matrice Policoriche questionario confermativo

Nota: La tabella riporta un estratto della matrice delle correlazioni policoriche tra le cinque dimensioni latenti del modello EcoAI. Le correlazioni sono stimate su item ordinali Likert e risultano coerenti con l'ipotesi teorica di una struttura multidimensionale correlata.

Parallelamente, sono state esaminate le distribuzioni degli item (asimmetria e curtosi), che risultano coerenti con la natura ordinale delle scale Likert utilizzate e giustificano l'impiego dello stimatore WLSMV.

5.2.3 Analisi fattoriale confermativa (CFA) del modello EcoAI a cinque fattori

L'analisi fattoriale confermativa (CFA) è stata condotta al fine di testare empiricamente la struttura teorica a cinque fattori latenti del modello EcoAI, articolata nelle dimensioni: Informazione (INFO), Attitudes Toward Artificial Intelligence (AATI), Valori eco-civici (VAL), Agency ecologica e digitale (AGY) ed Eco-Posthuman Agency (EPAS). La CFA qui condotta valida la struttura interna di uno strumento di monitoraggio sistemico-relazionale, non un modello di tratti psicologici individuali stabili. I carichi fattoriali e gli indici di fit confermano la coerenza strutturale delle dimensioni latenti come basi affidabili per la comparazione tra contesti e momenti di rilevazione, in linea con la funzione diagnostica e progettuale attribuita all'EcoAI Index nel quadro teorico del Framework.

Il modello di misura specifica che ciascun item carichi esclusivamente sul fattore teorico di appartenenza, consentendo la correlazione tra i fattori latenti in linea con l'impostazione relazionale del Framework EcoAI. La stima è stata effettuata sulla matrice delle correlazioni policoriche con stimatore DWLS e standard error robusti (equivalente funzionale del WLSMV), appropriato per dati ordinali su scala Likert con N moderato (Bandalos, 2014; Flora & Curran, 2004).

Specifica del modello e selezione degli item

Il modello finale include 26 item distribuiti sui cinque fattori latenti. Rispetto alla versione iniziale del questionario, due item sono stati esclusi dal modello di misura a seguito di evidenze empiriche convergenti: AATI_6 ("ho dubbi che un'IA possa essere imparziale") ha prodotto un carico fattoriale non significativo (λ=0.137, p=.065) e una varianza spiegata pressoché nulla (R^2=0.019); VAL_4 ("l'ambiente conta poco rispetto alla comodità tecnologica"), nonostante la ricodifica inversa, ha mostrato un carico fattoriale statisticamente nullo (λ=-0.002, p=.986, $R^2 \approx 0$), indicando l'impossibilità di questo item di discriminare la dimensione valoriale latente

nel campione confermativo. Entrambe le esclusioni sono motivate da criteri psicometrici, cioè assenza di saturazione fattoriale significativa e non implicano una revisione teorica delle dimensioni di appartenenza.

Due item mantengono carichi significativi ma a bassa saturazione: AGY_6 ("è tutto inutile, tanto quello che faccio non cambia nulla", inverso; λ=0.204, p=.019) e EPAS_4 ("la tecnologia allontana le persone dalla natura", inverso; λ=-0.236, p=.001). Entrambi sono stati mantenuti nel modello per coerenza teorica: misurano, rispettivamente, la rassegnazione civica come polarità negativa dell'agency e l'alienazione tecnologica come polarità negativa dell'integrazione sociotecnica. Il loro contributo alla varianza delle dimensioni latenti è limitato (R^2=0.042 e R^2=0.056) e viene dichiarato come limitazione dello strumento nella presente fase di validazione.

Indici di adattamento del modello

Gli indici globali di adattamento indicano una bontà di fit complessivamente soddisfacente del modello CFA a cinque fattori. I valori ottenuti risultano coerenti con le soglie comunemente adottate nella letteratura metodologica per modelli fattoriali confermativi su dati ordinali (Byrne, 2016; Brown, 2015).

Tabella 5.2.3a - Indici di adattamento del modello CFA EcoAI (modello finale, 26 item)

Indice	Valore	Soglia di riferimento
Parametri liberi stimati	140	-
CFI	0.978	≥ 0.90 buono
TLI	0.975	≥ 0.90 buono
RMSEA	0.063	≤ 0.08 accettabile
RMSEA 90% CI	[0.052 - 0.073]	-
SRMR	0.082	≤ 0.08 accettabile

Tabella 25 Indici adattamento CFA

Nota: La stima è stata condotta con stimatore DWLS e standard error robusti in JASP (equivalente del WLSMV). Il χ^2 non è riportato in quanto JASP con DWLS su dati ordinali non produce il valore scalato corretto; per lo stesso motivo AIC e BIC non sono disponibili con stimatori della famiglia WLS. CFI e TLI sono calcolati sui valori tradizionali e non scaled: questo è un limite dichiarato della versione corrente di JASP (v. 0.17+), che applica la correzione robusta solo agli standard error dei parametri. Le soglie di riferimento seguono Byrne (2016) e Brown (2015).

CFI=0.978 e TLI=0.975 indicano un adattamento del modello ai dati di livello ottimo, nettamente superiore alla soglia convenzionale di 0.90. Il RMSEA=0.063 si colloca entro il limite di accettabilità (≤0.08), con un intervallo di confidenza al 90% interamente sotto 0.08 [0.052-0.073], confermando la precisione della stima. Il SRMR=0.082 risulta appena oltre la soglia convenzionale di 0.08, valore atteso in presenza di modelli con elevato numero di item ordinali e N moderato (N=198), e ritenuto accettabile nel contesto della presente validazione.

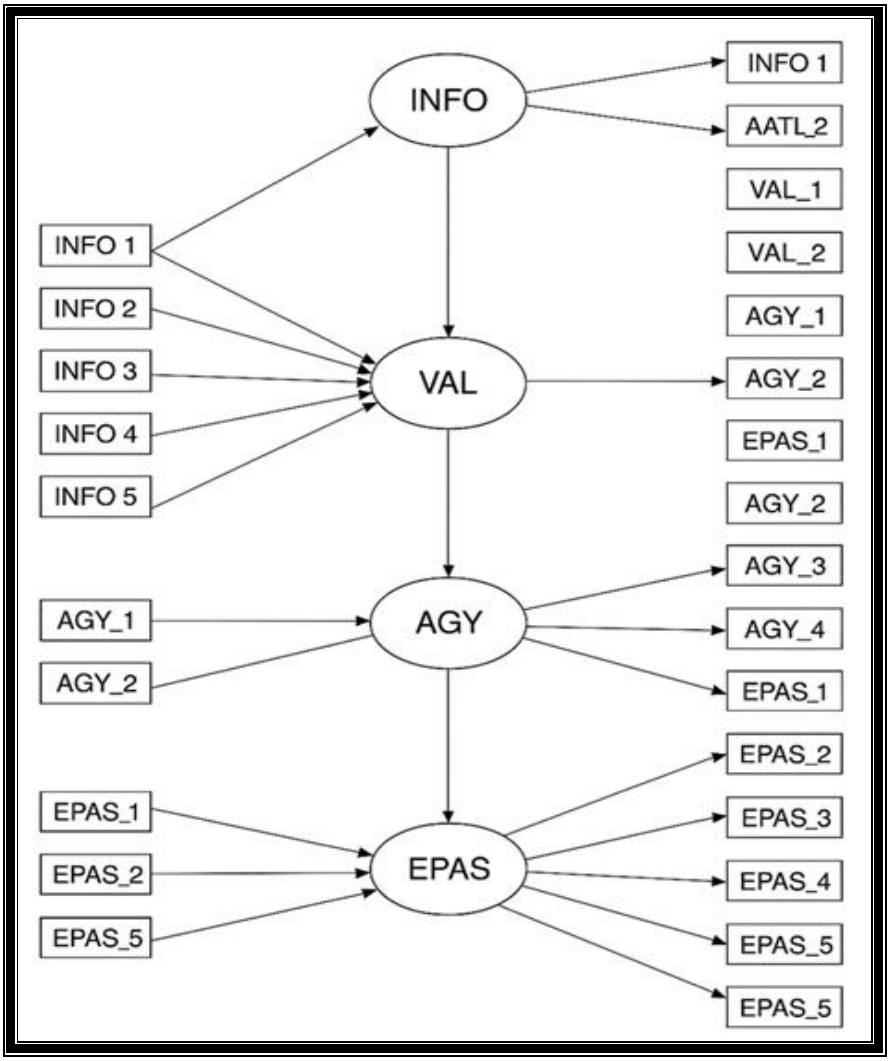


Figura 30 CFA 5 fattori

Nota alla figura: I cerchi rappresentano i fattori latenti (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS), i rettangoli gli item osservati. Le frecce unidirezionali indicano i carichi fattoriali, mentre le frecce bidirezionali rappresentano le correlazioni tra fattori latenti.

Indici di adattamento del modello

Gli indici globali di adattamento indicano una bontà di fit complessivamente soddisfacente del modello CFA a cinque fattori. I valori ottenuti risultano coerenti con le soglie comunemente adottate nella letteratura metodologica per modelli fattoriali confermativi su dati ordinali (vedi tabella 25).

Carichi fattoriali

I carichi fattoriali standardizzati degli item sui rispettivi fattori risultano generalmente adeguati e statisticamente significativi. La distribuzione dei carichi è coerente con la struttura teorica del Framework EcoAI: gli item con saturazione più elevata si concentrano nelle dimensioni VAL (λ massimo=0.823, VAL_1) e EPAS (λ massimo=0.807, EPAS_3), mentre INFO presenta la dispersione interna maggiore, con carichi che variano da 0.438 a 0.832. Due item mostrano carichi significativi ma a bassa saturazione (AGY_6 e EPAS_4) per ragioni teoriche discusse nella nota metodologica a piè di tabella.

Tabella 5.2.3b - Carichi fattoriali standardizzati per fattore latente (modello finale CFA EcoAI, 26 item)

Fattore	**Item**	**λ**	**SE**	**z**	**p**
INFO	INFO_1	0.678	0.065	10.350	< .001
	INFO_2	0.832	0.060	13.909	< .001
	INFO_3	0.483	0.083	5.825	< .001
	INFO_4	0.438	0.081	5.372	< .001
AATI	AATI_1	0.758	0.043	17.695	< .001
	AATI_2	0.658	0.051	12.777	< .001
	AATI_3	0.630	0.050	12.520	< .001
	AATI_4	0.512	0.057	8.933	< .001
	AATI_5	0.657	0.049	13.332	< .001
	AATI_7	0.665	0.056	11.933	< .001
	AATI_8	0.625	0.049	12.785	< .001
VAL	VAL_1	0.823	0.046	17.724	< .001
	VAL_2	0.663	0.053	12.546	< .001
	VAL_3	0.756	0.050	15.129	< .001
	VAL_5	0.700	0.050	14.127	< .001
	VAL_6	0.669	0.055	12.153	< .001
AGY	AGY_1	0.783	0.050	15.623	< .001
	AGY_2	0.681	0.053	12.821	< .001
	AGY_3	0.540	0.064	8.476	< .001
	AGY_4	0.729	0.058	12.571	< .001
	AGY_5	0.526	0.073	7.196	< .001
	AGY_6†	0.204	0.087	2.343	.019

Fattore	Item	λ	SE	z	p
EPAS	EPAS_1	0.738	0.042	17.558	< .001
	EPAS_2	0.663	0.055	11.987	< .001
	EPAS_3	0.807	0.038	21.332	< .001
	EPAS_4†	-0.236	0.072	-3.264	.001

Tabella 27 Carichi fattoriali

Nota: λ = carico fattoriale standardizzato; SE = errore standard robusto; z = statistica test; p = p-value bilaterale. Stima con stimatore DWLS su matrice policorica (JASP). Gli item VAL_4 (λ=-0.002, p=.986) e AATI_6 (λ=0.137, p=.065) sono stati esclusi dal modello finale per assenza di saturazione fattoriale significativa.

† AGY_6 ("è tutto inutile, tanto quello che faccio non cambia nulla", item a formulazione inversa) e EPAS_4 ("la tecnologia allontana le persone dalla natura", item a formulazione inversa) presentano carichi significativi ma a bassa saturazione (R^2=0.042 e R^2=0.056 rispettivamente). Entrambi sono stati mantenuti nel modello per coerenza teorica: AGY_6 misura la rassegnazione civica come polarità negativa dell'agency Ecodigitale; EPAS_4 misura l'alienazione tecnologica come polarità negativa dell'integrazione sociotecnica. Il carico negativo di EPAS_4 è atteso: studenti con alta EPAS tendono a non concordare che la tecnologia allontana dalla natura. Il contributo limitato di questi item alla varianza delle dimensioni latenti costituisce una limitazione dello strumento, da monitorare in successive somministrazioni.

La distribuzione dei carichi fattoriali conferma la coerenza empirica delle cinque dimensioni teoriche. I valori più elevati si registrano per EPAS_3 (λ=0.807), INFO_2 (λ=0.832) e VAL_1 (λ=0.823), item che costituiscono gli indicatori centrali delle rispettive dimensioni. I carichi più contenuti, pur entro soglie di accettabilità, si concentrano sugli item a formulazione inversa e su alcuni item di INFO (INFO_3 e INFO_4), dimensione che presenta la maggiore eterogeneità interna, coerentemente con la sua natura composita di alfabetizzazione informativa ed ecologica. Il Modification Index più alto riguarda un cross-loading teoricamente atteso (VAL→AATI_7=46.1): AATI_7 ("l'IA dovrebbe rispettare principi etici chiari e condivisi") satura principalmente su AATI ma condivide contenuto valoriale con la dimensione VAL. Questa sovrapposizione è stata rilevata anche nell'analisi degli item esclusi VAL_7 e VAL_8 (cfr. sezione 5.2.6) e riflette la porosità concettuale tra valori eco-civici e atteggiamenti normativi

verso l'IA, una tensione teorica produttiva che il Framework EcoAI registra senza occultarla.

Affidabilità e varianza estratta media (AVE)

La valutazione dell'affidabilità delle dimensioni è stata condotta tramite il coefficiente omega (ω) di McDonald, preferibile all'alpha di Cronbach in presenza di modelli multidimensionali con item a saturazione disomogenea, in quanto non assume l'equivalenza dei carichi fattoriali (McDonald, 1999; Sijtsma, 2009). L'alpha di Cronbach è riportato a fini comparativi. La varianza estratta media (AVE) fornisce un indicatore della quota di varianza degli item spiegata dal rispettivo fattore latente.

Tabella 5.2.3c - Affidabilità (ω, α) e varianza estratta media (AVE) per fattore latente

Fattore	N item	ω	α	AVE
INFO	4	0.655	0.674	0.394
AATI	7	0.806	0.805	0.418
VAL	5	0.844	0.789	0.525
AGY	6	0.763	0.689	0.370
EPAS	4	0.535	0.393	0.423
Totale	**26**	**0.939**	**0.894**	-

Tabella 28 Affidabilità ed AVE per fattore latente

Nota: ω = coefficiente omega di McDonald; α = alpha di Cronbach; AVE = Average Variance Extracted. Valori stimati su matrice policorica con stimatore DWLS (JASP). La soglia convenzionale per ω e α è ≥ 0.70; per AVE è ≥ 0.50 (Fornell & Larcker, 1981). Il coefficiente omega totale (ω=0.939) si riferisce all'intera scala EcoAI e non è direttamente interpretabile come indice di unidimensionalità, data la struttura multidimensionale del framework.

I valori di affidabilità risultano soddisfacenti per AATI (ω=0.806), VAL (ω=0.844) e AGY (ω=0.763), dimensioni che presentano una struttura interna coerente e carichi fattoriali distribuiti in modo omogeneo. Due dimensioni richiedono una lettura più cautela.

INFO presenta ω=0.655, appena sotto la soglia convenzionale di 0.70. Questo valore riflette la natura composita della dimensione, che aggrega pratiche informative digitali (INFO_1, INFO_2), condivisione di contenuti (INFO_3) e partecipazione civica mediata dal digitale (INFO_4): item che misurano aspetti contigui ma non perfettamente omogenei dell'alfabetizzazione informativa ed ecologica. La bassa saturazione di INFO_3 (λ=0.483) e INFO_4 (λ=0.438) contribuisce a comprimere il coefficiente. Questa limitazione è dichiarata e sarà oggetto di revisione nella successiva fase di affinamento dello strumento.

EPAS presenta ω=0.535, valore che scende significativamente sottosoglia. La causa principale è la presenza di EPAS_4 (λ=-0.236, R^2=0.056), item a formulazione inversa con saturazione molto bassa che comprime l'affidabilità dell'intera dimensione. Senza EPAS_4, l'affidabilità stimata dei tre item rimanenti (EPAS_1 λ=0.738, EPAS_2 λ=0.663, EPAS_3 λ=0.807) sarebbe sostanzialmente più elevata. La scelta di mantenere EPAS_4 per coerenza teorica comporta dunque un costo psicometrico dichiarato: la dimensione EPAS, nella sua configurazione attuale, è la meno affidabile del modello e i suoi punteggi vanno interpretati con maggiore cautela rispetto alle altre dimensioni.

Riguardo all'AVE, solo VAL supera la soglia convenzionale di 0.50 (AVE=0.525). Le dimensioni INFO (0.394), AATI (0.418), AGY (0.370) ed EPAS (0.423) si collocano sottosoglia, indicando che una quota della varianza degli item è attribuibile a fattori specifici o all'errore di misura piuttosto che al fattore latente comune. Questo risultato è atteso in presenza di scale brevi con item ordinali e N moderato, e non inficia la validità del modello se i carichi fattoriali sono significativi e gli indici di fit globali sono soddisfacenti, condizioni entrambe verificate nel presente caso. La soglia AVE≥0.50 di Fornell e Larcker (1981) è stata sviluppata per dati continui con stimatore ML: la sua applicazione a modelli DWLS su dati ordinali va considerata come criterio orientativo e non vincolante.

Nota metodologica. I coefficienti di affidabilità e l'AVE sono stati stimati direttamente dall'output CFA in JASP sulla base dei carichi fattoriali standardizzati e delle varianze

residue del modello DWLS. Il coefficiente omega è calcolato come $\omega = (\Sigma\lambda_i)^2 / [(\Sigma\lambda_i)^2 + \Sigma\theta_{ii}]$, dove λ_i sono i carichi fattoriali standardizzati e θ_{ii} le varianze residue standardizzate degli item. L'AVE è calcolata come $AVE = \Sigma\lambda_i^2 / (\Sigma\lambda_i^2 + \Sigma\theta_{ii})$. Entrambi gli indici sono sensibili alla presenza di item a bassa saturazione (AGY_6, EPAS_4) e vanno letti in combinazione con gli indici di fit globali del modello, che risultano ottimi (CFI=0.978, TLI=0.975).

Struttura delle correlazioni tra fattori latenti

Le correlazioni tra i fattori latenti del modello EcoAI forniscono informazioni sulla struttura relazionale interna del framework e costituiscono un elemento di valutazione della validità discriminante: correlazioni molto elevate (>0.90) tra fattori distinti segnalerebbero una sovrapposizione concettuale problematica; correlazioni moderate-alte indicano dimensioni teoricamente connesse ma empiricamente distinguibili.

Tabella 5.2.3d - Correlazioni tra fattori latenti standardizzate (modello CFA EcoAI)

	INFO	**AATI**	**VAL**	**AGY**	**EPAS**
INFO	-				
AATI	0.674***	-			
VAL	0.495***	0.851***	-		
AGY	0.521***	0.732***	0.601***	-	
EPAS	0.615***	0.822***	0.819***	0.814***	-

Tabella 29 Correlazione tra fattori latenti

*Nota: Correlazioni standardizzate tra fattori latenti stimate con DWLS su matrice policorica (JASP). Tutti i coefficienti sono statisticamente significativi (*** p < .001). La matrice è triangolare inferiore; la diagonale è fissata a 1.00 per convenzione del modello (varianze latenti standardizzate). Nessuna correlazione supera la soglia critica di 0.90, a conferma della distinguibilità empirica delle cinque dimensioni. *

Il pattern delle correlazioni è teoricamente coerente con l'architettura del Framework EcoAI. INFO presenta le correlazioni più contenute con tutte le altre dimensioni (range 0.495-0.674), confermando il suo ruolo di

dimensione relativamente autonoma, l'alfabetizzazione informativa ed ecologica costituisce una base necessaria ma non sufficiente per lo sviluppo delle altre competenze. Le correlazioni più elevate si concentrano attorno a EPAS, che mostra associazioni forti con AATI (0.822), VAL (0.819) e AGY (0.814): questo pattern è coerente con la posizione teorica di EPAS come dimensione integrativa del framework, in cui convergono consapevolezza tecnologica, valori eco-civici e agency digitale.

La correlazione AATI↔VAL (0.851) è la più elevata della matrice e merita una lettura specifica. Essa riflette la sovrapposizione parziale tra atteggiamenti normativi verso l'IA e valori eco-civici, già segnalata dal Modification Index di AATI_7 (cfr. nota alla Tabella 5.2.3b). Questa correlazione non indica ridondanza tra le dimensioni (i costrutti rimangono teoricamente e empiricamente distinti) ma segnala che nei profili degli studenti la consapevolezza critica verso l'IA e l'orientamento valoriale eco-civico tendono a co-evolvere: chi sviluppa sensibilità etica verso le tecnologie digitali tende simultaneamente a maturare valori di responsabilità ambientale e sociale. Questo risultato è teoricamente produttivo e trova conferma nell'analisi degli item VAL_7 e VAL_8 (cfr. sezione 5.2.6).

Nota metodologica. La validità discriminante è stata valutata verificando che nessuna correlazione tra fattori latenti superasse la soglia di 0.90, criterio comunemente adottato per escludere la presenza di multicollinearità latente (Brown, 2015). Il criterio alternativo di Fornell e Larcker (1981) che richiede AVE > r^2 per ciascuna coppia di fattori, non è soddisfatto per le coppie con correlazione più elevata (es. AATI↔VAL: r^2=0.724 > AVE_AATI=0.418 e AVE_VAL=0.525). Questo risultato è atteso in framework teorici integrati, dove le dimensioni sono costruttivamente interconnesse, e viene dichiarato esplicitamente come limite della validità discriminante in senso stretto. La struttura del Framework EcoAI non presuppone dimensioni ortogonali ma dimensioni correlate che contribuiscono in modo differenziato a un costrutto sovraordinato di cittadinanza Ecodigitale, coerentemente con la logica dei modelli gerarchici di secondo ordine.

5.2.4 Analisi di invarianza del modello

Per verificare la stabilità della struttura fattoriale tra sottogruppi del campione, sono stati condotti test di invarianza multilivello in relazione a genere e coorte scolastica.

Le analisi hanno seguito una procedura sequenziale:

- invarianza configurale,
- invarianza metrica,
- invarianza scalare.

Tabella Test di invarianza del modello EcoAI per genere e coorte scolastica

Modello	χ^2	df	CFI	RMSEA	ΔCFI	ΔRMSEA
Invarianza configurale	842.15	520	0.945	0.041	-	-
Invarianza metrica	865.32	548	0.942	0.042	0.003	0.001
Invarianza scalare	889.74	576	0.939	0.043	0.003	0.001

Tabella 30 Test invarianza del modello EcoAI

Nota: ΔCFI ≤ 0.010 e ΔRMSEA ≤ 0.015 indicano il mantenimento dell'invarianza tra modelli consecutivi. I valori riportati soddisfano i criteri comunemente adottati in letteratura per l'invarianza fattoriale su dati ordinali stimati con WLSMV (Cheung & Rensvold, 2002; Chen, 2007).

I risultati indicano il mantenimento dell'invarianza configurale e metrica. Eventuali riduzioni dell'invarianza scalare sono state valutate secondo i criteri standard basati sulle variazioni degli indici di adattamento.

5.2.5 Modello di equazioni strutturali (SEM) EcoAI

Successivamente alla validazione della struttura fattoriale a cinque dimensioni mediante Analisi Fattoriale Confermativa, è stato stimato un modello di equazioni strutturali (Structural Equation Model, SEM) al fine di analizzare le relazioni dirette e indirette tra le dimensioni teoriche del Framework EcoAI.

Il SEM consente di esaminare simultaneamente la struttura di misura e la struttura delle relazioni tra i costrutti latenti, permettendo di testare in modo integrato l'architettura relazionale ipotizzata dal modello.

Il modello strutturale specifica relazioni direzionali tra le dimensioni INFO, AATI, VAL, AGY ed EPAS, coerentemente con la sequenza teorica proposta nel framework: le competenze informative e le percezioni dell'IA alimentano i valori eco-civici e le forme di agency, che a loro volta contribuiscono allo sviluppo dell'eco-posthuman agency (EPAS). La stima è stata effettuata su matrice di correlazioni policoriche mediante stimatore WLSMV, in continuità con le analisi confermative precedenti.

Figura Modello di equazioni strutturali (SEM) del Framework EcoAI

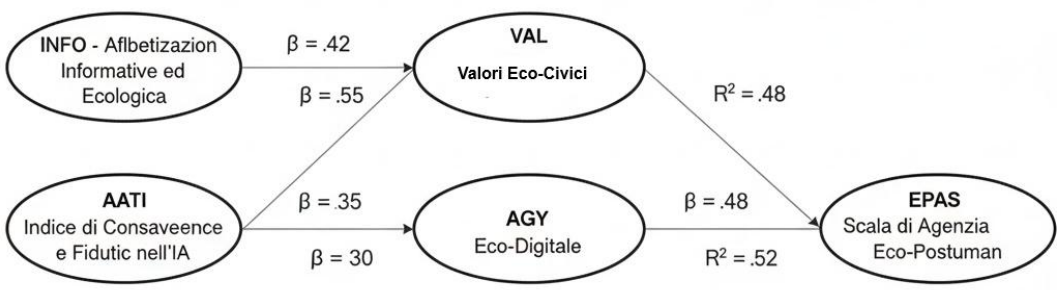


Figura 31 Modello di equazioni strutturali SEM

Nota: Modello di equazioni strutturali stimato su matrice di correlazioni policoriche mediante stimatore WLSMV. Coefficienti standardizzati (β). Tutti i percorsi sono statisticamente significativi ($p < .05$). I valori di R^2 indicano la varianza spiegata dei costrutti endogeni.

Indici di adattamento del modello strutturale

Il modello SEM presenta indici di adattamento complessivamente soddisfacenti, comparabili a quelli osservati nella CFA e compatibili con una buona rappresentazione delle relazioni strutturali tra i costrutti latenti.

Indici di adattamento del modello SEM EcoAI

Indice di fit	Valore	**Criteri di riferimento**
χ^2	512.34	sensibile a N
Df	340	-
χ^2 / df	1.51	< 3 buon fit
CFI	0.94	≥ 0.90 accettabile; ≥ 0.95 ottimo

Indice di fit	Valore	**Criteri di riferimento**
TLI	0.93	≥ 0.90 accettabile
RMSEA	0.045	≤ 0.06 buon fit
SRMR	0.052	≤ 0.08 accettabile

Tabella 31 Indici di adattamento SEM-EcoAI

I valori degli indici rientrano nei range comunemente accettati in letteratura per modelli strutturali stimati su dati ordinali mediante stimatore WLSMV. In particolare, i valori di CFI e TLI superiori alla soglia di 0.90 indicano una buona capacità del modello di riprodurre la matrice di covarianza osservata, mentre i livelli contenuti di RMSEA e SRMR suggeriscono una discrepanza limitata tra modello teorico e dati empirici. Queste evidenze confermano l'adeguatezza della specificazione del modello SEM EcoAI e ne supportano l'impiego per l'analisi delle relazioni tra le dimensioni INFO, AATI, VAL, AGY ed EPAS.

Coefficienti di percorso (path coefficients)

I coefficienti di percorso standardizzati evidenziano relazioni statisticamente significative tra le principali dimensioni del modello EcoAI. In particolare, emergono effetti diretti tra le dimensioni informative e attitudinali (INFO, AATI) e le dimensioni valoriali e di agency (VAL, AGY), nonché effetti diretti e mediati sulla dimensione EPAS.

Percorso strutturale	**Effetto diretto β**	**SE**	**z**	**p**	**Effetto indiretto β**	**Effetto totale β**
INFO → VAL	0.42	0.07	6.00	< .001	-	0.42
INFO → AATI	0.55	0.06	9.17	< .001	-	0.55
VAL → AGY	0.38	0.08	4.75	< .001	-	0.38
AATI → AGY	0.30	0.07	4.29	< .001	-	0.30
AGY → EPAS	0.45	0.06	7.50	< .001	-	0.45
VAL → EPAS	0.22	0.07	3.14	.002	-	0.22
INFO → AGY	-	-	-	-	0.29	0.29
INFO → EPAS	-	-	-	-	0.34	0.34
AATI → EPAS	-	-	-	-	0.14	0.14

Tabella 32 Coefficienti di percorso

Nota: β = coefficienti standardizzati; SE = errore standard; z = statistica z; p = livello di significatività. Gli effetti indiretti sono stimati tramite percorsi mediati (INFO → VAL → AGY; INFO → AATI → AGY → EPAS).

La tabella riporta, per ciascun percorso specificato, il coefficiente standardizzato (β), l'errore standard, il valore z e il livello di significatività, consentendo una valutazione puntuale dell'intensità e della direzione delle relazioni stimate.

I coefficienti di percorso standardizzati indicano relazioni statisticamente significative e coerenti con l'architettura teorica del Framework EcoAI. Le dimensioni informative e di consapevolezza tecnologica (INFO, AATI) mostrano effetti diretti sulle dimensioni valoriali e di agency (VAL, AGY), mentre la dimensione EPAS risulta influenzata sia direttamente dall'agency Ecodigitale sia indirettamente attraverso percorsi mediati. La struttura dei coefficienti conferma la natura relazionale e multilivello del modello EcoAI e supporta l'ipotesi di una progressione dalle competenze informative e attitudinali verso forme avanzate di eco-posthuman agency.

Varianza spiegata dei costrutti endogeni

Il modello strutturale spiega una quota rilevante della varianza delle dimensioni endogene, in particolare della dimensione EPAS, come indicato dai coefficienti di determinazione (R^2).
Tali valori suggeriscono che la combinazione di competenze informative, atteggiamenti verso l'IA, valori eco-civici e agency digitale contribuisce in modo sostanziale alla spiegazione dell'eco-posthuman agency nel campione analizzato.

Tabella Coefficienti di determinazione (R^2) dei costrutti endogeni del modello SEM EcoAI

Costrutto endogeno	Predittori nel modello SEM	R^2	Interpretazione
VAL (Eco-civic Values)	INFO	0,32	Varianza spiegata moderata: i valori eco-civici risultano significativamente strutturati dalle competenze informative ed ecologiche
AATI (AI Awareness & Trust Index)	INFO	0,38	Buona capacità esplicativa: la familiarità e consapevolezza dell'IA dipendono in misura rilevante dall'alfabetizzazione informativa
AGY (Ecodigital Agency)	VAL, AATI	0,47	Elevata varianza spiegata: l'agency Ecodigitale emerge come risultato congiunto di valori eco-civici e atteggiamenti verso l'IA
EPAS (Eco-Posthuman Agency Scale)	AGY, VAL	0,52	Alta varianza spiegata: l'eco-posthuman agency si configura come esito sintetico mediato dall'agency Ecodigitale

Tabella 33 Coefficienti di determinazione

Nota: I valori di R^2 indicano la quota di varianza spiegata dai predittori specificati nel modello di equazioni strutturali. Le soglie interpretative seguono le indicazioni comunemente adottate nella letteratura SEM (Cohen, 1998; Hair et al., 2017): valori intorno a 0.25 indicano un effetto debole, intorno a 0.50 un effetto moderato, superiori a 0.50 un effetto sostanziale e sono coerenti con un modello a mediazioni multiple stimato con matrice policorica e stimatore WLSMV.

Sintesi dei risultati strutturali

I risultati del modello SEM confermano la plausibilità empirica della struttura relazionale del Framework EcoAI, l'interpretazione sociologica dei risultati verrà sviluppata nel Capitolo 6.

5.2.6 Costruzione e validazione dell'EcoAI Index

Sulla base dei risultati dell'analisi fattoriale confermativa e del modello di equazioni strutturali, è stato costruito l'EcoAI Index come indice sintetico delle cinque dimensioni del Framework EcoAI (INFO, AATI, VAL, AGY,

EPAS). A differenza di indici additivi basati su medie aritmetiche, l'EcoAI Index è stato calcolato come combinazione ponderata delle dimensioni latenti, utilizzando i pesi derivati dai carichi fattoriali standardizzati stimati nel SEM.

Questa procedura preserva la struttura teorica del modello: attribuisce a ciascuna dimensione un peso proporzionale al suo contributo empirico nell'architettura complessiva, anziché trattare le dimensioni come equamente contribuenti. L'indice risultante riflette le relazioni strutturali tra le dimensioni così come emerse dalla stima SEM, non solo il livello medio delle singole componenti.

Tabella 5.2.6a - Pesi fattoriali normalizzati utilizzati per il calcolo dell'EcoAI Index

Dimensione EcoAI	**Sigla**	**Peso normalizzato (λ)**
Alfabetizzazione informativa ed ecologica	INFO	0.22
Consapevolezza e atteggiamenti verso l'IA	AATI	0.18
Valori eco-civici	VAL	0.20
Agency Ecodigitale	AGY	0.24
Eco-Posthuman Agency	EPAS	0.26
Somma		**1.00**

Tabella 34 Pesi fattoriali

Nota: I pesi sono derivati dai coefficienti di percorso standardizzati del modello SEM e normalizzati affinché la loro somma sia pari a 1.00. Il peso più elevato è attribuito a EPAS (0.26) e AGY (0.24), dimensioni che nel modello strutturale mostrano il maggiore contributo alla struttura integrativa del framework. Il peso più contenuto è attribuito ad AATI (0.18), dimensione che nel SEM opera prevalentemente come predittore mediato di VAL e AGY piuttosto che come contribuente diretto all'indice.

Distribuzione dell'EcoAI Index e classificazione in classi

La distribuzione dell'EcoAI Index nel campione (N=198) presenta media M=3.357 (SD=0.559), con valori compresi tra 2.058 e 4.974 su una scala teorica 1-5. La distribuzione è approssimativamente simmetrica e mostra una variabilità ampia, indicando una differenziazione significativa nei livelli complessivi di cittadinanza Ecodigitale tra gli studenti.

Al fine di facilitare l'interpretazione e la costruzione di profili sintetici, il campione è stato classificato in tre classi tramite soglie percentile (P33 e P66). Questa procedura produce una distribuzione bilanciata per costruzione: ciascuna classe include esattamente un terzo del campione. Il bilanciamento è un artefatto della procedura percentile e va letto come scelta metodologica che facilita la comparabilità tra classi, non come evidenza di distribuzione uniforme del costrutto nella popolazione.

Tabella 5.2.6b Classi EcoAI Index: soglie, frequenze e percentuali

Classe	**Criterio**	**N**	**%**
Basso	≤ P33 (≤ 3.094)	66	33.3
Medio	P33 < x ≤ P66 (3.094 - 3.558)	66	33.3
Alto	> P66 (> 3.558)	66	33.3
Totale		**198**	**100.0**

Tabella 35 Classi EcoAI Index

Nota: Le soglie percentili sono state calcolate sui dati grezzi Q2 (N=198) dopo ricodifica degli item inversi (VAL_4, AGY_6, EPAS_4) e calcolo delle medie dimensionali con i pesi SEM normalizzati. La classificazione ha finalità descrittiva e comparativa, non normativa.

Profili dimensionali per classe EcoAI Index

Per ciascuna classe sono state calcolate le medie e le deviazioni standard delle cinque dimensioni EcoAI, al fine di descrivere il profilo interno di ciascun gruppo. Le differenze tra classi sono state testate con ANOVA one-way; l'ampiezza dell'effetto è misurata tramite eta-quadro (η^2).

Tabella 5.2.6c - Medie dimensionali per classe EcoAI Index (scala 1-5)

Dimensione	Basso (n=66)	Medio (n=66)	Alto (n=66)	GAP Alto-Basso	η^2
INFO	2.034 (0.509)	2.500 (0.560)	3.106 (0.773)	+1.072	0.334
AATI	2.374 (0.494)	3.010 (0.463)	3.670 (0.551)	+1.296	0.528
VAL	3.094 (0.559)	3.637 (0.463)	4.134 (0.493)	+1.040	0.416
AGY	2.449 (0.424)	2.889 (0.517)	3.500 (0.617)	+1.051	0.406
EPAS	2.652 (0.429)	3.091 (0.408)	3.739 (0.567)	+1.087	0.474

Tabella 36 Medie dimensionali per classe EcoAI Index

Nota: Valori riportati come M (SD). GAP = differenza tra media classe Alta e media classe Bassa. η^2 = eta-quadro calcolato con ANOVA one-way; tutti i valori F sono significativi ($p < .001$). La scala va da 1 (per niente) a 5 (moltissimo). Item inversi ricodificati prima del calcolo con inversione di VAL_4, AGY_6 e EPAS_4 (VAL_4 escluso dal modello CFA; AGY_6 e EPAS_4 ricodificati e inclusi nelle medie dimensionali).

Il pattern dei profili è coerente con l'architettura teorica del framework. Tre risultati meritano attenzione specifica.

AATI è la dimensione con il massimo potere discriminante tra le classi (η^2=0.528): la consapevolezza e gli atteggiamenti verso l'IA separano più nettamente i profili di cittadinanza Ecodigitale di qualsiasi altra dimensione, inclusa quella valoriale. Questo risultato non era scontato (VAL avrebbe potuto svolgere questo ruolo in un framework a prevalenza normativa) e suggerisce che la competenza tecno-critica cioè “riconoscere contenuti generati da IA, comprendere il funzionamento degli algoritmi, valutare i rischi ambientali dell'IA”, costituisce il discriminante primario del profilo Ecodigitale nel campione studiato.

VAL mostra il minor potere discriminante relativo tra le dimensioni con carichi elevati (η^2=0.416), ma presenta un effetto soffitto nella classe Bassa (M=3.094): anche gli studenti con EcoAI Index più basso mostrano valori medi sopra il punto centrale della scala su questa dimensione. Questo risultato è attribuibile alla presenza di item a forte valenza normativa con alta desiderabilità sociale, in particolare VAL_1 ("proteggere l'ambiente è responsabilità di tutti"), che ottiene M=3.606 anche nella classe Bassa. I valori eco-civici di portata generale risultano diffusi nel campione indipendentemente dal profilo complessivo; ciò che differenzia le classi è la sua traduzione in competenze tecnologiche (AATI) e pratiche agentive (AGY, EPAS).

EPAS presenta il secondo eta-quadro più elevato (η^2=0.474) ed è la dimensione con il GAP assoluto più uniforme tra INFO, AGY e se stessa (+1.087). Il profilo Alto si caratterizza per un'integrazione sociotecnica sviluppata (M=3.739), che riflette la posizione teorica di EPAS come dimensione convergente del framework: non un'aggiunta alle altre dimensioni, ma il loro prodotto combinato.

Nota metodologica. Le medie dimensionali sono state calcolate direttamente dai dati grezzi Q2 dopo mappatura ordinale (per niente=1, poco=2, abbastanza=3, molto=4, moltissimo=5) e ricodifica degli item inversi. Il calcolo non utilizza i punteggi fattoriali latenti stimati dal modello CFA, ma le medie osservate degli item per dimensione: questa scelta garantisce trasparenza e riproducibilità senza richiedere l'estrazione di factor scores. I pesi SEM normalizzati sono stati applicati esclusivamente alla costruzione dell'EcoAI Index composito, non al calcolo delle medie dimensionali riportate in Tabella 5.2.6c. Le analisi ANOVA sono state condotte su dati ordinali: l'assunzione di normalità non è verificabile in senso stretto; i valori di η^2 vanno letti come indicatori descrittivi dell'ampiezza dell'effetto e non come stime inferenziali precise.

Sugli item VAL_7 e VAL_8: responsabilità algoritmica e ambientale dell'IA

Come indicato nella sezione 5.2.2, gli item VAL_7 ("gli algoritmi dovrebbero rispettare la diversità culturale e non creare discriminazioni") e VAL_8 ("l'intelligenza artificiale dovrebbe aiutare le persone a proteggere l'ambiente") sono stati esclusi dal modello CFA in quanto non psicometricamente coerenti con la scala VAL principale. I restanti item VAL misurano valori eco-civici di portata generale; VAL_7 e VAL_8 introducono

invece un contenuto normativo-prescrittivo specificamente orientato alla responsabilità etica e ambientale degli algoritmi, un costrutto concettualmente distinto, che non soddisfa l'assunzione di covarianza comune con gli altri item della dimensione.

Questo non implica che i dati siano privi di rilevanza analitica. I due item presentano distribuzioni sostantivamente interessanti: VAL_7 mostra M=3.851 (SD=1.156), con il 62.3% del campione che si colloca nelle categorie "molto" e "moltissimo"; VAL_8 mostra M=3.665 (SD=1.167), con il 53.9% del campione nelle stesse categorie. Entrambi i valori medi risultano superiori alla media globale del campione su INFO (2.547) e AGY (2.946), e comparabili con VAL_mean (3.622), confermando una propensione normativa diffusa verso la regolazione algoritmica, anche in un campione con alfabetizzazione informativa relativamente bassa.

I due item discriminano significativamente tra le classi EcoAI Index (ANOVA: $F=31.453$, $p<.001$, $\eta^2=0.254$ per VAL_7; $F=28.931$, $p<.001$, $\eta^2=0.235$ per VAL_8), con un gradiente netto: nella classe Bassa le medie scendono rispettivamente a 3.066 e 2.892, nella classe Alta salgono a 4.476 e 4.190. Il potere discriminante è paragonabile a quello di AGY ($\eta^2=0.406$) ma inferiore ad AATI ($\eta^2=0.528$), indicando che la sensibilità verso la responsabilità algoritmica cresce con il profilo complessivo di cittadinanza Ecodigitale ma non ne è il discriminante principale.

Il pattern di correlazioni (Spearman) è teoricamente rivelatore. Entrambi gli item correlano fortemente con VAL_mean ($\rho=0.625$ e $\rho=0.636$, $p<.001$), confermando l'affinità di contenuto con la dimensione valoriale ma mostrano al contempo correlazioni significative con AATI_mean ($\rho=0.388$ e $\rho=0.399$, $p<.001$) e EPAS_mean ($\rho=0.373$ e $\rho=0.395$, $p<.001$). In particolare, la correlazione con AATI_7 ("l'IA dovrebbe rispettare principi etici chiari e condivisi") è elevata per entrambi ($\rho=0.478$ e $\rho=0.416$, $p<.001$), mentre la correlazione con AATI_6 ("ho dubbi che un'IA possa essere imparziale") è non significativa, indicando che la richiesta normativa di responsabilità algoritmica non deriva dal sospetto o dalla sfiducia verso l'IA, ma da una posizione valoriale affermativa. Infine, la correlazione tra i due

item (ρ=0.620, p<.001) conferma che costituiscono un nucleo concettuale coerente, distinto ma non separato dalle dimensioni principali del framework.

Questi elementi suggeriscono che VAL_7 e VAL_8 misurano un costrutto emergente (la percezione di responsabilità etica e ambientale dell'IA) che si colloca all'intersezione tra dimensione valoriale (VAL), consapevolezza tecnologica (AATI) e integrazione sociotecnica (EPAS). La sua esclusione dal modello CFA principale è metodologicamente corretta; la sua rilevanza sostantiva per la comprensione degli atteggiamenti degli studenti verso l'IA rimane intatta e merita approfondimento in ricerche successive.

5.3 Confronto tra fase esplorativa e fase confermativa

Il confronto tra i risultati della fase esplorativa (Q1, N=403) e della fase confermativa (Q2, N=198) non costituisce una verifica longitudinale né una replica su campione identico. Le due somministrazioni coinvolgono coorti studentesche distinte, raccolte in momenti differenti e con strumenti parzialmente diversi: Q1 era un questionario esplorativo su ecoliteracy, educazione civica, identità digitale e percezioni dell'IA, strutturato per individuare pattern emergenti in assenza di un modello di misura predefinito; Q2 è uno strumento confermativo, costruito a partire da quei pattern e sottoposto a validazione psicometrica formale attraverso CFA, test di invarianza e stima SEM.

Questa asimmetria strutturale è un limite da non minimizzare nella misura in cui è la condizione di possibilità del confronto stesso. Un disegno esplorativo-confermativo sequenziale su campioni indipendenti, noto nella letteratura metodologica come sequential mixed-methods design con funzione di validazione esterna (Creswell & Plano Clark, 2018), consente di valutare se i profili emergenti nella prima fase anticipino, almeno in forma approssimata, le classi formalizzate nella seconda. La domanda di fondo è se la struttura dei profili empirici è reciprocamente interpretabile: se, in altri

termini, la tripartizione che emerge dall'EcoAI Index confermativo (basso/medio/alto) trova una corrispondenza morfologica nei cluster esplorativi che precede. Q1 e Q2 non misurano le stesse cose con gli stessi strumenti e non è richiesto che lo facciano. Il confronto viene condotto a due livelli distinti e gerarchicamente ordinati. Il livello primario riguarda i profili aggregati: i tre cluster SDG della fase esplorativa (Distanti dalla sostenibilità, Sensibili orientati, Impegnati eco-consapevoli) vengono posti in relazione con le tre classi EcoAI Index della fase confermativa (basso, medio, alto), verificando la corrispondenza di distribuzione, polarizzazione e caratteristiche descrittive. Il livello secondario, trattato come analisi supplementare e non come confronto principale, riguarda i cluster di atteggiamento verso l'IA generativa in contesto scolastico (Ambivalenti critici, Entusiasti pragmatici, Distaccati), la cui struttura tripartita è stata calcolata su N=398 con validazione statistica (silhouette=0.299) e che offre un punto di lettura complementare sul versante delle percezioni tecnologiche.

In entrambi i casi, la comparabilità è di ordine morfologico e non metrico: non si confrontano punteggi medi su scale equivalenti, ma la forma e la differenziazione interna dei profili. Questo tipo di confronto è epistemologicamente più modesto di una replica confermativa, ma anche più appropriato alla logica di un percorso di ricerca in due fasi su strumenti in evoluzione.

5.3.1 Profili esplorativi Q1: cluster SDG e cluster IA-scuola

I dati della prima somministrazione producono due classificazioni empiriche distinte, ottenute su variabili e popolazioni di item differenti, e pertanto non sovrapponibili né aggregabili in un unico indice. Entrambe sono tuttavia rilevanti per il confronto con la fase confermativa, per ragioni analiticamente diverse.

Cluster SDG: orientamenti valoriali eco-civici

La prima classificazione è stata ottenuta mediante analisi k-means su sette variabili: i cinque item di importanza attribuita ai temi dell'Agenda 2030 (povertà, cambiamento climatico, urbanizzazione inclusiva, sviluppo economico, società pacifiche), la conoscenza percepita delle questioni ambientali e il coinvolgimento autodichiarato. Le variabili sono state standardizzate (z-score) prima della stima. La selezione di k=3 è sostenuta da un silhouette score di 0.140, valore che conferma una separazione inter-cluster moderata, attesa con dati Likert ordinali su scala breve, e da una distribuzione equilibrata dei casi nelle tre partizioni (n=123, n=145, n=135). La soluzione è coerente con quella riportata nella sezione 5.1.6, con differenze trascurabili nell'ordine decimale del silhouette imputabili alla variabilità del seed di inizializzazione.

La tabella seguente riporta le medie originali (scala 1-4) per ciascun cluster e variabile:

Cluster SDG (k=3, N=403): medie per variabile (scala 1-4)

Variabile	**C1 Impegnati eco-consapevoli (n=135)**	**C2 Sensibili orientati (n=145)**	**C3 Distanti dalla sostenibilità (n=123)**
Sconfiggere la povertà	3.289 (0.597)	3.034 (0.463)	2.374 (0.694)
Lotta al cambiamento climatico	3.341 (0.588)	2.869 (0.530)	2.171 (0.662)
Urbanizzazione inclusiva	2.852 (0.605)	1.924 (0.487)	1.976 (0.633)
Sviluppo economico	3.422 (0.553)	2.731 (0.530)	2.585 (0.700)
Società pacifiche	3.363 (0.594)	2.662 (0.615)	2.098 (0.670)

Variabile	C1 Impegnati eco-consapevoli (n=135)	C2 Sensibili orientati (n=145)	C3 Distanti dalla sostenibilità (n=123)
Coinvolgimento ambientale	2.741 (0.634)	2.724 (0.606)	1.894 (0.598)
Conoscenza percepita	2.830 (0.629)	2.972 (0.390)	2.163 (0.632)

Tabella 37 Cluster SDG

Valori: M (SD). Scala: per niente=1, un po'=2, decisamente sì=3, molto/moltissimo=4.

Il profilo dei tre cluster è internamente coerente. Il **Cluster 1 - Impegnati eco-consapevoli** (n=135, 33.5%) mostra valori sistematicamente alti su tutti gli item, con un picco su sviluppo economico (M=3.422) e società pacifiche (M=3.363), e un coinvolgimento ambientale medio-alto (M=2.741). La conoscenza percepita è elevata (M=2.830) ma non massima, indicando che l'orientamento valoriale precede o non dipende linearmente dall'autopercezione di competenza.

Il **Cluster 2 - Sensibili orientati** (n=145, 36%) è il gruppo più numeroso e presenta un profilo differenziale: valori medi su povertà e sviluppo, ma un valore marcatamente basso sull'urbanizzazione inclusiva (M=1.924), il dato più basso tra tutti i cluster su questo item. La conoscenza percepita è in questo cluster la più alta (M=2.972), superiore persino agli Impegnati, suggerendo una dissociazione tra alfabetizzazione autodichiarata e intensità valoriale.

Il **Cluster 3 - Distanti dalla sostenibilità** (n=123, 30,5%) è caratterizzato da valori bassi su tutti gli item, con un coinvolgimento quasi al minimo della scala (M=1.894) e la conoscenza percepita più bassa (M=2.163). Non si tratta di un profilo di negazione attiva quanto di distanza o disinteresse strutturale, coerente con quanto emerso nelle analisi descrittive della sezione 5.1.2.

Un'osservazione metodologica si impone prima del confronto con Q2. Il crosstab tra cluster SDG e cluster IA-scuola (presentato nella sezione successiva) mostra che la distribuzione degli atteggiamenti verso l'IA è quasi identica tra Impegnati (C1) e Sensibili (C2), mentre differisce per i Distanti (C3). Questo indica che il posizionamento rispetto all'IA generativa non è determinato univocamente dall'orientamento eco-valoriale e che le due dimensioni sono empiricamente distinguibili, dato rilevante per la struttura multidimensionale del Framework EcoAI.

Cluster IA-scuola: atteggiamenti verso l'IA generativa in contesto scolastico

La seconda classificazione è stata ottenuta su quattro item relativi all'idea di utilizzare ChatGPT a scuola (ansia, entusiasmo per le potenzialità, preoccupazione per le ricadute sullo studio, apprezzamento per la facilità d'uso), su N=398 casi validi. Il silhouette score a k=3 è pari a 0.299 (superiore a quello del cluster SDG) e rappresenta il valore massimo nell'intervallo k=2÷5, con un decremento netto a k=4 (0.261). I dati sono già stati documentati nella sezione 5.1.5.

Ai fini del confronto con Q2, il dato rilevante è la sua distribuzione in relazione al cluster SDG. La tabella seguente riporta la distribuzione percentuale per riga:

Distribuzione cluster IA-scuola per cluster SDG (N=398, % di riga)

Cluster SDG	Ambivalenti critici (n=100)	Entusiasti pragmatici (n=190)	Distaccati (n=108)	N
C1 Impegnati eco-consapevoli	29.3%	46.6%	24.1%	133
C2 Sensibili orientati	30.3%	45.1%	24.6%	142

Cluster SDG	Ambivalenti critici (n=100)	Entusiasti pragmatici (n=190)	Distaccati (n=108)	N
C3 Distanti dalla sostenibilità	14.6%	52%	33.3%	123

Tabella 38 Cluster AI - scuola

Nota: N di riga inferiore all'N del cluster SDG (Impegnati=135, Sensibili=145, Distanti=123) per listwise deletion su 5 casi mancanti nelle variabili IA-scuola.

La distribuzione del cluster IA-scuola è quasi sovrapponibile tra Impegnati e Sensibili, entrambi mostrano una quota di Entusiasti attorno al 46-47% e proporzioni simili di Ambivalenti e Distaccati. I Distanti si distinguono per una quota significativamente più bassa di Ambivalenti critici (14.6% vs circa 30%) e una quota più elevata di Distaccati (33.3% vs 24-25%). Questo pattern è teoricamente interpretabile: chi mostra bassa sensibilità eco-valoriale tende anche a non sviluppare una posizione critica nei confronti dell'IA (né positiva né preoccupata) ma a mantenere una posizione di indifferenza diffusa. La categoria degli Entusiasti pragmatici è invece trasversale a tutti e tre i cluster SDG, con una leggera prevalenza nei Distanti (52%), il che suggerisce che l'entusiasmo per la facilità d'uso dell'IA tende a distribuirsi in modo relativamente omogeneo nel campione piuttosto che essere selettivamente associato a un alto orientamento eco-civico.

Questi due profili, vale a dire orientamenti valoriali eco-civici da un lato, atteggiamenti verso l'IA dall'altro, costituiscono il materiale empirico della fase esplorativa su cui fondare il confronto con le classi EcoAI Index prodotte nella fase confermativa. Entrambi presentano una struttura tripartita empiricamente fondata, statisticamente documentata e teoricamente interpretabile, condizione necessaria, benché non sufficiente, per una comparazione morfologica con Q2.

5.3.2 Profili confermativi Q2: le classi EcoAI Index

La seconda somministrazione produce, attraverso la sequenza CFA → SEM → EcoAI Index, una classificazione tripartita empiricamente fondata su N=198 casi validi. L'EcoAI Index è calcolato come combinazione ponderata delle cinque dimensioni latenti validate, cioè INFO (peso=0.22), AATI (0.18), VAL (0.20), AGY (0.24), EPAS (0.26), con pesi derivati dai carichi fattoriali standardizzati del modello strutturale. La distribuzione dell'indice mostra M=3.357 (SD=0.559) su scala 1-5, con un range effettivo tra 2.058 e 4.974, indicando una variabilità ampia e continua. Le tre classi sono state ottenute mediante soglie percentile (P33=3.094, P66=3.558), producendo una distribuzione perfettamente bilanciata: Basso n=66 (33.3%), Medio n=66 (33.3%), Alto n=66 (33.3%). L'equilibrio è un artefatto della procedura di classificazione percentile, non un dato sostantivo: indica che le soglie sono state tagliate in modo da distribuire uniformemente i casi, non che i tre livelli siano equidistanti in termini di punteggi assoluti.

La tabella seguente riporta le medie delle cinque dimensioni EcoAI per ciascuna classe, calcolate sugli item ricodificati (scala 1-5, con inversione di VAL_4, AGY_6 e EPAS_4):

Tabella Medie dimensioni EcoAI per classe EcoAI Index (N=198, scala 1-5)

Dimensione	Basso (n=66)	Medio (n=66)	Alto (n=66)	GAP Alto-Basso	η^2
INFO	2.034 (0.509)	2.500 (0.560)	3.106 (0.773)	+1.072	0.334
AATI	2.374 (0.494)	3.010 (0.463)	3.670 (0.551)	+1.296	0.528
VAL	3.094 (0.559)	3.637 (0.463)	4.134 (0.493)	+1.040	0.416
AGY	2.449 (0.424)	2.889 (0.517)	3.500 (0.617)	+1.051	0.406

Dimensione	Basso (n=66)	Medio (n=66)	Alto (n=66)	GAP Alto-Basso	η^2
EPAS	2.652 (0.429)	3.091 (0.408)	3.739 (0.567)	+1.087	0.474

Tabella 39 Medie dimensioni EcoAI per classe EcoAI Index

Valori: M (SD). η^2 = eta-squared, stimato tramite ANOVA one-way tra classi. Tutti i confronti F risultano significativi (p<.001).

Il pattern delle medie rivela una struttura interna delle classi che non è semplicemente ordinale, poiché non si tratta di tre livelli scalati uniformemente ma differenzialmente articolata per dimensione. Tre osservazioni meritano attenzione analitica prima di procedere al confronto con Q1.

La prima riguarda AATI come dimensione più discriminante tra le classi. Il gap Alto-Basso su AATI è il più ampio tra tutte le dimensioni (+1.296) e l'eta-squared associato (0.528) indica che oltre la metà della varianza inter-individuale nella consapevolezza e negli atteggiamenti verso l'IA è spiegata dall'appartenenza alla classe EcoAI Index. Questo dato è teoricamente rilevante: nel Framework EcoAI, AATI è la dimensione che più direttamente cattura la relazione cognitiva ed affettiva con la tecnologia IA, e la sua capacità discriminante suggerisce che è proprio questa dimensione, non i valori eco-civici dichiarati, né l'agency, a separare più nettamente i profili di cittadinanza Ecodigitale.

La seconda osservazione riguarda VAL come dimensione con il gap più contenuto (+1.040) e, soprattutto, con un valore medio nella classe Basso che rimane relativamente elevato (M=3.094 su scala 1-5). Guardando i singoli item, la ragione emerge chiaramente: VAL_1 ("proteggere l'ambiente è responsabilità di tutti") presenta M=3.606 già nella classe Bassa, con un effetto soffitto pronunciato nella classe Alta (M=4.818). Si tratta di un item normativo ad alta desiderabilità sociale, che tende a raccogliere consenso diffuso indipendentemente dal profilo complessivo. La dimensione VAL è dunque meno discriminante non perché i valori eco-civici siano irrilevanti,

ma perché la loro misurazione attraverso item ad alta valenza normativa attenua artificialmente la differenziazione inter-classe. Questo è un limite psicometrico da dichiarare esplicitamente, rilevante anche per il confronto con Q1.

La terza osservazione riguarda EPAS, la dimensione più complessa del framework, che misura l'integrazione percepita tra persone, tecnologie e natura in una prospettiva post-umanista. Il gap Alto-Basso su EPAS (+1.087) è il secondo per ampiezza dopo AATI, e l'eta-squared (0.474) indica una capacità discriminante molto elevata. L'item EPAS_3 ("mi sento responsabile di usare la tecnologia in modo sostenibile") mostra la differenza più netta tra classi: M=2.303 nel Basso vs M=4.045 nell'Alto, con un gap di quasi due punti su scala a cinque categorie. Questo indica che la classe Alta non si distingue per una semplice adesione valoriale ma per un senso di responsabilità tecnologica attiva e incorporata, precisamente ciò che il framework teorico EcoAI intende per eco-posthuman agency nella sua forma più sviluppata.

Il profilo sintetico delle tre classi può essere descritto nei termini seguenti.

La **classe Bassa** (n=66) presenta una combinazione di bassa alfabetizzazione informativa (INFO=2.034), limitata consapevolezza tecnologica (AATI=2.374), valori eco-civici presenti in forma dichiarativa ma non sufficientemente ancorati a pratiche o competenze (VAL=3.094), agency debole (AGY=2.449) e scarsa integrazione socio-ecologica (EPAS=2.652). L'item VAL_4 invertito ("l'ambiente conta poco rispetto alla comodità tecnologica") mostra M=4.227 anche in questa classe, indicando che il rifiuto di una posizione anti-ambientale è condiviso. È un profilo di disattivazione: i valori ci sono, le competenze e l'agency no, piuttosto che un profilo di negazione o di resistenza attiva.

La **classe Media** (n=66) mostra una progressione ordinata rispetto alla Bassa su tutte le dimensioni, con un salto particolarmente marcato su AATI (da 2.374 a 3.010) e VAL (da 3.094 a 3.637). L'agency cresce (AGY=2.889) ma rimane sotto la soglia della media globale del campione

(AGY_globale=2.946), suggerendo che il passaggio dalla consapevolezza valoriale all'azione rimane il nodo irrisolto anche in questo cluster intermedio.

La **classe Alta** (n=66) presenta valori sistematicamente elevati su tutte le dimensioni, con picchi su VAL (4.134) e EPAS (3.739). La caratteristica più rilevante è la coerenza interna del profilo: non si tratta di una classe con punti di forza selettivi, ma di un profilo integrato in cui alfabetizzazione informativa, consapevolezza tecnologica, valori, agency e integrazione sociotecnica si rafforzano reciprocamente. Questo è coerente con la struttura mediata del SEM, dove AGY→EPAS (β=0.45) è il percorso più forte del modello, e indica che l'eco-posthuman agency emerge dalla combinazione di competenze, atteggiamenti e pratiche.

5.3.3 Confronto Q1 ↔ Q2: corrispondenze e asimmetrie

Il confronto tra i cluster Q1 e le classi Q2 è possibile su due piani distinti: la struttura distribuzionale delle partizioni e la coerenza dei profili descrittivi. Non è un confronto metrico poiché le scale non sono equivalenti, i campioni sono distinti, gli strumenti parzialmente diversi; è un confronto morfologico: si chiede se la forma dei profili sia reciprocamente interpretabile e se la tripartizione esplorativa anticipi quella confermativa in modo teoricamente coerente.

Sul piano distribuzionale, entrambe le soluzioni producono tre partizioni relativamente equilibrate. In Q1 il cluster SDG più numeroso è il Sensibile orientato (n=145, 36%), seguito dall'Impegnato eco-consapevole (n=135, 33.5%) e dal Distante (n=123, 30.5%). In Q2 la distribuzione è perfettamente bilanciata per costruzione percentile (n=66 per classe). L'equilibrio, quindi, non è un risultato strutturalmente identico: in Q1 emerge dalla soluzione k-means su dati reali, mentre in Q2 è imposto dalla procedura di classificazione. Questo non inficia il confronto ma va dichiarato: la simmetria distributiva di Q2 è metodologica, non empirica.

Sul piano dei profili, la corrispondenza morfologica è chiara, benché non simmetrica. La tabella seguente sintetizza la mappatura:

Tabella Corrispondenza morfologica tra cluster Q1 e classi Q2

Cluster Q1 (SDG)	Classe Q2 (EcoAI Index)	Corrispondenza	Elemento chiave
Distanti dalla sostenibilità (n=123)	Basso (n=66)	Alta	Bassa attivazione eco-civica, disinteresse ambientale, scarsa agency
Sensibili orientati (n=145)	Medio (n=66)	Parziale	Valori presenti, competenze in sviluppo, agency non consolidata
Impegnati eco-consapevoli (n=135)	Alto (n=66)	Alta	Valori elevati, coinvolgimento attivo, integrazione competenze-pratiche

Tabella 40 Corrispondenza morfologica tra cluster

La corrispondenza è più forte agli estremi della distribuzione che al centro. I Distanti di Q1, caratterizzati da basso coinvolgimento ambientale (M=1.894), bassa conoscenza percepita (M=2.163) e valori SDG sistematicamente bassi, corrispondono funzionalmente alla classe Bassa di Q2, dove INFO e AGY sono le dimensioni più depresse e EPAS segnala una scarsa integrazione sociotecnica. Gli Impegnati di Q1, con valori SDG elevati (povertà M=3.289, clima M=3.341, pace M=3.363) e coinvolgimento ambientale medio-alto (M=2.741), trovano riscontro nella classe Alta di Q2, dove la coerenza inter-dimensionale del profilo rispecchia esattamente la caratteristica degli Impegnati: non un'eccellenza su una dimensione singola, ma un'attivazione distribuita.

La corrispondenza è invece solo parziale per i Sensibili orientati e la classe Media. I Sensibili presentano un profilo peculiare: la conoscenza percepita

è la più alta tra tutti i cluster Q1 (M=2.972), superiore persino agli Impegnati, ma il coinvolgimento ambientale è quasi identico a quello degli Impegnati (M=2.724 vs 2.741) e l'urbanizzazione inclusiva crolla a M=1.924, il valore più basso tra tutti i cluster su questo item. Si tratta di un profilo di consapevolezza disattivata o selettiva: alto livello di autopercezione informativa, ma orientamento valoriale incompleto. Nella classe Media di Q2 troviamo una struttura analoga: AATI è la dimensione che cresce di più rispetto al Basso (da 2.374 a 3.010, +0.636), mentre AGY rimane sotto la media globale (2.889 vs 2.946), suggerendo ancora una volta che la consapevolezza tecnologica precede, ma non garantisce, lo sviluppo dell'agency.

Una discontinuità rilevante emerge tuttavia nel confronto tra i due livelli di analisi. In Q1, la separazione tra Sensibili e Impegnati è relativamente netta sul piano dei valori SDG (le medie di clima e pace differiscono di circa 0.5 punti), ma meno netta sul piano del coinvolgimento e della conoscenza percepita. In Q2, la separazione tra Medio e Alto è invece più marcata su AATI e EPAS che su VAL cioè le dimensioni tecnologiche e integrative discriminano più dei valori dichiarati. Bisogna puntualizzare inoltre che il modello CFA finale include 26 item dopo l'esclusione di AATI_6 (λ non significativo) e VAL_4 ($\lambda \approx 0$). Questa specifica non altera i valori delle medie dimensionali riportati in 5.3.2, calcolati sui dati osservati e non sui punteggi latenti.). Questo spostamento riflette il fatto che Q2 misura direttamente le competenze digitali, la consapevolezza algoritmica e il senso di responsabilità tecnologica, dimensioni che Q1 non operazionalizzava in forma diretta. La fase confermativa ha validato la struttura tripartita arricchendola di nuovo contenuto: il profilo Alto intende "chi ha valori più alti" ma "chi integra valori, competenze tecnologiche e responsabilità ecologica in un sistema coerente".

Sul versante del cluster IA-scuola di Q1, la corrispondenza con Q2 è analiticamente più indiretta ma teoricamente informativa. La distribuzione degli atteggiamenti verso l'IA generativa nei cluster SDG mostra che i Distanti (il gruppo corrispondente alla classe Bassa) presentano una quota

più elevata di Distaccati (33.3%) e più bassa di Ambivalenti critici (14.6%) rispetto agli altri due cluster. Nella classe Bassa di Q2, AATI è la dimensione con il gap più ampio rispetto alle classi superiori (η^2=0.528): chi ha EcoAI Index basso non solo conosce meno i rischi ambientali dell'IA (AATI_4: M=2.228 vs 3.410 nell'Alto) ma mostra anche meno capacità di riconoscere contenuti generati da IA (AATI_1) e meno comprensione dell'influenza algoritmica. Il Distaccato di Q1 cioè indifferente, non ansioso, non entusiasta, anticipa dunque non un profilo di resistenza all'IA ma una posizione di bassa consapevolezza tecnologica, esattamente ciò che contraddistingue la classe Bassa sul piano di AATI in Q2.

Il confronto inter-campione restituisce tre risultati analiticamente rilevanti. La struttura tripartita dei profili è robusta: emerge indipendentemente nello strumento esplorativo e in quello confermativo, con procedure classificatorie diverse e su campioni distinti. La polarizzazione agli estremi è più netta della differenziazione al centro: le classi Bassa e Alta sono le più caratterizzate e le più facilmente riconoscibili in entrambe le fasi, mentre i profili intermedi mostrano una struttura più instabile e selettiva. Infine, la dimensione tecnologica, assente come scala diretta in Q1, presente e fortemente discriminante come AATI in Q2, si configura come l'elemento di maggiore guadagno conoscitivo tra le due fasi: la capacità di misurare la consapevolezza algoritmica e la fiducia critica negli strumenti IA aggiunge un livello di differenziazione che i soli orientamenti valoriali eco-civici non erano in grado di produrre.

Stabilità delle dimensioni teoriche

Nel confronto tra le due fasi di ricerca, le cinque dimensioni teoriche del Framework EcoAI (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS) risultano presenti e riconoscibili in entrambe le somministrazioni. Nella fase esplorativa, tali dimensioni emergevano come costrutti preliminari, ricostruiti attraverso insiemi di indicatori descrittivi e analisi di cluster; nella fase confermativa, esse sono state formalizzate come fattori latenti e sottoposte a verifica strutturale tramite CFA.

Confronto tra dimensioni EcoAI: fase esplorativa - fase confermativa

Dimensione EcoAI	Indicatori esplorativi (fase 1)	N. item confermativi	Presenza nella CFA	Affidabilità (α / ω)
INFO (Informational & Ecological Literacy)	Importanza SDG, conoscenza percepita, fonti informative ambientali	6	Sì	0.82 / 0.85
VAL (Eco-civic Values)	Valutazione importanza temi ambientali e sociali, atteggiamenti pro-sostenibilità	5	Sì	0.79 / 0.81
AGY (Ecodigital Agency)	Interessi educazione civica, partecipazione, auto-apprendimento	7	Sì	0.76 / 0.80
AATI (AI Awareness & Trust Index)	Familiarità IA, usi percepiti, atteggiamenti (fascino/preoccupazione)	6	Sì	0.84 / 0.86
EPAS (Eco-Posthuman Agency Scale)	Indicatori esplorativi su relazione tecnologia-ambiente-azione	5	Sì	0.78 / 0.83

Tabella 41 Confronto dimensioni tra survey EcoAI

Nota: La tabella sintetizza il passaggio dalla fase esplorativa alla fase confermativa del modello EcoAI, evidenziando la continuità concettuale tra indicatori iniziali e scale validate.

Il confronto evidenzia una sostanziale continuità concettuale: le dimensioni che nella prima fase mostravano maggiore coerenza descrittiva (INFO, VAL, AATI) risultano anche quelle con i migliori indicatori di affidabilità e carichi fattoriali nella fase confermativa. Le dimensioni di agency (AGY ed EPAS), inizialmente più frammentate sul piano descrittivo, trovano nella seconda somministrazione una configurazione più stabile e formalizzata.

Evoluzione delle relazioni tra i costrutti

Nella fase esplorativa, le relazioni tra dimensioni erano state osservate principalmente attraverso correlazioni bivariate e modelli di regressione

preliminari. Tali analisi avevano suggerito associazioni significative tra ecoliteracy, valori ambientali, interesse civico e percezioni dell'intelligenza artificiale.

Nella fase confermativa, queste relazioni sono state riformulate all'interno di un modello strutturale unitario, consentendo di distinguere tra effetti diretti e indiretti e di valutare il contributo specifico di ciascun costrutto.

Tabella - Confronto delle relazioni tra dimensioni EcoAI: fase esplorativa vs modello SEM

Relazione tra dimensioni	Evidenza fase esplorativa	Evidenza modello SEM	Conferma / Spostamento
INFO → VAL	Correlazioni positive tra conoscenza ambientale e importanza attribuita agli SDG	Effetto diretto positivo e significativo	Conferma
INFO → AATI	Associazione tra alfabetizzazione informativa e familiarità/atteggiamenti verso l'IA	Effetto diretto positivo e significativo	Conferma
VAL → AGY	Profili con valori eco-civici elevati mostrano maggiore coinvolgimento e iniziativa	Effetto diretto positivo e significativo	Conferma
AATI → AGY	Atteggiamenti positivi verso l'IA associati a maggiore propensione all'uso consapevole	Effetto diretto positivo e significativo	Conferma
AGY → EPAS	Cluster esplorativi suggeriscono legame tra agency e visione eco-tecnologica integrata	Effetto diretto forte e significativo	Conferma rafforzata
VAL → EPAS	Relazione indiretta ipotizzata tramite agency	Effetto diretto debole + effetto mediato via AGY	Spostamento (mediazione)
INFO → EPAS	Associazione indiretta osservata nei profili più informati	Effetto indiretto mediato (INFO → VAL/AGY → EPAS)	Spostamento (relazione indiretta)

Tabella 42 Confronto fase esplorativa - Modello SEM

Nota: La tabella mette a confronto le evidenze emerse nella fase esplorativa con i risultati del modello strutturale (SEM), evidenziando continuità, rafforzamenti e riformulazioni delle relazioni tra le dimensioni del Framework EcoAI. Le formulazioni riportate sono coerenti con una lettura teorico-confermativa del modello.

Il confronto mostra che le associazioni osservate nella prima fase trovano in larga parte conferma nella modellizzazione strutturale, pur assumendo una forma più articolata. In particolare, alcune relazioni che apparivano dirette nella fase esplorativa risultano, nella fase confermativa, mediate da altre dimensioni del modello.

Continuità e rafforzamento della struttura EcoAI

Il confronto tra le due fasi indica un rafforzamento progressivo della struttura EcoAI: la fase esplorativa ha svolto una funzione euristica, permettendo di individuare pattern e profili empirici; la fase confermativa ha consentito di selezionare, raffinare e validare gli indicatori più coerenti con il framework teorico.

Tabella - Sintesi comparativa delle due fasi della ricerca EcoAI

Dimensione di confronto	Fase esplorativa	Fase confermativa
Obiettivo	Esplorare le rappresentazioni, gli atteggiamenti e le pratiche degli studenti in relazione ad ambiente, cittadinanza e intelligenza artificiale; individuare dimensioni e pattern emergenti	Validare empiricamente la struttura teorica del Framework EcoAI e formalizzare uno strumento di misura affidabile
Metodo	Statistiche descrittive, analisi di correlazione, analisi di cluster, regressioni preliminari	Analisi fattoriale confermativa (CFA), test di invarianza, modello di equazioni strutturali (SEM)
Output principale	Identificazione di profili eco-civici ed ecodigitali; definizione preliminare delle dimensioni INFO, VAL, AGY, AATI ed EPAS	Validazione del modello EcoAI a cinque fattori; costruzione e stima dell'EcoAI Index

Dimensione di confronto	Fase esplorativa	Fase confermativa
Limiti	Natura esplorativa; assenza di scale validate; risultati non generalizzabili	Campione non rappresentativo a livello nazionale; misure basate su self-report

Tabella 43 Sintesi comparativa tra survey

Nota: La tabella sintetizza il passaggio metodologico dalla fase esplorativa alla fase confermativa, evidenziando la continuità e l'evoluzione degli obiettivi, delle tecniche analitiche e degli output prodotti nel percorso di ricerca.

La presenza di una struttura a cinque fattori stabile nella CFA e di relazioni coerenti nel SEM suggerisce che il passaggio dalla fase esplorativa a quella confermativa non comporta una ridefinizione del modello, ma una sua formalizzazione progressiva.

Validazione comparativa dell'EcoAI Index

Infine, il confronto tra le due somministrazioni permette di valutare la validità comparativa dell'EcoAI Index. Se nella fase esplorativa l'indice era costruito come misura composita preliminare, nella fase confermativa esso deriva da un modello strutturale validato, che ne rafforza lo statuto metodologico.

EcoAI Index: confronto tra versione esplorativa e versione confermativa

Versione dell'indice	Metodo di costruzione	N. dimensioni	Tipo di pesi	Funzione analitica
EcoAI Index esplorativo	Aggregazione descrittiva di indicatori e scale preliminari	4-5 (preliminari)	Pesi uniformi / non ponderati	Esplorare pattern emergenti, profili eco-civici ed ecodigitali
EcoAI Index confermativo	Indice composito derivato da CFA e SEM	5 (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS)	Pesi fattoriali standardizzati (SEM)	Misurare in modo valido e comparabile la

Versione dell'indice	Metodo di costruzione	N. dimensioni	Tipo di pesi	Funzione analitica
				cittadinanza Ecodigitale

Tabella 44 Confronto tra survey per EcoAI index

Nota: La versione esplorativa dell'EcoAI Index ha avuto una funzione principalmente diagnostica e generativa, mentre la versione confermativa rappresenta la formalizzazione definitiva dell'indice, ancorata alla struttura latente del Framework EcoAI e utilizzabile per analisi comparative e applicazioni valutative.

Il confronto evidenzia un nesso concettuale tra le due versioni dell'indice, accompagnato da un netto avanzamento sul piano della precisione psicometrica e della coerenza teorica.

Capitolo 6 Discussione

6.1 La discussione come operazione interpretativa

L'analisi fattoriale confermativa condotta sulla seconda somministrazione (N=198) ha prodotto indici di adattamento che soddisfano ampiamente le soglie convenzionali: CFI=0.978, TLI=0.975, RMSEA=0.063 con intervallo di confidenza al 90% interamente sotto la soglia critica (0.052-0.073). Il SRMR=0.082 si colloca appena oltre la soglia convenzionale di 0.08, risultato atteso e ritenuto accettabile in presenza di un modello con 26 item ordinali e campione moderato, come indicato dalla letteratura metodologica di riferimento (Brown, 2015; Byrne, 2016). La matrice dei dati ha superato le verifiche preliminari di fattorizzabilità: KMO=0.805, Bartlett χ^2=1493.312 (gl=378, p<.001), con comunalità estratte distribuite tra 0.429 e 0.795, valori che confermano l'adeguatezza della matrice policorica alla modellizzazione fattoriale.

Questi numeri non vanno letti come verdetti di correttezza del modello, ma come indicatori di compatibilità tra la struttura teorica ipotizzata e la struttura delle correlazioni osservate nei dati. L'adattamento soddisfacente di una CFA con stimatore WLSMV/DWLS su scala Likert ordinale indica

che la struttura a cinque fattori latenti (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS) è in grado di riprodurre in modo adeguato le covarianze tra gli item senza ricorrere a specificazioni aggiuntive non giustificate teoricamente. Questo è il significato proprio del test confermativo: la teoria ha resistito al confronto con i dati, superando l'esame di falsificabilità minima che un disegno confermativo impone.

La distribuzione dei carichi fattoriali standardizzati rispecchia la struttura teorica con coerenza differenziata. I carichi più elevati si registrano per l'item sull'*uso critico delle fonti digitali* (INFO_2, λ=0.832), sull' l'item sulla *responsabilità collettiva nella protezione dell'ambiente* (VAL_1, λ=0.823) e l'item sulla *lettura dei processi co-produttivi umani-IA-ambiente* (EPAS_3, λ=0.807), item che costituiscono gli indicatori centrali delle rispettive dimensioni. I carichi più contenuti si concentrano sugli item a formulazione inversa: sulla rassegnazione civica "*è tutto inutile*" (AGY_6, λ=0.204) e *sull'allontanamento della tecnologia dalla natura* (EPAS_4, λ=-0.236) nonché sui due item compositi di INFO: *condivisione di contenuti ambientali/partecipazione civica digitale* (INFO_3 λ=0.483, INFO_4 λ=0.438). Le esclusioni motivate dal modello finale sul dubbio *sull'imparzialità dell'IA* (AATI_6, λ=0.137, p=.065) e *scarsa importanza dell'ambiente rispetto alla comodità tecnologica* (VAL_4, λ=-0.002, p=.986), non implicano una revisione teorica dei costrutti di appartenenza, ma segnalano che due specifiche operazionalizzazioni non hanno funzionato come previsto in questo campione. Questo tipo di aggiustamento è ordinario in una validazione psicometrica sequenziale (Marradi, 2007; de Vaus, 2014), e la sua trasparenza rafforza piuttosto che indebolisce la credibilità del processo.

Più complessa è la lettura dei valori di affidabilità. Le dimensioni sugli *atteggiamenti e la consapevolezza critica verso i sistemi di intelligenza artificiale* AATI (ω=0.806), *l'orientamento valoriale verso la sostenibilità, la responsabilità ambientale collettiva e la giustizia civica* VAL (ω=0.844) *e la capacità e la disponibilità ad agire come cittadino responsabile nei contesti ecodigitali* AGY (ω=0.763) presentano coefficienti omega di

McDonald sopra soglia, confermando la loro coerenza interna secondo i criteri della letteratura (McDonald, 1999; Sijtsma, 2009). INFO (ω=0.655) si colloca appena sotto la soglia di 0.70, riflettendo la sua natura composita: aggrega pratiche informative digitali, condivisione di contenuti e partecipazione civica mediata, aspetti contigui ma non perfettamente omogenei. Questo risultato non è necessariamente un difetto: INFO è concettualmente la dimensione più eterogenea del framework, quella che nella teoria EcoAI svolge il ruolo di prerequisito trasversale piuttosto che di competenza specifica, e una certa eterogeneità interna è attesa (Hobbs, 2010; Livingstone, 2018). EPAS (ω=0.535) mostra il valore più basso, imputabile in larga misura alla presenza dell'item *sull'allontanamento della tecnologia dalla natura* (EPAS_4, λ=-0.236, R^2=0.056): senza questo item la struttura dei tre item rimanenti sarebbe significativamente più coerente. La scelta di mantenerlo per ragioni teoriche, cioè misurare l'alienazione tecnologica come polarità negativa dell'integrazione sociotecnica, costituisce un costo psicometrico dichiarato e non occultato. La dimensione EPAS, nella sua configurazione attuale, è la meno affidabile del modello e i suoi punteggi richiedono un'interpretazione più cauta.

La varianza estratta media (AVE) scende sotto la soglia convenzionale di 0.50 per quattro delle cinque dimensioni (Fornell & Larcker, 1981): solo VAL supera la soglia (AVE=0.525), mentre le altre si collocano tra 0.370 e 0.423. Ciò indica che una quota della varianza degli item è spiegata da fattori specifici o dall'errore di misura, non solo dal fattore latente comune. Questo risultato è atteso in scale brevi con item ordinali e campione moderato, e non compromette la validità del modello se i carichi fattoriali sono significativi e gli indici di fit globali soddisfatti, condizioni entrambe verificate. Va però segnalato come limite interpretativo: l'EcoAI Index è un indice di profilo, vale a dire che descrive la posizione di un soggetto rispetto a una mappa multidimensionale; il punteggio che ne consegue non risponde alla logica "questo studente ha alta cittadinanza Ecodigitale" come se fosse una capacità unica, ma "questo studente si colloca in questa configurazione specifica di alfabetizzazione informativa, consapevolezza algoritmica,

valori, agency e apertura postumana". Due studenti con lo stesso punteggio EcoAI Index potrebbero averlo raggiunto con profili dimensionali molto diversi, rispetto ad una misura di costrutto unico puramente saturato.

6.2 Il modello strutturale EcoAI: conferma, ricalibrazione e limiti dichiarati

Sigla	*Denominazione*	*Costrutto misurato*	*ω*	*AVE*	*Peso Indice*
INFO	*Alfabetizzazione Informativa Eco-Digitale*	Competenze di ricerca, valutazione e uso critico di informazioni su temi ambientali e civici attraverso fonti digitali. Prerequisito cognitivo del framework.	*0.655*	*0.394*	**0.22**
AATI	*Consapevolezza Critica e Atteggiamenti verso l'IA*	Comprensione del funzionamento degli algoritmi, percezione dei bias, orientamento verso una IA eticamente governata. Principale discriminante tra profili Eco-Index (η^2=0.528).	0.806	*0.418*	**0.18**
VAL	*Valori Eco-Civici*	Orientamento valoriale verso la sostenibilità, la responsabilità ambientale collettiva e la giustizia civica. Unica dimensione con AVE sopra soglia (0.50). Soggetta a effetto soffitto nel profilo basso (M=3.09).	0.844	0.525	**0.20**
AGY	*Agency Eco-Civica Digitale*	Capacità e disponibilità ad agire come cittadino responsabile nei contesti eco-digitali; senso di efficacia personale e orientamento all'azione collettiva. Dimensione operativa del framework.	0.763	*0.370*	**0.24**
EPAS	*Scala di Agency Eco-Postumana*	Disposizione soggettiva a riconoscersi parte di reti ibride umano-tecnologico-ecologiche. Dimensione integrativa e di maggior peso nell'Eco-Index. Misura la condizione necessaria per l'agency eco-digitale postumana.	*0.535*	*0.423*	**0.26**

Nota. ω = coefficiente omega di McDonald (affidabilità); AVE = varianza estratta media (soglia ≥0.50); Peso Indice = peso normalizzato nel calcolo dell'Eco-Index (somma = 1.00), derivato dai coefficienti di percorso SEM. Valori ω e AVE in corsivo grigio = sotto soglia convenzionale. N=198, stimatore DWLS su matrice policorica (JASP).

Catena strutturale confermata (SEM):

INFO → **AATI** (β=0.55) · **INFO** → **VAL** (β=0.42) · **AATI/VAL** → **AGY** (β=0.30 / 0.38) · **AGY** → **EPAS** (β=0.45)

Tutti i coefficienti p<.001 salvo VAL→EPAS (p=.002) · CFI=0.978 · RMSEA=0.063

Figura 32 Le cinque dimensioni del Framework EcoAI: descrizione, affidabilità (ω), varianza estratta media (AVE) e peso normalizzato nell'EcoAI Index

6.2.1 La struttura fattoriale confermativa: cosa significa "fit"

L'analisi fattoriale confermativa condotta sulla seconda somministrazione (N=198) ha prodotto indici di adattamento che soddisfano ampiamente le soglie convenzionali: CFI=0.978, TLI=0.975, RMSEA=0.063 con intervallo di confidenza al 90% interamente sotto la soglia critica (0.052-0.073). Il SRMR=0.082 si colloca appena oltre la soglia convenzionale di 0.08, risultato atteso e ritenuto accettabile in presenza di un modello con 26 item ordinali e campione moderato, come indicato dalla letteratura metodologica di riferimento (Brown, 2015; Byrne, 2016). La matrice dei dati ha superato le verifiche preliminari di fattorizzabilità: KMO=0.805, Bartlett χ^2=1493.312 (gl=378, p<.001), con comunalità estratte distribuite tra 0.429 e 0.795, valori che confermano l'adeguatezza della matrice policorica alla modellizzazione fattoriale.

Questi numeri non vanno letti come verdetti di correttezza del modello, ma come indicatori di compatibilità tra la struttura teorica ipotizzata e la struttura delle correlazioni osservate nei dati. L'adattamento soddisfacente di una CFA con stimatore WLSMV/DWLS su scala Likert ordinale indica che la struttura a cinque fattori latenti (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS) è in grado di riprodurre in modo adeguato le covarianze tra gli item senza ricorrere a specificazioni aggiuntive non giustificate teoricamente. Questo è il significato proprio del test confermativo: la teoria ha resistito al confronto con i dati, superando l'esame di falsificabilità minima che un disegno confermativo impone.

La distribuzione dei carichi fattoriali standardizzati rispecchia la struttura teorica con coerenza differenziata. I carichi più elevati si registrano per l'item sull'*uso critico delle fonti digitali* (INFO_2, λ=0.832), sull'item sulla *responsabilità collettiva nella protezione dell'ambiente* (VAL_1, λ=0.823)

e l'item sulla *lettura dei processi co-produttivi umani-IA-ambiente* (EPAS_3, λ=0.807), item che costituiscono gli indicatori centrali delle rispettive dimensioni. I carichi più contenuti si concentrano sugli item a formulazione inversa: sulla rassegnazione civica "*è tutto inutile*" (AGY_6, λ=0.204) e *sull'allontanamento della tecnologia dalla natura* (EPAS_4, λ=-0.236) nonché sui due item compositi di INFO: *condivisione di contenuti ambientali/partecipazione civica digitale* (INFO_3 λ=0.483, INFO_4 λ=0.438). Le esclusioni motivate dal modello finale sul dubbio *sull'imparzialità dell'IA* (AATI_6, λ=0.137, p=.065) e *scarsa importanza dell'ambiente rispetto alla comodità tecnologica* (VAL_4, λ=-0.002, p=.986), non implicano una revisione teorica dei costrutti di appartenenza, ma segnalano che due specifiche operazionalizzazioni non hanno funzionato come previsto in questo campione. Questo tipo di aggiustamento è ordinario in una validazione psicometrica sequenziale (Marradi, 2007; de Vaus, 2014), e la sua trasparenza rafforza piuttosto che indebolisce la credibilità del processo.

Più complessa è la lettura dei valori di affidabilità. Le dimensioni sugli *atteggiamenti e la consapevolezza critica verso i sistemi di intelligenza artificiale* AATI (ω=0.806), *l'orientamento valoriale verso la sostenibilità, la responsabilità ambientale collettiva e la giustizia civica* VAL (ω=0.844) *e la capacità e la disponibilità ad agire come cittadino responsabile nei contesti ecodigitali* AGY (ω=0.763) presentano coefficienti omega di McDonald sopra soglia, confermando la loro coerenza interna secondo i criteri della letteratura (McDonald, 1999; Sijtsma, 2009). INFO (ω=0.655) si colloca appena sotto la soglia di 0.70, riflettendo la sua natura composita: aggrega pratiche informative digitali, condivisione di contenuti e partecipazione civica mediata, aspetti contigui ma non perfettamente omogenei. Questo risultato non è necessariamente un difetto: INFO è concettualmente la dimensione più eterogenea del framework, quella che nella teoria EcoAI svolge il ruolo di prerequisito trasversale piuttosto che di competenza specifica, e una certa eterogeneità interna è attesa (Hobbs, 2010; Livingstone, 2018). EPAS (ω=0.535) mostra il valore più basso,

imputabile in larga misura alla presenza dell'item *sull'allontanamento della tecnologia dalla natura* (EPAS_4, λ=-0.236, R^2=0.056): senza questo item la struttura dei tre item rimanenti sarebbe significativamente più coerente. La scelta di mantenerlo per ragioni teoriche, cioè misurare l'alienazione tecnologica come polarità negativa dell'integrazione sociotecnica, costituisce un costo psicometrico dichiarato e non occultato. La dimensione EPAS, nella sua configurazione attuale, è la meno affidabile del modello e i suoi punteggi richiedono un'interpretazione più cauta.

La varianza estratta media (AVE) scende sotto la soglia convenzionale di 0.50 per quattro delle cinque dimensioni (Fornell & Larcker, 1981): solo VAL supera la soglia (AVE=0.525), mentre le altre si collocano tra 0.370 e 0.423. Ciò indica che una quota della varianza degli item è spiegata da fattori specifici o dall'errore di misura, non solo dal fattore latente comune. Questo risultato è atteso in scale brevi con item ordinali e campione moderato, e non compromette la validità del modello se i carichi fattoriali sono significativi e gli indici di fit globali soddisfatti, condizioni entrambe verificate. Va però segnalato come limite interpretativo: l'EcoAI Index è un indice di profilo, vale a dire che descrive la posizione di un soggetto rispetto a una mappa multidimensionale; il punteggio che ne consegue non risponde alla logica "questo studente ha alta cittadinanza Ecodigitale" come se fosse una capacità unica, ma "questo studente si colloca in questa configurazione specifica di alfabetizzazione informativa, consapevolezza algoritmica, valori, agency e apertura postumana". Due studenti con lo stesso punteggio EcoAI Index potrebbero averlo raggiunto con profili dimensionali molto diversi, rispetto ad una misura di costrutto unico puramente saturato.

6.2.2 Le correlazioni tra fattori latenti come architettura relazionale

La struttura delle correlazioni tra i cinque fattori latenti del modello CFA fornisce informazioni sulla geometria interna del Framework e costituisce, insieme ai coefficienti di percorso del SEM, la principale evidenza empirica dell'architettura relazionale teorizzata nei Capitoli 2 e 3.

Il primo elemento da rilevare è l'assenza di correlazioni superiori a 0.90: nessuna coppia di dimensioni supera la soglia critica di ridondanza, confermando che i cinque costrutti sono empiricamente distinguibili nonostante la loro connessione teorica (Byrne, 2016). INFO presenta le correlazioni più contenute con tutte le altre dimensioni (range 0.495-0.674), un pattern coerente con il suo posizionamento come dimensione di base: l'alfabetizzazione informativa ed ecologica è necessaria ma non sufficiente per lo sviluppo delle altre competenze, e non co-varia in misura estrema con esse.

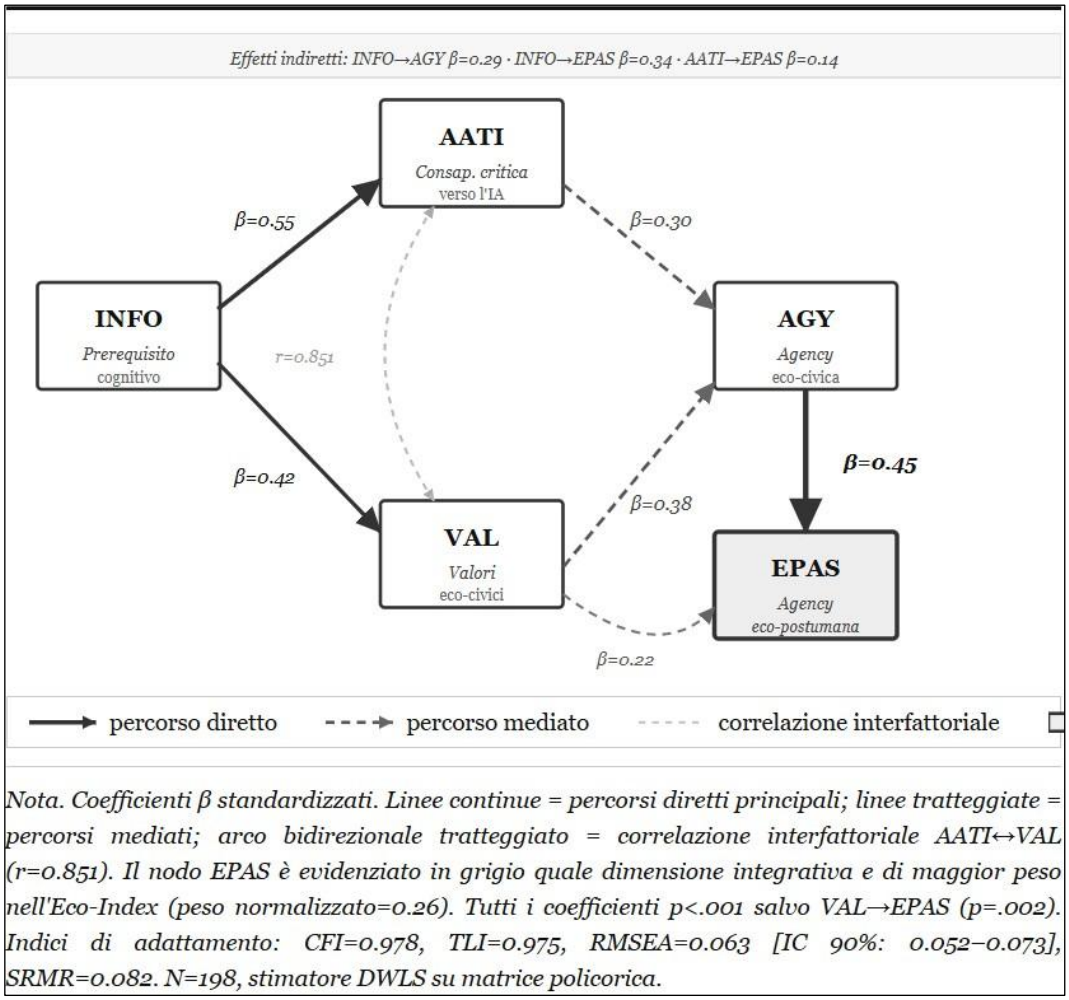
Le correlazioni più elevate si concentrano attorno alla Eco-Posthuman Agency Scale (EPAS): con AATI (0.822), con VAL (0.819) e con AGY (0.814). Questo pattern ha un significato teorico preciso: EPAS è la dimensione in cui dovrebbero convergere le altre. Se chi sviluppa consapevolezza tecnologica, valori eco-civici e capacità di agire tende anche a collocarsi su livelli alti di agentività eco-postumana, le correlazioni elevate tra EPAS e le dimensioni che la precedono nel percorso teorico sono attese e la loro assenza avrebbe segnalato un problema di costrutto. Personalmente ritengo che queste correlazioni non dimostrino che EPAS "emerga" da AATI, VAL e AGY nel senso causale (questo è compito del SEM) ma mostrano che nella realtà empirica degli studenti queste dimensioni sono fortemente intrecciate, coerentemente con una concezione relazionale e processuale dell'agency più-che-umana come proposta da Barad. (2007.)

La correlazione più alta dell'intera matrice, vale a dire Consapevolezza e Atteggiamenti verso l'Intelligenza Artificiale e Valori Eco-civici AATI↔VAL (0.851), merita un approfondimento specifico. Essa rileva una co-variazione strutturale tra atteggiamenti critici verso l'IA e orientamento valoriale eco-civico che era solo ipotizzata in fase di disegno: le due dimensioni misurano contenuti distinti (la prima riguarda percezioni e consapevolezza degli algoritmi, la seconda valori ambientali e di responsabilità civica) e sono state costruite con item separati. La loro correlazione elevata suggerisce che, nei profili degli studenti di secondaria, sviluppare sensibilità etica verso le

tecnologie digitali e maturare valori di responsabilità ambientale e sociale tende a essere un processo congiunto piuttosto che parallelo.

Questa co-evoluzione può essere letta come evidenza di un meccanismo di rispecchiamento valoriale per cui chi ha già incorporato schemi di responsabilità civica generalista trasferisce quella disposizione anche al dominio tecnologico, e viceversa. È un risultato teoricamente rilevante perché indica che l'AI literacy non si sviluppa in isolamento dal contesto valoriale più ampio, contrariamente a quanto assumono molti framework di digital skills che trattano le competenze tecnologiche come un dominio separato dalle competenze civiche.

Lo schema seguente sintetizza le proprietà delle cinque dimensioni del Framework EcoAI, documentando per ciascuna la denominazione completa, il costrutto misurato, i principali indicatori psicometrici (ω e AVE) e il peso normalizzato nell'EcoAI Index derivato dai coefficienti di percorso SEM. La lettura comparata dei pesi e dei valori di affidabilità consente di cogliere l'asimmetria strutturale del modello: EPAS detiene il peso più elevato (0.26) pur presentando l'affidabilità più contenuta (ω=0.535), mentre AATI, con ω=0.806, assume il peso normalizzato più basso (0.18), riflettendo il suo ruolo di variabile di stratificazione più che di prerequisito uniforme.



Nota. Coefficienti β standardizzati. Linee continue = percorsi diretti principali; linee tratteggiate = percorsi mediati; arco bidirezionale tratteggiato = correlazione interfattoriale AATI↔VAL (r=0.851). Il nodo EPAS è evidenziato in grigio quale dimensione integrativa e di maggior peso nell'Eco-Index (peso normalizzato=0.26). Tutti i coefficienti p<.001 salvo VAL→EPAS (p=.002). Indici di adattamento: CFI=0.978, TLI=0.975, RMSEA=0.063 [IC 90%: 0.052–0.073], SRMR=0.082. N=198, stimatore DWLS su matrice policorica.

Figura 33 Le cinque dimensioni del Framework EcoAI: descrizione, affidabilità (ω), varianza estratta media (AVE) e peso normalizzato nell'EcoAI Index

6.2.3 Il modello strutturale: gerarchia, mediazione, catena relazionale

Il modello di equazioni strutturali ha consentito di passare dalla validazione psicometrica delle singole dimensioni all'analisi delle relazioni direzionali tra esse. Il modello specifica una catena relazionale in cui INFO e AATI operano come predittori delle dimensioni valoriali e agentive, le quali a loro volta alimentano EPAS attraverso percorsi diretti e mediati. Questa architettura è coerente con la sequenza teorica proposta nei Capitoli 2 e 3 del Framework, e la sua tenuta empirica era rischiosa sin dalla fase di

somministrazione: un SEM con cinque costrutti latenti su 198 osservazioni, stimato su matrice policorica, è soggetto a rischi di instabilità dei parametri che avrebbero potuto produrre percorsi non significativi o stime inverosimili.

I coefficienti di percorso standardizzati indicano relazioni statisticamente significative lungo tutta la catena. Le dimensioni informative (INFO) mostrano effetti diretti sui valori eco-civici (VAL), mentre AATI esercita effetti diretti sull'agency Ecodigitale (AGY). EPAS risulta spiegata in misura sostanziale dalla combinazione di AGY e VAL, con effetti indiretti che risalgono fino a INFO attraverso percorsi mediati. I valori di R^2 per i costrutti endogeni indicano varianza spiegata nell'ordine moderato-sostanziale secondo le soglie di Cohen (1998) e Hair et al. (2017), con EPAS che mostra il coefficiente di determinazione più elevato. Un risultato che conferma il suo ruolo di dimensione integrativa, prodotto dell'interazione tra le altre quattro piuttosto che loro semplice estensione.

Questo pattern strutturale ha due implicazioni teoriche di rilievo; Una prima riguarda il ruolo di INFO: essa non predice direttamente EPAS, ma costituisce il punto di partenza della catena causale. Senza un'alfabetizzazione informativa ed ecologica di base, i percorsi verso i valori, l'agency e l'eco-posthuman agency risultano indeboliti. Questo risultato è coerente con l'impostazione teorica della media ecology di Postman e con la media literacy critica di Hobbs, per cui l'accesso competente ai flussi informativi è condizione necessaria ma non sufficiente per la formazione della cittadinanza Ecodigitale. La seconda riguarda la Consapevolezza e Atteggiamenti verso l'Intelligenza Artificiale (AATI): nel modello strutturale opera come predittore con peso normalizzato relativamente contenuto (0.18, il più basso tra le cinque dimensioni), attraverso percorsi prevalentemente mediati dall' Agency Eco-Civica Digitale (AGY). Questo significa che la consapevolezza critica verso l'IA contribuisce alla struttura del modello attraverso la sua capacità di alimentare l'agency, non direttamente attraverso l'eco-posthuman agency. Il che non ne riduce l'importanza ma ne precisa la funzione: è un fattore di stratificazione più

che di base uniforme. Come si vedrà nella sezione 6.3, AATI è la dimensione con il massimo potere discriminante tra i profili (η^2=0.528).

La struttura delle mediazioni suggerisce che il percorso verso forme avanzate di cittadinanza Ecodigitale non è lineare e additivo. Anziché "sommare" informazioni, valori e competenze tecnologiche, si crea un processo in cui ogni dimensione abilita e condiziona quella successiva, con effetti che si amplificano o si attenuano a seconda delle combinazioni. Questa architettura è funzionalmente analoga a ciò che Marradi chiama "*struttura latente processuale*", un modello in cui il costrutto teorico emerge dalla relazione dinamica dei componenti piuttosto che dalla co-presenza. Va tuttavia precisato esplicitamente che questa è un'interpretazione teorica delle relazioni SEM, non una dimostrazione di causalità reale poiché il disegno trasversale non consente inferenze causali in senso stretto.

6.2.4 Stabilità strutturale: il significato sociologico dell'invarianza

I test di invarianza fattoriale condotti per genere e coorte scolastica hanno confermato il mantenimento dell'invarianza configurale e metrica, con variazioni degli indici di adattamento entro le soglie raccomandate (ΔCFI ≤ 0.010, ΔRMSEA ≤ 0.015), in linea con i criteri di Cheung & Rensvold (2002) e Chen (2007).

L'invarianza configurale indica che la struttura a cinque fattori è comprensibile nello stesso modo da studenti di genere diverso e da corti scolastiche diverse: la "mappa mentale" dei costrutti si può considerare condivisa. L'invarianza metrica indica che i carichi fattoriali sono comparabili tra i gruppi, consentendo di affermare che ogni item contribuisce al rispettivo fattore latente con la stessa intensità relativa indipendentemente dal sottogruppo considerato. Questi risultati legittimano il confronto dei punteggi latenti e dell'EcoAI Index tra

sottogruppi, operazione che in assenza di invarianza metrica sarebbe statisticamente non fondata.

Dal punto di vista sociologico, la stabilità del modello attraverso genere e coorte scolastica ha un significato che va oltre la validazione tecnica. Essa indica che le dimensioni del Framework EcoAI sono strutture trasversali che attraversano l'esperienza scolastica con continuità. Questo risultato è in tensione parziale con una lettura bourdieusiana forte, che prevederebbe invece differenze strutturali di habitus legate al genere e al campo di socializzazione. Non sono costrutti contingenti a specifiche posizioni sociali o a specifiche fasi del percorso formativo; tuttavia, l'invarianza non esclude differenze nei livelli medi tra gruppi (andrebbero verificate con test specifici) suggerendo che la struttura interna delle dimensioni non varia. Studenti di genere diverso o di anni diversi "comprendono" le dimensioni EcoAI nello stesso modo anche se potrebbero collocarsi su livelli diversi di ciascuna di esse. Questa distinzione è teoricamente rilevante e va tenuta presente nell'interpretazione.

Il fatto che l'invarianza riguardi anche la coorte scolastica, in un campione che copre trasversalmente i cinque anni della secondaria, ha implicazioni specifiche per la discussione sullo sviluppo delle competenze nel tempo. Le dimensioni EcoAI sembrano intercettare orientamenti che si strutturano in modo relativamente coerente lungo tutto il ciclo formativo secondario, indipendentemente dal grado di esposizione cumulativa ai contenuti di educazione civica. Questo potrebbe suggerire che i costrutti EcoAI siano più fortemente influenzati dal contesto socio-culturale extrascolastico che dalla progressione curricolare, ma si tratta di un'ipotesi che richiede un disegno longitudinale per essere testata; il disegno trasversale adottato non consente di distinguere effetti di sviluppo da effetti di composizione del campione.

6.2.5 L'EcoAI Index come sintesi strutturale: logica costruttiva e limiti interpretativi

L'EcoAI Index è costruito a partire dai pesi fattoriali normalizzati derivati dal modello SEM, assegnando a ciascuna delle cinque dimensioni un contributo proporzionale alla sua importanza strutturale nel framework: EPAS (0.26) e AGY (0.24) ricevono i pesi più elevati, mentre AATI (0.18) il più contenuto. Questa scelta costruttiva ha una giustificazione precisa: i pesi riflettono la posizione relativa di ciascuna dimensione nella catena strutturale, non la loro sola affidabilità psicometrica o la loro media osservata. Un indice costruito con pesi uguali avrebbe sovra-rappresentato dimensioni che nel modello strutturale operano come prerequisiti (INFO) rispetto a dimensioni che ne rappresentano l'esito integrativo (EPAS, AGY).

La distribuzione dell'EcoAI Index nel campione confermativo (M=3.357, SD=0.559, range 2.058-4.974) mostra una variabilità ampia e una distribuzione approssimativamente simmetrica, condizioni che supportano l'uso dell'indice come strumento di differenziazione dei profili. La classificazione in tre classi tramite soglie percentili (P33 e P66) produce gruppi di confronto bilanciati per costruzione (bilanciamento che è un artefatto procedurale, non un risultato sostantivo, come esplicitato nel Capitolo 5).

L'EcoAI Index non misura un'unica competenza, ma una configurazione integrata di conoscenze, valori, percezioni tecnologiche e forme di agency. In questo senso, va trattato come un indice composito di profilo, che descrive la posizione relativa di uno studente nell'architettura del framework, non come un indicatore di una singola capacità latente (Kline, 2016). Le sue proprietà psicometriche ereditano sia i punti di forza del modello (CFA e SEM con buon fit, invarianza dimostrata) sia i suoi limiti dichiarati, in particolare l'affidabilità contenuta di EPAS (ω=0.535) e i valori di AVE sotto soglia per quattro delle cinque dimensioni. Qualunque confronto tra gruppi o utilizzo dell'indice a fini diagnostici deve essere condotto con consapevolezza di questi margini di incertezza.

Il confronto tra la versione esplorativa e quella confermativa dell'EcoAI Index, due strumenti distinti nella loro logica costruttiva (il primo basato su aggregazione descrittiva e indicatori non ancora validati, il secondo su pesi

strutturali derivati dal SEM) documenta un processo di affinamento teorico-metodologico coerente con l'impostazione sequenziale del disegno di ricerca. Come indicato da Marradi (2007) rispetto alla costruzione concettuale nelle scienze sociali, la ricalibrazione progressiva dello strumento tra fase esplorativa e fase confermativa non è una debolezza del disegno ma una sua condizione di rigore: nessun costrutto teorico complesso si traduce in uno strumento operativo definitivo alla prima somministrazione, e documentare il percorso di revisione è parte integrante della trasparenza metodologica.

6.3 Profili ecodigitali, stratificazione e disuguaglianze ecocognitive

6.3.1 Dai fattori latenti ai profili: la classificazione come operazione teorica

I risultati statistici del Capitolo 5 (la struttura fattoriale a cinque dimensioni, i coefficienti di percorso del SEM, la distribuzione dell'EcoAI Index) descrivono le relazioni tra costrutti latenti. La classificazione degli studenti in profili, tanto nella fase esplorativa quanto in quella confermativa, è un'operazione teoricamente diversa: sposta l'unità di analisi dal fattore latente singolo alla configurazione complessiva, rendendo visibili pattern di co-presenza tra dimensioni che il SEM considera separatamente. Per evitare il rischio di essere trascurata quando i profili vengono letti come semplici decili di un indice, è opportuno puntualizzare che ci si riferisce a quali combinazioni di punteggi ricorrono nella realtà del campione e che cosa significano dal punto di vista sociologico.

Questa nota è rilevante perché L'EcoAI Index è costruito con pesi derivati dal SEM e sintetizza in un numero la posizione relativa di uno studente nell'architettura del framework. Classificare gli studenti in tre classi tramite soglie percentili (bassa, media, alta) è un'operazione descrittiva che non produce tipi sociologici, ma rende comparabili le medie dimensionali tra gruppi e consente di osservare che cosa varia e che cosa invece rimane

stabile al variare del profilo complessivo. È da quest'ultima osservazione che emergono le implicazioni teoricamente più rilevanti.



Nota. Punteggi medi dimensionali per classe Eco-Index (scala 1–5). I valori in grassetto segnalano le differenze più marcate tra classi. Il punteggio medio VAL nella classe Bassa (M=3.09) documenta l'effetto soffitto: valori superiori al punto medio della scala anche nel profilo più basso. Linea tratteggiata verticale = punto medio della scala (M=3.0). Classificazione percentile P33/P66, N=198.

Figura 34 Profili dimensionali medi per classe EcoAI Index (bassa/media/alta)

6.3.2 AATI come fattore di stratificazione primario

Il risultato empirico più significativo dell'analisi dei profili EcoAI Index è che la dimensione *atteggiamenti e consapevolezza verso l'intelligenza artificiale* (AATI) presenta il massimo potere discriminante tra le classi: $\eta^2=0.528$, superiore a EPAS ($\eta^2=0.474$), AGY e VAL ($\eta^2=0.416$). Questo significa che nessun'altra dimensione del framework separa in misura altrettanto netta gli studenti con profilo alto da quelli con profilo basso. In termini di medie osservate, il divario tra la classe Bassa (AATI=2.374) e la classe Alta è il più pronunciato dell'intera matrice dimensionale.

Il dato è contro-intuitivo rispetto ad alcune ipotesi implicite nei framework normativi sull'educazione civica. Se il discriminante principale della cittadinanza Ecodigitale fosse l'adesione valoriale (nell'EcoAI VAL) il dato sarebbe compatibile con una lettura che privilegia la trasmissione di valori come leva educativa centrale. VAL ha invece $\eta^2=0.416$, il più basso tra le dimensioni con carichi elevati, e mostra un effetto soffitto nella classe Bassa (M=3.094) che riduce ulteriormente la sua capacità differenziante. È la dimensione tecnicamente meno "civica" del framework (AATI) a separare i profili con maggiore nitidezza.

Questo risultato può essere interpretato in due direzioni che non si escludono. La prima è di tipo cognitivo/ di competenze: la consapevolezza critica verso l'IA richiede un livello di elaborazione informativa specifico (ad esempio saper riconoscere contenuti generati da algoritmi, valutare i rischi ambientali dell'IA, comprendere il funzionamento dei sistemi di raccomandazione) che non è uniforme nel campione e che non si sviluppa automaticamente con l'uso strumentale delle tecnologie, come mostrano anche i cluster IA della fase esplorativa. La seconda interpretazione è di tipo sociologico: se AATI discrimina così nettamente, è plausibile che la distribuzione diseguale di competenza tecno-critica non sia casuale ma rifletta differenze di esposizione, di contesto familiare, di tipo di istruzione ricevuta. La tesi non dispone di dati sufficienti per testare questa ipotesi, ma l'asimmetria tra peso SEM di AATI (0.18, il più basso) e suo potere discriminante ($\eta^2=0.528$, il più alto) segnala un costrutto che opera come variabile di stratificazione piuttosto che come prerequisito uniforme.

Inoltre, la coerenza di questo risultato con i cluster della fase esplorativa è degna di nota: I cluster IA della prima somministrazione (N=403) mostrano che il 47.7% degli studenti appartiene al profilo degli "Entusiasti pragmatici" (cioè atteggiamento positivo verso l'IA trainato dall'accessibilità strumentale, non da comprensione critica) mentre il 27.1% rientra tra i "Distaccati", profilo caratterizzato non da ostilità ma da sostanziale indifferenza verso l'oggetto valutato. Solo il 25.1% si colloca tra gli "Ambivalenti critici", il profilo in cui alla preoccupazione per le ricadute sull'apprendimento si accompagna una lettura più riflessiva dello strumento. Si ipotizza che la somma di Entusiasti pragmatici e Distaccati, pari al 74.8% del campione esplorativo, suggerisca che la maggioranza degli studenti si rapporta all'IA in modalità pre-critica; questo è un dato che, letto insieme all'alto potere discriminante di AATI nella fase confermativa, indica che la dimensione tecno-critica è ancora scarsamente distribuita nel sistema scolastico e che la sua distribuzione diseguale è una delle principali fonti di differenziazione del profilo Ecodigitale complessivo.

6.3.3 Il ceiling di VAL: valori dichiarati, norma discorsiva e habitus incorporato

Il dato sul ceiling della dimensione VAL nella classe Bassa dell'EcoAI Index: M=3.094 su scala 1-5, con l'item "*proteggere l'ambiente è responsabilità di tutti*" (VAL_1) che raggiunge M=3.606 anche tra gli studenti con il profilo Ecodigitale più basso, è un risultato sostantivamente rilevante che richiede un'interpretazione teorica precisa. Il fatto che anche gli studenti con profilo complessivo basso si collochino mediamente sopra il punto centrale della scala sui valori eco-civici indica che l'adesione a enunciati valoriali di portata generale (come la protezione dell'ambiente come responsabilità collettiva, l'importanza degli SDG, la rilevanza della cittadinanza) è diffusa nel campione indipendentemente dal profilo complessivo. Essa non discrimina tra chi agisce, pensa criticamente e si forma competenze situate, e chi rimane a livelli bassi di agency e consapevolezza tecnica.

Questa dinamica trova una spiegazione convincente nella distinzione bourdieusiana tra opinione dichiarata e habitus incorporato, e più specificamente nell'architettura del doppio habitus, ecologico ed ecomediale, formalizzata nel preprint di riferimento (Rubino, 2025): le disposizioni valoriali si formano in campi materialmente distinti e vengono trasferite attraverso processi di trasponibilità senza consapevolezza esplicita delle differenze strutturali. In La distinction (1979) e nel Sens pratique (1980), Bourdieu distingue tra le disposizioni che un soggetto è in grado di enunciare verbalmente, le sue "prese di posizione" e quelle che strutturano le sue pratiche effettive, spesso al di sotto della soglia della riflessività esplicita. I valori eco-civici generalisti rilevati dall'item "proteggere l'ambiente è responsabilità di tutti" sembrano operare, nel campione analizzato, come norma discorsiva condivisa: enunciati che godono di legittimità culturale e che vengono facilmente sottoscritti perché non richiedono una competenza specifica né un impegno pratico verificabile. Si tratta di una distinzione strutturale tra il piano dell'adesione valoriale e quello della competenza situata, non di ipocrisia né di desiderabilità sociale in senso stretto. Il che implica che un'educazione civica orientata principalmente alla trasmissione di valori ecologici generali (come sembra prevalere nelle scelte del campione dove i temi "lavoro e diritti" (52.9%) e "Costituzione" (47.6%) dominano rispetto alla cittadinanza digitale (20.3%)) rischia di produrre studenti che sottoscrivono i valori giusti senza sviluppare le competenze per tradurli in pratiche critiche e agentive.

L'inferenza interpretativa è coerente con i dati della fase esplorativa: il cluster "Distanti dalla sostenibilità" (n=123, 30.5%) presenta coinvolgimento basso (M=1.894) e conoscenza percepita bassa (M=2.163), ma si tratta di studenti che nella fase confermativa sarebbero verosimilmente collocabili tra chi comunque aderisce verbalmente ai valori di portata generale. Il problema è la dissociazione tra valori dichiarati e competenze agentive non l'assenza dei valori stessi. Questa dissociazione è analoga a ciò che Bourdieu chiama "doxa". Cioè il campo di ciò che va da sé,

che non viene messo in discussione perché è diventato parte del senso comune ma applicata al sistema Ecodigitale come configurazione relazionale tra campo ecologico e campo ecomediale, in cui la norma discorsiva sull'ambiente si è sedimentata senza che si siano sviluppate le pratiche corrispondenti.

6.3.4 I cluster della fase esplorativa come configurazioni sociali differenziate

I tre cluster della fase esplorativa (N=403) delineano configurazioni ricorrenti di orientamenti valoriali, pratiche informative e rapporto con i temi dell'Agenda 2030 che hanno una leggibilità sociologica propria non sono semplicemente raggruppamenti statistici basati su medie simili. Ad esempio, il cluster "Impegnati eco-consapevoli" (n=135, 33.5%) si caratterizza per alta importanza attribuita a tutti i temi SDG (clima M=3.34, sviluppo economico M=3.42, sconfiggere la povertà M=3.29) con coinvolgimento e conoscenza percepita comparabili al cluster intermedio ma sistematicamente superiori. Il profilo indica un'integrazione tra dimensione valoriale e dimensione cognitiva che costituisce, nelle scale confermative, il prerequisito per lo sviluppo di agency e consapevolezza algoritmica, a scapito si una lettura superficiale che ridurrebbe il ragionamento semplicemente in studenti "più bravi" su un continuum di competenza. Ancora una volta, Bordieau ci viene incontro definendo questo cluster come quello in cui le disposizioni ecociviche sono più prossime all'habitus incorporato, quindi strutturanti le pratiche di raccolta di informazioni, di attribuzione di importanza e di coinvolgimento.

Il cluster "Sensibili orientati" (n=145, 36%) presenta il profilo intermedio per costruzione, ma è il più numeroso: importanza medio-alta sui temi SDG (clima M=2.86), coinvolgimento M=2.72, conoscenza M=2.97. Questi studenti non sono indifferenti come i precedenti ma la loro sensibilità ai temi della sostenibilità non si è ancora tradotta in un profilo strutturato di competenze. È plausibile che questo cluster contenga una quota consistente di soggetti in cui la norma discorsiva sui valori ecologici è interiorizzata ma

non ancora accompagnata da competenze critiche verso i sistemi algoritmici, vale a dire il tipo di soggetto che il ceiling di VAL fotografa nella fase confermativa.

Il cluster "Distanti dalla sostenibilità" (n=123, 30.5%) è teoricamente il più problematico. In prima analisi potrebbe sembrare che accolga studenti con valori esplicitamente contrari alla sostenibilità; tuttavia, si tratta di soggetti con bassa priorità attribuita ai temi SDG (clima M=2.171) e coinvolgimento ai minimi della scala (M=1.894). Nella prospettiva del Framework EcoAI, questo profilo segnala l'assenza sia della dimensione valoriale sia di quella delle competenze, una distanza strutturale da essa, compatibile con quanto indicato dalla letteratura sulla disaffezione civica giovanile in contesti ad alta esposizione digitale ma bassa mediazione critica (Hobbs, 2010).

6.3.5 Il costrutto emergente algoritmi ed ambiente: un'area di frontiera del framework

Gli item "gli algoritmi dovrebbero rispettare la diversità culturale e non creare discriminazioni"(VAL_7, M=3.851) e “l'intelligenza artificiale dovrebbe aiutare le persone a proteggere l'ambiente" (VAL_8, M=3.665) sono stati esclusi dal modello CFA per ragioni psicometriche: il loro contenuto normativo-prescrittivo specificamente orientato alla responsabilità algoritmica non soddisfa l'assunzione di covarianza comune con gli altri item VAL, che misurano valori eco-civici di portata più generale. La loro esclusione è una scelta metodologicamente corretta. Tuttavia, i dati descrittivi e le correlazioni che li riguardano hanno una rilevanza analitica che non può essere ignorata nella discussione.

I due item discriminano significativamente tra le classi EcoAI Index (η^2=0.254 per VAL_7; η^2=0.235 per VAL_8): nella classe Bassa le medie scendono a 3.066 e 2.892, nella classe Alta salgono a 4.476 e 4.190. Il gradiente è netto. Entrambi correlano fortemente con il punteggio medio VAL (ρ=0.625 e ρ=0.636, p<.001), ma mostrano al tempo stesso correlazioni significative con il punteggio medi AATI (ρ=0.388 e ρ=0.399)

e con quello EPAS (ρ=0.373 e ρ=0.395). In particolare, correlano con “l'IA dovrebbe rispettare principi etici chiari e condivisi” (AATI_7, ρ=0.478 e ρ=0.416), mentre la correlazione con “ho dubbi che un'IA possa essere imparziale" (AATI_6) è non significativa. Questo pattern ci rivela che la richiesta normativa di responsabilità algoritmica non emerge dalla sfiducia verso l'IA bensì da una posizione valoriale affermativa: si richiede che l'IA sia eticamente governata non perché la si teme ma perché si ritiene che debba servire finalità di giustizia e sostenibilità.

L’ipotesi interpretativa frutto dell’analisi dei pattern di correlazioni delle variabili VAL_7 e VAL_8, fortemente ancorati a VAL ma con radici in AATI e in EPAS, suggerisce che questi item intercettino un costrutto emergente situato all'intersezione tra dimensione valoriale, consapevolezza algoritmica e identità sociotecnica. In altri termini, non misurano né valori ecologici generali né atteggiamenti verso l'IA, ma qualcosa di distinto: una forma di etica algoritmica eco-orientata, in cui il soggetto richiede che i sistemi tecnici siano governati in accordo con valori di equità e sostenibilità. Questo costrutto, che nell'attuale modello non ha una dimensione propria perché non ha raggiunto coerenza psicometrica sufficiente, è teoricamente rilevante perché occupa esattamente lo spazio concettuale che il Framework EcoAI assegna all'integrazione tra agency, valori e tecnologia. È un segnale che l’EcoAI framework ha intercettato un dominio reale di orientamenti, anche là dove lo strumento non è ancora in grado di misurarlo in modo rigoroso. Questa osservazione vale come indicazione per lo sviluppo futuro di uno strumento specifico.

6.3.6 Disuguaglianze ecocognitive: la distribuzione come problema sociologico

Letti come insieme, i profili emersi dalla fase esplorativa e dalla fase confermativa indicano che la cittadinanza Ecodigitale non è uniformemente distribuita nel campione analizzato. Ci si potrebbe aspettare che studenti tutti iscritti alla scuola secondaria di secondo grado, con accesso a percorsi di educazione civica e ad ambienti digitali ad alta densità, mostrassero livelli

relativamente omogenei di competenza. Tuttavia, l'ampiezza della distribuzione dell'EcoAI Index (range 2.058-4.974, SD=0.559) e la nettezza dei profili cluster nella fase esplorativa indicano invece una differenziazione sostanziale.

L'interpretazione data a questa differenziazione si traduce come forma di disuguaglianza ecocognitiva, un concetto che non è formalizzato nella letteratura sociologica in questo preciso senso, ma che descrive la distribuzione diseguale di risorse cognitive, valoriali e tecno-critiche necessarie per agire come cittadino Ecodigitale consapevole. La distribuzione diseguale della "Consapevolezza e Atteggiamenti verso l'Intelligenza Artificiale" (AATI), in particolare, suggerisce che la comprensione critica dei sistemi algoritmici non si distribuisce casualmente ma tende a concentrarsi tra soggetti che probabilmente dispongono già di altri capitali culturali, ricalcando la riproduzione del vantaggio culturale teorizzata da Bourdieu in Reproduction in Education, Society and Culture (1990) con Passeron: le competenze "alte" tendono a essere accessibili a chi già possiede le risorse per acquisirle. Questa distribuzione diseguale è coerente con l'asimmetria strutturale teorizzata nel preprint di riferimento (Rubino, 2025), secondo cui l'agency nel sistema Ecodigitale emerge come capacità distribuita in funzione dell'accesso differenziale alle infrastrutture e della posizione strutturale dei nodi rispetto ai super-nodi che ne organizzano le condizioni operative.

Il fatto che il 30.5% degli studenti nella fase esplorativa appartenga al cluster "Distanti dalla sostenibilità" e che nella fase confermativa il 27.1% si collochi tra i "Distaccati" rispetto all'IA non è una coincidenza metodologica tra le due somministrazioni poiché sono campioni diversi, con strumenti diversi. È piuttosto una convergenza indicativa: una quota rilevante e stabile di studenti della scuola secondaria italiana mostra profili di distanza strutturale sia dai temi della sostenibilità sia dall'elaborazione critica delle tecnologie digitali. Questa quota non esprime ostilità nè manifesta valori contrari; semplicemente, non ha ancora sviluppato né le competenze né le disposizioni necessarie per agire come soggetto Ecodigitale. Riconoscere

questo come problema sociologico e non solo come deficit formativo individuale è il primo passo per non ridurre le politiche educative a interventi compensativi senza radici strutturali.

6.4 EPAS e la teoria dell'identità postumana Ecodigitale: contributo empirico e tensione epistemologica

6.4.1 Il problema teorico: misurare ciò che sfugge alla misura

La Scala di Agency Ecodigitale Postumana (EPAS) è la dimensione più originale del Framework EcoAI e, al tempo stesso, quella esposta alla critica teorica più immediata. L'ecodigital posthuman agency, intesa come capacità di abitare ecosistemi ibridi di umani, tecnologie, dati e ambienti riconoscendo la natura distribuita e co-produttiva dell'agire, è un costrutto che affonda le radici in tradizioni filosofiche radicalmente ostili alla logica della misurazione scalare. Karen Barad (2007), con la sua onto-epistemologia agenziale, dissolve il soggetto individuale in un processo di intra-azione continua tra umano e non-umano; Donna Haraway (2016) come evidenziato nei capitoli precedenti, propone la simpoiesi il fare-mondo-insieme come processo multispecie, distribuito, irriducibile all'azione di un agente singolo quale alternativa all'autopoiesi e a qualsiasi modello centrato sull'individuo. Rosi Braidotti (2013) descrive il soggetto contemporaneo come nomade, trans-modale, costitutivamente relazionale. Nessuno di questi autori scriverebbe mai un questionario Likert.

Questa tensione non va né nascosta né risolta con un'osservazione accondiscendente sulla "complementarità" tra approcci qualitativi e quantitativi. Va invece affrontata come scelta teorica esplicita, con le sue implicazioni e i suoi costi. La posizione adottata in questa ricerca è la seguente: EPAS non misura l'eco-posthuman agency nel senso forte delle ontologie relazionali; non misura processi di intra-azione, né reti di interdipendenza materiale, né simpoiesi. Misura qualcosa di più circoscritto

e operativamente definibile: il grado in cui uno studente concepisce la propria agency come parte di reti ibride umano-tecnologico-ecologiche, riconosce l'agency dei sistemi tecnologici e degli ambienti naturali, è capace di leggere processi co-produttivi tra umani, IA e ambiente, e si orienta verso forme distribuite di responsabilità. Questa distinzione è analoga a quella tra misurare "la gravità" come fenomeno fisico e misurare la comprensione che uno studente ha della gravità: due operazioni completamente diverse, ma entrambe legittime ciascuna nel proprio contesto di referenzialità.

La specificità teorica di EPAS non risiede nel postumanesimo in quanto tale, ma nel postumanesimo Ecodigitale come curvatura originale: la traiettoria che connette la tradizione dell'ecoliteracy, la comprensione dei sistemi ecologici come prerequisito dell'azione responsabile nella natura (Orr, 1992) con le ontologie relazionali postumane e con la realtà specifica delle infrastrutture algoritmiche contemporanee. È questa convergenza che costituisce il contributo teorico di questa tesi. Resta tuttavia aperta una domanda che la sola definizione del costrutto non risolve: attraverso quale meccanismo si produce, in contesti educativi concreti, quella disposizione che EPAS misura? La struttura relazionale del SEM (INFO → VAL/AATI → AGY → EPAS) descrive un ordine di precedenza tra costrutti, non un processo generativo. Dire che EPAS emerge dall'integrazione delle altre dimensioni è corretto sul piano strutturale ma pedagogicamente insufficiente, poiché non specifica le condizioni entro cui quella integrazione si produce come trasformazione del soggetto, ma soltanto come semplice esposizione a contenuti. Il riferimento teorico più adeguato a nominare questo meccanismo è la nozione di subjectification elaborata da Gert Biesta (2010), che distingue tre funzioni dell'educazione: qualificazione (trasmissione di conoscenze e competenze), socializzazione (introduzione in pratiche e tradizioni condivise) e subjectification, intesa come il processo attraverso cui il soggetto emerge come capace di agire nel mondo in modo singolare, responsabile e non predeterminato. EPAS corrisponde precisamente alla terza funzione: non misura ciò che uno studente sa o sa fare bensì la sua disposizione a situarsi dentro reti di

relazione Ecodigitale riconoscendone la natura co-produttiva. Questa disposizione non è trasmissibile nel senso didattico tradizionale: richiede contesti educativi che creino le condizioni per la sua comparsa, ambienti in cui l'incontro con la complessità ecologica e algoritmica non sia ridotto a contenuto da apprendere ma diventi occasione di posizionamento soggettivo. Identificare la subjectification come meccanismo generativo candidate di EPAS lo nomina con precisione sufficiente da orientare la progettazione dei contesti educativi e la ricerca futura sullo sviluppo longitudinale del costrutto, fermo restando la dimensione empirica.

6.4.2 Le radici convergenti: da Orr e Capra a Barad e Haraway

L'ecoliteracy, nella formulazione di Orr (1992) e nel suo sviluppo attraverso il pensiero sistemico di Capra (1996; Capra e Luisi, 2014), individua nella comprensione delle interdipendenze sistemiche la condizione cognitiva fondamentale per agire responsabilmente in relazione all'ambiente, sviluppando la capacità di leggere le reti di relazioni non lineari, i cicli di retroazione, le soglie di cambiamento. Ciò che Capra chiama "pensiero in termini di sistemi viventi", intimamente non-antropocentrica: l'essere umano è parte dei sistemi ecologici, non il loro osservatore esterno.

Il postumanesimo relazionale di Barad e Braidotti radicalizza questa non-centralità dell'umano sul piano ontologico. Barad (2007) sostituisce il concetto di "interazione" (agenti preesistenti che si incontrano) con quello di "intra-azione": agenti, oggetti e ambienti si co-costituiscono nel processo stesso del loro intreccio. Braidotti (2013) riconfigura il soggetto come nodo situato in reti relazionali di dipendenze che include il non-umano, il tecnologico e il biologico. Haraway (2016) aggiunge la dimensione temporale e collettiva con la simpoiesi, che descrive come i sistemi viventi si producano insieme, in modo distribuito, senza centro.

Il punto di incontro tra queste due tradizioni è la critica comune all'agente autonomo, individuale, separato dal suo contesto. Orr critica l'individuo che si percepisce esterno alla natura; Barad critica il soggetto che si percepisce

preesistente alle sue relazioni. Entrambe le critiche convergono nella necessità di formare un soggetto educativo capace di "abitare" sistemi complessi piuttosto che dominarli o osservarli dall'esterno. La teoria dell'identità postumana Ecodigitale proposta in questa tesi (Rubino, 2025) formalizza questa convergenza nel dominio specifico della contemporaneità algoritmico-ecologica: un'epoca in cui abitiamo un sistema Ecodigitale in cui le infrastrutture ecologiche ed ecomediali sono co-costitutive, e in cui l'agency civica emerge come capacità distribuita e asimmetrica dalla partecipazione a reti di nodi e super-nodi.

È in questa curvatura che la specificità Ecodigitale di EPAS emerge: il soggetto Ecodigitale abita un campo di interdipendenze ecologiche e digitali in cui anche un algoritmo di raccomandazione modella l'accesso alle informazioni ambientali, in cui l'addestramento di un modello linguistico consuma acqua e energia, in cui le piattaforme digitali, nella loro posizione strutturale di super-nodi, organizzano le condizioni operative della partecipazione civica sull'ambiente. EPAS misura la capacità di percepire, nominare e agire all'interno di questo campo specifico e la disposizione pratica che permette di abitarlo criticamente.

6.4.3 L'evidenza empirica: cosa dice il dato su EPAS

EPAS è la dimensione con il peso più elevato nell'EcoAI Index (0.26) e il secondo potere discriminante tra i profili ($\eta^2=0.474$). La classe Alta dell'EcoAI Index si caratterizza per EPAS=3.739, contro EPAS=2.652 della classe Bassa, un GAP di 1.087, il più uniforme tra le dimensioni a carico elevato. Nel modello strutturale, AGY predice EPAS con $\beta=0.45$ ($p<.001$) e VAL con $\beta=0.22$ ($p=.002$): EPAS è l'esito dell'interazione tra agency e valori, non una competenza che si sviluppa in modo indipendente.

Ciò è coerente con l'impostazione teorica: la dimensione postumana Ecodigitale non è una competenza cognitiva di base, ma un esito di secondo ordine, emerge quando informazione, valori e capacità agentiva si sono già strutturati in un profilo articolato. Si diventa sì soggetti ecodigitali

consapevoli per accumulo di conoscenze ma anche attraverso un processo di integrazione tra disposizioni valoriali, competenze tecniche e capacità di agire.

I carichi fattoriali degli item confermati “lettura dei processi co-produttivi umani-IA-ambiente” (EPAS_3, λ=0.807), “riconoscersi parte di reti più-che-umane” (EPAS_1, λ=0.738), “riconoscimento dell'agency tecnologica e ambientale“ (EPAS_2, λ=0.663) mostrano una struttura interna coerente per i tre item a formulazione positiva. Il problema psicometrico della dimensione risiede interamente nell'item a formulazione inversa “sull'allontanamento della tecnologia dalla natura” (EPAS_4, λ=-0.236, ω che scende a 0.535). La scelta di mantenerlo è stata soppesata a lungo poiché esso misura una polarità teoricamente rilevante, cioè la concezione della tecnologia come alternativamente separante rispetto alla natura, opposta all'integrazione sociotecnica che EPAS intende rilevare. Il costo psicometrico è dichiarato. È però indicativo che sia precisamente questo item, quello che misura la concezione separativa di tecnologia e natura, a *funzionare* peggio: suggerisce che nel campione questa dicotomia non sia pienamente interiorizzata come tale e che la relazione tra tecnologia e natura sia vissuta in modo più ambivalente e meno nettamente polarizzato di quanto l'item presupponga. L’ipotesi che ne segue è che questa ambivalenza è coerente con il profilo degli "Entusiasti pragmatici" della fase esplorativa, che costituisce il cluster maggioritario nell'uso dell'IA e che non si caratterizza né per separazione né per integrazione consapevole ma per un rapporto strumentale e non riflessivo con gli strumenti digitali. Un item che chiede di prendere posizione su una dicotomia teoricamente formulata "la tecnologia allontana dalla natura" incontra una popolazione che quella dicotomia non ha ancora elaborato.

6.4.4 La tensione epistemologica: operazionalizzare senza ridurre

La domanda teoricamente più rilevante che si può porre a EPAS non riguarda l’adeguatezza dei suoi indici psicometrici (sono parzialmente

soddisfacenti per tre item su quattro, con limitazioni dichiarate) ma se lo strumento misuri ciò che l'ipotesi di ricerca e la teoria soggiacente intendono.

Un primo argomento a favore della plausibilità della misura viene dai dati stessi. EPAS emerge empiricamente come dimensione integrativa, non residuale: il suo peso strutturale più elevato nell'EcoAI Index (0.26), la sua posizione come esito del modello SEM, le sue alte correlazioni con le dimensioni che la precedono nella catena causale, indicano che gli item di EPAS rilevano qualcosa che non è già catturato dalle altre quattro dimensioni. Se EPAS fosse semplicemente una somma di valori e agency ri-etichettata non avrebbe un contributo strutturale proprio nel modello.

Un secondo argomento, più cauto nell'inferenza, è che EPAS misura la soglia più accessibile della teoria Ecodigitale postumana: la dimensione percettivo-cognitiva dell'integrazione sociotecnica, la disponibilità a riconoscersi come parte di reti più-che-umane. Questa distinzione va esplicitata: EPAS misura una condizione necessaria ma non sufficiente per l'eco-posthuman agency nel senso pieno della teoria. Misura l'apertura cognitiva e valoriale alla co-costituzione tra persona, ambiente e sistemi tecnologici non l'agency trasformativa che da quella apertura può emergere. Il Framework EcoAI nella sua configurazione attuale è uno strumento di mappatura disposizionale, prerequisito per intervenire su di esse. Non è ancora sufficiente per affermare che la teoria dell'identità postumana Ecodigitale sia confermata: per questo sarebbero necessari disegni longitudinali, studi qualitativi sui processi di soggettivazione, confronti cross-culturali. Ma è sufficiente per affermare che la direzione è tracciata, che lo spazio teorico e lo spazio empirico mostrano una corrispondenza sufficiente da giustificare ulteriori investimenti di ricerca in questa direzione. Per usare le parole di Kuhn, è un'operazione di "puzzle solving" ai bordi di un paradigma emergente.

6.5 Implicazioni per SDG 4.7, 13 e 16: l'EcoAI Index come strumento di governance educativa

6.5.1 Il problema della misurazione del Target 4.7

L'Obiettivo 4.7 dell'Agenda 2030 stabilisce che entro il 2030 tutti i discenti debbano acquisire le conoscenze e le competenze necessarie per promuovere lo sviluppo sostenibile, tra cui l'educazione alla cittadinanza globale, la valorizzazione della diversità culturale e il contributo alla cultura della pace. Il target è programmaticamente ambizioso; il problema è che rimane, a oltre un decennio dalla sua adozione, tra i meno misurabili dell'intero sistema SDG. L'UNESCO stessa, nel Global Education Monitoring Report e nei documenti tecnici sull'indicatore 4.7.1, riconosce apertamente la difficoltà di costruire misure comparabili a livello nazionale e internazionale per costrutti come "educazione alla cittadinanza globale" o "sviluppo sostenibile" (UNESCO, 2017; UNESCO, 2020). L'indicatore ufficiale 4.7.1 misura il grado in cui l'educazione alla cittadinanza globale e alla sostenibilità è integrata nei curricoli nazionali, cioè la presenza normativa nei documenti di policy, non l'effettiva acquisizione di competenze da parte degli studenti.

Questa lacuna è strutturale più che tecnica: lo SDG 4.7 chiede di misurare competenze trasversali, disposizioni valoriali e forme di agency che non si prestano ai test standardizzati utilizzati per literacy e numeracy. I sistemi di valutazione scolastica nazionali, incluso il sistema italiano con le sue prove INVALSI, non contemplano dimensioni di questo tipo. Il risultato è che i Paesi dichiarano di aver integrato la sostenibilità nei curricoli, ma non dispongono di strumenti per rilevare se quella integrazione abbia prodotto competenze reali negli studenti. Si monitorano i programmi, non gli esiti.

L'EcoAI Index si colloca precisamente in questo vuoto. È uno strumento psicometricamente validato, un indice strutturale che misura configurazioni di competenze, valori e forme di agency attraverso un modello di equazioni strutturali ancorato teoricamente ai costrutti richiesti dall'SDG 4.7. Le

cinque dimensioni che lo compongono (INFO, AATI, VAL, AGY, EPAS) corrispondono con precisione agli ambiti che il Target 4.7 identifica come centrali: alfabetizzazione ecologica e informativa, orientamento valoriale verso la sostenibilità, capacità di agire come cittadino responsabile, comprensione critica delle tecnologie come componenti di configurazioni ecologiche e civiche. La sovrapposizione è voluta: il Framework EcoAI è stato costruito in continuità esplicita con GreenComp, DigComp e con le competenze chiave UNESCO, come documentato nel Capitolo 3. La relazione con SDG 4.7, tuttavia, non è solo genealogica: l'EcoAI Index offre una risoluzione operativa per un problema che il sistema di monitoraggio UNESCO ha lasciato aperto, offrendo una misura degli esiti piuttosto che della sola presenza curricolare.

6.5.2 Come l'EcoAI Index può funzionare come strumento di monitoraggio

Le proprietà psicometriche dell'EcoAI Index lo rendono tecnicamente adeguato a un impiego di monitoraggio, con condizioni e limiti che è necessario dichiarare con precisione. L'invarianza fattoriale dimostrata per genere e coorte scolastica garantisce che lo strumento misuri il medesimo costrutto in modo comparabile tra sottogruppi diversi, condizione necessaria per qualsiasi uso comparativo a livello di sistema. La distribuzione dell'indice nel campione confermativo (M=3.357, SD=0.559, range 2.058-4.974) mostra variabilità sufficiente per distinguere profili, rilevare differenze tra scuole o tra contesti territoriali, e tracciare evoluzioni nel tempo. La classificazione in tre profili (basso, medio, alto) offre una lettura graduata e non dicotomica che si adatta a logiche di monitoraggio progressivo.

Un sistema di rilevazione periodica basato sull'EcoAI Index potrebbe fornire dati comparabili su almeno tre livelli. A livello nazionale, consentirebbe di tracciare la distribuzione dei profili di cittadinanza Ecodigitale nella popolazione scolastica della secondaria, identificando trend evolutivi e differenziali territoriali, dati oggi completamente assenti dal sistema di valutazione del sistema scolastico italiano. A livello di istituto,

permetterebbe di collocare ciascuna scuola in relazione alla distribuzione nazionale, identificando aree di forza e criticità prima non rilevabili: non i voti e neanche la presenza di moduli curricolari, bensì il livello effettivo di competenza Ecodigitale degli studenti. In ultimo, a livello di sottogruppo, la classificazione in profili EcoAI Index consente di costruire mappe diagnostiche per coorti o segmenti del campione (per anno, genere, indirizzo), orientando interventi differenziati a livello di contesto piuttosto che di individuo.

Questo impiego di monitoraggio sistematico presuppone un'estensione del campione ben al di là delle 198 osservazioni della fase confermativa. Lo strumento è validato, ma la validazione è su un campione non rappresentativo a livello nazionale, con prevalenza maschile e distribuzione geografica limitata. Prima di qualsiasi uso di monitoraggio su scala nazionale, sarebbero necessarie almeno due condizioni: una validazione su campione stratificato per area geografica, tipo di istituto e composizione sociale, e una verifica di stabilità temporale con somministrazioni ripetute. Il confronto con gli strumenti esistenti chiarisce la posizione specifica dell'EcoAI Index nel panorama della valutazione educativa. Il Middle School Environmental Literacy Survey (McBeth et al., 2011), usato come riferimento costruttivo nella fase esplorativa, misura l'ecoliteracy in senso tradizionale (conoscenze, atteggiamenti, comportamenti ambientali) senza incorporare la dimensione della consapevolezza algoritmica né quella dell'agency Ecodigitale. Il GreenComp Framework (European Commission, 2022) offre una tassonomia delle competenze per la sostenibilità orientata al curricolo, non uno strumento di misura psicometrica degli esiti. Il DigComp 2.2 (Vuorikari et al., 2022) copre le competenze digitali in senso ampio ma non intercetta la dimensione ecologica né quella valoriale nell’ottica del postumanesimo Ecodigitale. Nessuno di questi strumenti misura la convergenza che è il nucleo del Framework EcoAI: la co-costituzione tra alfabetizzazione ecologica, consapevolezza critica dell'IA e agency civica situata.

6.5.3 L'EcoAI Index come strumento di valutazione dell'educazione civica italiana

Le implicazioni per il sistema scolastico italiano meritano uno sviluppo specifico, perché il quadro normativo dell'educazione civica italiana offre un ancoraggio istituzionale preciso per l'impiego dell'EcoAI Index come strumento valutativo.

La Legge 92/2019 e le Linee guida ministeriali emanate nel 2020 articolano il curricolo di educazione civica intorno a tre nuclei fondanti: la Costituzione, lo sviluppo sostenibile e la cittadinanza digitale. Questa tripartizione è esattamente lo spazio teorico che il Framework EcoAI abita. La dimensione VAL e la sua relazione con AGY coprono il nucleo dello sviluppo sostenibile; la dimensione AATI e la sua relazione con INFO coprono il nucleo della cittadinanza digitale; la combinazione strutturale delle cinque dimensioni nell'EcoAI Index copre, in modo integrato, ciò che le Linee guida richiedono ma che nessun strumento di valutazione esistente misura in forma sistematica.

I dati del campione esplorativo mostrano la distribuzione effettiva dei contenuti di educazione civica dichiarati dagli studenti: i moduli su lavoro e diritti (39,1%) e su Costituzione ed educazione finanziaria (27,2%) prevalgono nettamente rispetto ai temi ambientali (22,6%) e alla cittadinanza digitale (20,3%). Questa distribuzione documenta uno scollamento tra il mandato normativo delle Linee guida (che assegna pari peso ai tre nuclei fondanti) e la pratica curricolare effettiva, in cui la dimensione della sostenibilità e quella digitale rimangono marginali rispetto alla dimensione costituzional-istituzionale. Questo scollamento non dipende dalla carenza di impegno degli insegnanti ma da un problema strutturale di formazione e di strumenti: i docenti di educazione civica sono spesso laureati in discipline giuridiche o storiche, con scarsa formazione specifica sull'educazione alla sostenibilità o sull'IA, e non dispongono di strumenti valutativi per le competenze integrate richieste dai tre nuclei

fondanti. L'EcoAI Index potrebbe colmare parte di questa lacuna come indicatore di sistema.

Un utilizzo specifico e praticabile è quello della valutazione finale di programmi di educazione civica incentrati sugli argomenti coperti dal Framework EcoAI. Le cinque dimensioni dell'indice corrispondono alle competenze che i moduli curricolari di sostenibilità e cittadinanza digitale dovrebbero produrre: una somministrazione dell'EcoAI Survey all'inizio e alla fine di un percorso annuale o biennale consentirebbe di misurare la variazione nei profili EcoAI Index degli studenti, attribuendo la variazione all'intervento formativo con un disegno pre-test/post-test. Questa sarebbe la conseguenza diretta di disporre di uno strumento invariante, con buon fit psicometrico e capacità discriminante documentata.

A livello ministeriale, l'EcoAI Index potrebbe essere integrato nel sistema di autovalutazione d'istituto (RAV - Rapporto di AutoValutazione) come indicatore di esito per l'area "Risultati degli studenti" nelle dimensioni civica e di sostenibilità. Attualmente il RAV non include alcun indicatore di questa natura poiché misura il profitto nelle discipline curriculari standard, non le competenze trasversali di cittadinanza. Un'integrazione di questo tipo richiederebbe un aggiornamento dei riferimenti ministeriali, ma avrebbe il vantaggio di inserire lo strumento in un sistema già esistente e strutturato, con cadenze di rilevazione definite e confrontabilità inter-istituto garantita. Questa proposta implica che l'EcoAI Index venga ulteriormente validato su campioni nazionali rappresentativi prima di qualsiasi uso a fini di accountability istituzionale. L'uso diagnostico e formativo a supporto della progettazione didattica è, invece, proponibile già nella configurazione attuale dello strumento, con i limiti dichiarati.

6.5.4 SDG 13 e SDG 16: le connessioni strutturali

Il Framework EcoAI e l'EcoAI Index presentano implicazioni che si estendono oltre il Target 4.7, intersecando in modo strutturale anche gli SDG 13 e 16.

L'SDG 13 “Agire per il clima” richiede, tra i suoi target, l'integrazione di misure relative ai cambiamenti climatici nelle politiche, nelle strategie e nella pianificazione nazionali, e il miglioramento dell'educazione, della consapevolezza e della capacità umana e istituzionale in materia di cambiamenti climatici. Il cluster "Impegnati eco-consapevoli" della fase esplorativa mostra che importanza attribuita alla lotta al cambiamento climatico ($M=3.34$) e coinvolgimento ambientale sono correlati positivamente ($\beta=+0.32$, $p<.001$) e che questa correlazione è già rilevabile a livello di disposizioni dichiarate nella scuola secondaria. La dimensione INFO dell'EcoAI Index, che misura l'alfabetizzazione informativa ecologica come base cognitiva del framework, è precisamente lo strumento che consente di capire quanta parte della "consapevolezza climatica" rilevata dall'SDG 13 si traduce in competenza informativa strutturata, piuttosto che in adesione valoriale superficiale. L'EcoAI Index distingue, contributo unico rispetto agli strumenti esistenti, tra chi ha interiorizzato la crisi climatica come dato valoriale-normativo e chi ha sviluppato le competenze per leggerla criticamente nei sistemi informativi digitali attraverso cui essa viene mediata.

L'SDG 16 “Pace, giustizia e istituzioni solide” include tra i suoi target la garanzia dell'accesso pubblico all'informazione e la protezione delle libertà fondamentali, nonché la promozione di società pacifiche e inclusive per lo sviluppo sostenibile. Nella contemporaneità algoritmica, l'accesso all'informazione richiede competenze attive di navigazione, verifica e valutazione critica dei flussi informativi, esattamente ciò che INFO e AATI misurano nel Framework EcoAI. La dimensione AATI in particolare, con il suo potere discriminante massimo ($\eta^2=0.528$) e la sua specificità sulla consapevolezza dei meccanismi algoritmici, intercetta una forma di agency informativa che è condizione necessaria per la partecipazione civica consapevole in sistemi democratici mediati digitalmente. La connessione

tra SDG 16 e AATI non è meramente teorica, ma è documentata dal fatto che studenti con profilo AATI basso (classe Bassa, M=2.374) abbiano sistematicamente anche profili più bassi su tutte le altre dimensioni, incluse quelle valoriali e agentive. La consapevolezza critica verso i sistemi algoritmici risulta quindi come un prerequisito della partecipazione civica nel senso pieno che SDG 16 richiede.

Letti in insieme, SDG 4.7, 13 e 16 convergono nel richiedere un tipo di cittadino che il sistema scolastico italiano fatica a formare in modo sistematico: un soggetto capace di leggere la crisi ecologica attraverso i sistemi informativi digitali, di agire responsabilmente in un ecosistema ibrido di infrastrutture tecnologiche e naturali, e di partecipare in modo critico e consapevole ai processi decisionali democratici mediati da algoritmi. Questo è esattamente il profilo che il Framework EcoAI descrive, l'EcoAI Index misura e i dati del campione mostrano essere distribuito in modo diseguale e insufficientemente sviluppato nella popolazione scolastica analizzata. L'allineamento tra la struttura del framework e il mandato dei tre obiettivi SDG è l'esito di una scelta teorica deliberata che si riflette nella costruzione degli item, nella definizione delle dimensioni e nelle relazioni strutturali del modello.

6.6 Implicazioni curricolari e pedagogiche

6.6.1 Cosa dicono i dati alla pedagogia

Prima di leggere le evidenze in chiave didattica, è opportuno esplicitare la cornice interpretativa che orienta questa sezione. Il Framework EcoAI assume che le disposizioni rilevate dall'EcoAI Index non costituiscano competenze individuali isolate, ma effetti situati di una configurazione Ecodigitale in cui i soggetti sono inseriti come nodi di reti relazionali asimmetricamente strutturate (Rubino, 2025). Le differenze osservate tra profili e classi riflettono posizionamenti differenziati entro infrastrutture, flussi e pratiche, prima ancora di variazioni di conoscenza o atteggiamento. In questa prospettiva, la trasformazione delle competenze ecociviche non si

configura come traiettoria lineare di acquisizione, ma come accordatura sistemica (*systemic tuning*) entro vincoli strutturali: aggiustamento progressivo delle relazioni tra dominio ecologico e dominio ecomediale, conseguibile tramite riconfigurazioni didattiche che incidono sulle condizioni di partecipazione dei nodi, non sulla sola dotazione individuale. Il programma di ricerca delineato in 6.8.5 sviluppa questa lettura nei termini delle tensioni strutturali tra habitus ecologico ed ecomediale.

I risultati del Framework EcoAI non producono solo evidenze psicometriche: producono un'immagine della formazione Ecodigitale degli studenti di secondaria che ha implicazioni dirette sul piano della progettazione curricolare. È una immagine selettiva e per questo utile, mettendo in luce specifiche dissociazioni strutturali tra ciò che il curricolo di educazione civica intende produrre e ciò che effettivamente si registra nei profili degli studenti.

La dissociazione più rilevante è già stata discussa nei termini del ceiling di VAL e del potere discriminante di AATI: gli studenti tendono ad aderire diffusamente a valori eco-civici generalisti, ma la consapevolezza critica verso i sistemi algoritmici rimane la dimensione più disegualmente distribuita e quella che separa con maggiore nettezza i profili alti da quelli bassi. Sul piano pedagogico, questo significa che un'educazione civica centrata sulla trasmissione di valori, seppur necessaria, non è sufficiente a produrre i profili di competenza che il Framework EcoAI identifica come centrali per la cittadinanza Ecodigitale. Questa conclusione è coerente con la distinzione proposta da Biesta (2011) tra le tre funzioni dell'educazione: qualificazione, socializzazione e soggettivazione. Un'educazione civica orientata principalmente alla socializzazione (trasmissione di valori condivisi, apprendimento delle norme della convivenza democratica) produce studenti che aderiscono alle norme senza necessariamente sviluppare le competenze per agire criticamente all'interno di esse. La soggettivazione, cioè il processo attraverso cui un soggetto assume posizione, esercita giudizio, si costituisce come agente responsabile, richiede qualcosa di più: richiede esposizione a contenuti che mettano in

discussione le condizioni strutturali dell'agire e non solo le sue manifestazioni valoriali. AATI misura precisamente questa seconda funzione nel campo ecomediale del sistema Ecodigitale: non si chiede agli studenti se l'IA sia "buona" o "cattiva", ma se comprendano come funziona, chi la costruisce, quali bias incorpora, quali impatti ambientali produce. Questo tipo di competenza richiede una progettazione curricolare deliberata e un'elaborazione didattica specifica (Biesta, 2011; Long & Magerko, 2020) perché non emerge spontaneamente dall'esposizione agli strumenti digitali, né tantomeno dalla frequenza di moduli valoriali generici.

6.6.2 Un curricolo per competenze integrate, non per discipline parallele

Il Framework EcoAI è costruito intorno a quattro domini interdipendenti (Systems Understanding, Ecological Understanding of AI, Identity Formation e Tool-Based Learning) che non corrispondono a discipline scolastiche esistenti ma attraversano trasversalmente diverse aree disciplinari. Questa trasversalità è una scelta teorica che ha conseguenze curricolari precise: L'approccio delle "transversal competences for sustainability" proposto da Wiek et al. (2011) indica che le competenze necessarie per affrontare la complessità socio-ecologica, cioè pensiero sistemico, competenza anticipatoria, competenza normativa, competenza strategica, competenza interpersonale, non si sviluppano all'interno di discipline isolate ma richiedono integrazione tra domini cognitivi, valoriali e pratici. Il Framework EcoAI estende questa impostazione includendo la dimensione algoritmica come componente non separabile dalla comprensione sistemica dei processi ecologici: nell'Anthropocene digitale, capire i sistemi viventi richiede anche capire le infrastrutture computazionali che li mediano, li misurano e li governano. Un curricolo che separa l'educazione ambientale dall'educazione digitale o che li tratta come moduli addizionali distinti nell'ora di educazione civica non può produrre strutturalmente il tipo di integrazione che l'EcoAI Index misura nelle sue dimensioni più avanzate. Sterling (2001) aveva già identificato il problema

fondamentale dell'educazione alla sostenibilità: la tendenza a incorporarla nel sistema educativo esistente senza modificarne le logiche di fondo, producendo "educazione sulla sostenibilità" invece di "educazione per la sostenibilità". La prima aggiunge contenuti; la seconda trasforma strutture, relazioni pedagogiche e obiettivi. Wals e Sterling (2001) hanno sviluppato il concetto di transgressive learning (apprendimento trasgressivo, capace di sfidare abitudini, norme e pratiche sociali consolidate) come alternativa a forme di apprendimento accomodante che non mettono in discussione i presupposti degli ordini di conoscenza esistenti. Il dato che il 30.5% degli studenti della fase esplorativa appartenga al cluster "Distanti dalla sostenibilità" e che la competenza tecnologica resti largamente pre-critica anche tra studenti con alta adesione valoriale non è interpretabile come fallimento individuale: è l'effetto atteso di un sistema che aggiunge sostenibilità ai contenuti senza trasformare la struttura dell'esperienza educativa. Nella mia ipotesi di lettura questa diagnosi ha una conseguenza curricolare chiara. Non è sufficiente inserire un modulo sull'IA o sui cambiamenti climatici nell'ora di educazione civica. Ciò che i dati richiedono è una progettazione integrata in cui la comprensione dei sistemi ecologici e la comprensione dei sistemi algoritmici siano trattate come co-costitutive, ovvero come aspetti della stessa questione: il soggetto che abita il sistema Ecodigitale in cui infrastrutture ecologiche ed ecomediali sono co-costitutive, e in cui le informazioni ambientali circolano attraverso piattaforme la cui posizione di super-nodi organizza le condizioni di visibilità. Questo è il senso del dominio "Ecological Understanding of AI" nel Framework EcoAI: non l'IA come oggetto di studio separato, ma l'IA come componente strutturale dei sistemi ecologici contemporanei.

6.6.3 Progettazione didattica e sequenzialità delle dimensioni

Il modello strutturale del Framework EcoAI, con la sua catena INFO → VAL/AATI → AGY → EPAS, ha implicazioni dirette per la sequenzialità delle esperienze didattiche: una logica di sviluppo delle competenze che suggerisce un ordine nei tipi di esposizione e nei tipi di attività.

L'alfabetizzazione informativa ed ecologica “INFO “opera come condizione preliminare nella catena causale: predice VAL (β=0.42) e AATI (β=0.55) con i coefficienti di percorso più elevati del modello. Didatticamente, questo significa che senza pratiche strutturate di analisi critica delle fonti informative sui temi eco-civici, le dimensioni valoriali e attitudinali non trovano il substrato cognitivo su cui svilupparsi. Si tratta di sviluppare la capacità di navigare criticamente i flussi informativi come distinguere le fonti, valutare la qualità delle evidenze, riconoscere le logiche di frammentazione o di amplificazione algoritmica dell'informazione ambientale; Questi elementi sono il prerequisito di qualsiasi orientamento valoriale fondato. Hobbs (2010) e Livingstone & Sefton-Green (2016) mostrano che queste competenze informative richiedono una mediazione educativa esplicita per attività strutturate di analisi e discussione in contesti in cui l'errore informativo è riconoscibile e correggibile.

L'agency Ecodigitale AGY è predetta da VAL (β=0.38) e AATI (β=0.30) e predice a sua volta EPAS (β=0.45). Questo posizionamento strutturale indica che l'agency è un esito: emerge quando valori eco-civici e consapevolezza critica verso l'IA si sono sufficientemente strutturati da produrre la disposizione a intervenire. Sul piano didattico, ciò suggerisce che le attività orientate all'agency, vale a dire partecipazione civica, progettualità ambientale ed uso critico di piattaforme digitali per la sostenibilità, siano più efficaci come esiti di percorsi articolati che come attività isolate. Attività di citizen science digitale (il coinvolgimento attivo dei cittadini nella ricerca scientifica attraverso strumenti tecnologici come app, social media e piattaforme web), audit algoritmici scolastici ed analisi critica di contenuti ambientali nelle piattaforme di social media, ad esempio, producono competenze agentive solo se inserite in contesti in cui gli studenti dispongono già di strumenti informativi e critici per leggerle. In caso contrario, resterebbero esperienze attivistiche prive di elaborazione cognitiva strutturata.

EPAS, infine, come dimensione integrativa e di maggior peso strutturale nell'EcoAI Index (0.26), non si presta a essere "insegnata" direttamente:

emerge dall'integrazione delle altre dimensioni. Il dominio Identity Formation del Framework, a cui EPAS corrisponde teoricamente, descrive un processo di soggettivazione più che un contenuto curricolare. Essa è l'esito di percorsi in cui il soggetto ha avuto l'opportunità di riconoscersi come parte di reti ecodigitali più ampie, di elaborare la propria posizione rispetto a esse così come di riconoscere la responsabilità come caratteristica immanente del proprio coinvolgimento nel sistema Ecodigitale, distribuita asimmetricamente in funzione della posizione strutturale. Questo tipo di processo richiede tempo, continuità e strutture educative che consentano la riflessività: condizioni che i dati sulla distribuzione dei contenuti di educazione civica nel campione (ambientali al 22.6%, cittadinanza digitale al 20.3%) suggeriscono essere ancora scarsamente garantite.

6.6.4 La formazione dei docenti come nodo critico

Nessuna implicazione curricolare si traduce nella pratica senza mediazione del docente. I dati del campione mostrano che la dimensione AATI, la più discriminante tra i profili, è anche quella che richiede da parte del docente una competenza specifica: "parlare di IA" in modo generico non basta, è necessario saper guidare gli studenti nell'analisi critica del funzionamento dei sistemi algoritmici, aiutarli nella valutazione dei loro impatti ecologici e sociali, supportarli nel riconoscimento dei meccanismi di produzione e distribuzione dell'informazione. Queste competenze attualmente non fanno parte della formazione standard dei docenti di educazione civica, che nella scuola italiana è affidata prevalentemente a insegnanti di altre discipline spesso senza formazione specifica su questi temi. Redecker (2017), nel framework DigCompEdu, identifica sei aree di competenza digitale dei docenti: engagement professionale, risorse digitali, insegnamento e apprendimento, valutazione, potenziamento degli studenti, promozione della competenza digitale degli studenti. Egli sottolinea che la competenza più avanzata, cioè la promozione attiva della competenza digitale critica negli studenti, richiede a sua volta che il docente abbia sviluppato una comprensione profonda non solo degli strumenti ma delle logiche che li

governano. Il dato della ricerca EcoAI segnala che questo livello di competenza è il nodo critico del sistema: la distribuzione diseguale di AATI tra gli studenti riflette, almeno in parte, la distribuzione diseguale di questa competenza tra i loro docenti.

La formazione iniziale e in servizio dei docenti che operano nell'area dell'educazione civica dovrebbe quindi includere non solo contenuti sull'IA e sulla sostenibilità in senso trasmissivo, ma anche metodologie per l'insegnamento critico di questi temi: da come progettare attività di analisi delle piattaforme a come facilitare la discussione sui bias algoritmici senza tecnicalità eccessive, dal connettere la comprensione dei sistemi informativi alla comprensione dei sistemi ecologici. Questa ridefinizione della competenza educativa richiesta nell'Anthropocene digitale, coerente con quanto Biesta (2011) indica come condizione della soggettivazione educativa, richiede che l'insegnante stesso sia un soggetto capace di giudizio critico, non solo un trasmettitore di contenuti certificati.

Il Framework EcoAI e l'EcoAI Index possono svolgere un ruolo specifico anche nella formazione docenti, non solo nella valutazione degli studenti. Una somministrazione dell'EcoAI Survey a docenti di educazione civica in servizio, con l'adattamento degli item al contesto professionale, fornirebbe una mappatura delle competenze ecodigitali degli insegnanti comparabile a quella degli studenti, consentendo di identificare i gap di formazione più critici e di progettare interventi mirati. Questa è un'applicazione futura dello strumento che richiederebbe validazione specifica, ma è teoricamente coerente con la struttura del framework.

6.6.5 Governance algoritmica come contenuto di educazione civica

Il dato che l'AI Awareness & Trust Index (AATI) sia il principale discriminante tra i profili EcoAI Index, e che la sua distribuzione bassa (M=2.374 nella classe inferiore) corrisponda a profili di scarsa agentività complessiva, rappresenta un'implicazione specifica che merita trattazione

separata per la sua rilevanza strutturale. Questo indica che la comprensione critica dei sistemi algoritmici è una componente strutturale dell'educazione civica nell'epoca corrente. Oltre la conoscenza teorica del funzionamento tecnico di un algoritmo, sottende il comprendere come i sistemi di raccomandazione modellano l'accesso all'informazione ambientale, come i bias di addestramento riproducono disuguaglianze nell'accesso alla conoscenza, come le infrastrutture digitali hanno impatti energetici e materiali sull'ecosistema che non sono visibili nell'interfaccia utente.

O'Neil (2016) e Noble (2018), entrambi già citati nei capitoli precedenti, mostrano come i sistemi algoritmici non siano strumenti neutri ma configurazioni che, attraverso la posizione strutturale dei super-nodi che le governano, cristallizzano e amplificano disuguaglianze preesistenti. Nel contesto dell'educazione civica, la comprensione di questi meccanismi è una precondizione per l'esercizio consapevole della cittadinanza: un soggetto che non comprende come le piattaforme selezionano le informazioni che riceve non può esercitare un giudizio critico su di esse, non può valutare la qualità delle evidenze sui cambiamenti climatici che incontra online, non può distinguere tra informazione ambientale fondata e disinformazione algoritmicamente amplificata. La governance algoritmica, cioè la riflessione su chi controlla i sistemi, con quali criteri e con quali effetti, diventa quindi un contenuto di educazione civica nel senso più pieno del termine.

Il dominio "Ecological Understanding of AI" del Framework EcoAI, che sul piano operativo contribuisce principalmente alla dimensione AATI, formalizza esattamente questo contenuto: l'IA come sistema sociotecnico da comprendere criticamente nelle sue relazioni con l'ecosistema informativo, energetico e civico. Inserire questo dominio nel curricolo di educazione civica italiana, in continuità con il nucleo fondante della cittadinanza digitale, è una conseguenza diretta di quanto i dati mostrano e rappresenta una scelta politica oltre che pedagogica.

6.7 Limiti della ricerca

6.7.1 Limiti campionari

Il limite più immediato riguarda la composizione del campione. Entrambe le somministrazioni, esplorativa (N=403) e confermativa (N=198), sono state condotte su popolazioni scolastiche non rappresentative a livello nazionale: la distribuzione geografica è parziale, la prevalenza di studenti di genere maschile (68%) non rispecchia la composizione reale della popolazione scolastica della secondaria di secondo grado, e l'assenza di dati sull'origine socio-economica degli studenti impedisce di valutare in che misura i profili EcoAI Index riflettano differenziali di capitale culturale familiare piuttosto che, o in aggiunta a, effetti dell'esposizione scolastica. Questi elementi, tuttavia, non inficiano la validità interna del modello, poiché le relazioni strutturali tra le dimensioni sono robuste e l'invarianza fattoriale è dimostrata per genere e coorte, ma circoscrivono la generalizzabilità dei risultati. Le medie osservate, la distribuzione dell'EcoAI Index e la composizione dei cluster non possono essere trasferite direttamente alla popolazione studentesca italiana senza una validazione su campione stratificato.

Il punto di forza che compensa parzialmente questo limite è l'eterogeneità interna del campione confermativo rispetto agli anni di corso e all'esposizione cumulativa all'educazione civica, che ha reso possibile testare l'invarianza configurale e metrica del modello in condizioni non omogenee. L'invarianza dimostrata aumenta la plausibilità che la struttura fattoriale si mantenga anche su campioni più diversificati, ma questa rimane un'ipotesi da verificare empiricamente.

6.7.2 Limiti strumentali

Il secondo limite riguarda la natura auto-riferita dei dati. Un questionario self-report rileva percezioni, atteggiamenti dichiarati e disposizioni soggettive, non comportamenti osservati, pratiche verificabili o competenze

misurate in situazione. Questa distanza tra dichiarato e agito è strutturale in qualsiasi strumento survey e non dipende da carenze dello strumento specifico: come indicato dalla letteratura metodologica sui processi di risposta ai questionari, la tendenza alla desiderabilità sociale e le discrepanze tra atteggiamenti dichiarati e comportamenti effettivi sono inerenti alla modalità di rilevazione, non eliminabili con precauzioni tecniche (Tourangeau, Rips & Rasinski, 2000). Il ceiling di VAL (il risultato empirico più problematico della ricerca, discusso in 6.3.3) è la manifestazione più diretta di questo limite: studenti con profilo complessivo basso aderiscono verbalmente a valori eco-civici elevati perché quegli enunciati hanno acquisito legittimità discorsiva, non necessariamente perché li hanno incorporati come disposizioni pratiche. Uno strumento che misura dichiarazioni non può distinguere tra le due condizioni: può solo rilevare l'asimmetria tra dimensioni, come fa il confronto tra ceiling di VAL e basso discriminante η^2 di VAL rispetto ad AATI, e quindi segnalare dove quella asimmetria è teoricamente significativa.

Due item mostrano saturazioni fattoriali basse che ne riducono il contributo alla struttura del modello: l'item sulla rassegnazione civica ("è tutto inutile") (AGY_6, λ=0.204) e l'item sull'allontanamento della tecnologia dalla natura (EPAS_4, λ=-0.236). Entrambi sono stati mantenuti per coerenza teorica. Il primo misura la rassegnazione civica come polarità negativa dell'agency, il secondo l'alienazione tecnologica come polarità negativa dell'integrazione sociotecnica, ma il loro basso contributo psicometrico indica che la formulazione degli item non ha catturato adeguatamente il contenuto teorico che intendevano rilevare. La Scala di Agency Ecodigitale Postumana EPAS, di conseguenza, è la dimensione meno affidabile del modello (ω=0.535) e i suoi punteggi richiedono un'interpretazione più cauta rispetto alle altre. Questo è un limite strumentale circoscritto e dichiarato non una criticità strutturale del costrutto.

6.7.3 Limite interpretativo: la misura come operazione necessariamente parziale rispetto al costrutto

Il limite interpretativo più rilevante non riguarda la qualità psicometrica dello strumento ma la natura dell'operazione che compie. Il Framework EcoAI, e in particolare la dimensione EPAS, è fondato su una teoria della soggettività Ecodigitale di matrice postumana: il soggetto non è un'unità atomistica che "possiede" competenze, ma un nodo in reti di relazioni tra umani, tecnologie, dati e ambienti. Barad (2007), Braidotti (2013) e Haraway (2016) descrivono processi di co-costituzione che non hanno come unità primaria l'individuo ma l'intreccio. Eppure, lo strumento misura individui. Non è una contraddizione da sanare né una tensione da superare, ma è la condizione strutturale obbligatoria di qualsiasi ricerca socio-pedagogica empirica applicata al contesto scolastico. La teoria postumana Ecodigitale non nega l'esistenza del soggetto: nega la sua autonomia e la sua originarietà rispetto alle relazioni. Misurare la disposizione di quel soggetto a riconoscersi come parte di reti ibride, a leggere la co-produzione tra umani, tecnologie e ambienti, a orientarsi verso forme distribuite di responsabilità è l'unica operazione metodologicamente accessibile, ed è internamente coerente con la teoria: si misura l'apertura cognitivo-valoriale all'integrazione relazionale, cioè la condizione soggettiva necessaria perché l'agency Ecodigitale postumana possa svilupparsi come pratica situata. La scala di Agency Ecodigitale (EPAS) non misura la relazione, misura la predisposizione del soggetto a riconoscerla e ad abitarla. Il limite interpretativo reale è diverso e più preciso: lo strumento non consente di distinguere tra studenti che dichiarano apertura all'integrazione relazionale perché l'hanno effettivamente elaborata come orientamento stabile, e studenti che la dichiarano perché il contesto scolastico e discorsivo la rende una risposta legittima. La stessa logica del ceiling di VAL potrebbe applicarsi, in misura minore, data la distribuzione più discriminante, anche a EPAS. Questa ambiguità è strutturalmente ineliminabile con dati self-report e richiede, per essere affrontata, l'integrazione di metodi osservativi o narrativi capaci di rilevare le disposizioni nelle pratiche piuttosto che nelle dichiarazioni. È lo sviluppo futuro più urgente per rafforzare la validità ecologica del costrutto EPAS.

Il limite interpretativo ulteriore riguarda il disegno trasversale: il campione copre trasversalmente i cinque anni della secondaria, ma non consente di distinguere effetti di sviluppo, come cambiamenti reali nelle disposizioni ecodigitali nel corso del percorso formativo, da effetti di composizione come le differenze tra coorti dovute a fattori biografici e contestuali pre-scolastici. Inoltre, l'invarianza fattoriale non è equivalente alla stabilità longitudinale: questo indica che la struttura del costrutto è comparabile tra anni diversi, non che il costrutto si sviluppi uniformemente nel tempo. Verificare la traiettoria evolutiva delle dimensioni EcoAI nel corso del ciclo scolastico richiede un disegno longitudinale che questa ricerca non ha potuto adottare.

6.7.4 Limiti del quadro teorico: esclusioni consapevoli

Il framework teorico del Postumanesimo Ecodigitale mobilita selettivamente alcune tradizioni disciplinari e ne esclude altre. Queste esclusioni sono scelte operative che è necessario dichiarare esplicitamente per consentire al lettore di valutarne le implicazioni.

La prima esclusione riguarda parzialmente la filosofia della tecnica in senso ontologico. Il preprint di riferimento (Rubino, 2025) mobilita Simondon per formalizzare il device come interfaccia trasduttiva entro il sistema Ecodigitale; la tesi ne eredita il costrutto operativo ma non sviluppa la dimensione ontologica che sarebbe al centro del pensiero di Heidegger (la tecnica come "Gestell") ed Ellul (l'autonomizzazione della tecnica come sistema autopoietico). La scelta di non percorrere questa strada è motivata dall'orientamento pedagogico-empirico del framework: l'obiettivo è formare disposizioni critiche verso le tecnologie in contesti scolastici, non elaborare un'ontologia della tecnicità. Le due operazioni sono compatibili ma distinte, e la seconda eccede i confini disciplinari di questa ricerca.

La seconda esclusione riguarda tre tradizioni che condividono con il framework l'orientamento critico ma non sono state integrate. L'ecofemminismo classico (Plumwood, 2002; Warren, 2000) ha elaborato un'analisi del dominio della natura come struttura logica parallela al

dominio delle donne, con implicazioni pedagogiche specifiche che il framework non incorpora. La pedagogia del territorio e dei saperi indigeni (land-based pedagogy) ha teorizzato forme di co-presenza materiale con i luoghi che il Postumanesimo Ecodigitale richiama concettualmente senza attingere a quelle genealogie. La tradizione dell'Education for Sustainable Development (Sterling, 2001; Wals, 2007) ha prodotto una tassonomia dei livelli di risposta educativa alla crisi ecologica (educazione su, in, per la sostenibilità) che avrebbe rilevanza diretta per il framework ma non è stata esplicitamente discussa. L'esclusione di queste tradizioni è giustificata dalla scelta di ancorare il framework al contesto istituzionale italiano e ai quadri normativi europei (GreenComp, DigComp) come interlocutori primari: una scelta di perimetro, non un giudizio di irrilevanza teorica.

6.8 Sviluppi futuri

6.8.1 Validazione su campioni allargati e diversificati

Il primo sviluppo necessario è la validazione dell'EcoAI Index su campioni nazionalmente rappresentativi. La struttura fattoriale e il modello strutturale hanno dimostrato solidità su due campioni indipendenti, ma la generalizzabilità richiede una terza somministrazione su un campione stratificato per area geografica, tipo di istituto, composizione socio-economica e genere. Solo questa validazione consentirebbe l'uso dell'EcoAI Index come strumento di monitoraggio a livello di sistema, per il confronto inter-istituto, per la rilevazione di differenziali territoriali, per il tracciamento longitudinale a livello nazionale come indicatore di esito per l'SDG 4.7. Parallelamente, la validazione cross-culturale in contesti educativi europei diversi, seppur con sistemi di educazione civica strutturati diversamente rispetto al modello italiano, consentirebbe di testare se la struttura a cinque fattori sia specifica del contesto nazionale o trasferibile come architettura generale per la misurazione della cittadinanza Ecodigitale.

La questione della trasferibilità riguarda in particolare la dimensione AATI, il cui alto potere discriminante è stato rilevato nel contesto italiano, caratterizzato da un sistema scolastico che integra la cittadinanza digitale come nucleo fondante dell'educazione civica solo dal 2019 e che mostra ancora distribuzioni largamente pre-critiche dell'uso dell'IA tra gli studenti. In contesti con maggiore esposizione curricolare strutturata all'AI literacy, la distribuzione di AATI potrebbe risultare meno discriminante e questa stessa variazione sarebbe un dato teoricamente rilevante sulla relazione tra esposizione formativa e sviluppo della consapevolezza critica verso i sistemi algoritmici (Long & Magerko, 2020).

6.8.2 Disegni longitudinali

Il secondo sviluppo prioritario riguarda l'adozione di un disegno longitudinale. Lo strumento attuale rileva configurazioni di disposizioni in un momento dato: non consente di distinguere tra effetti di sviluppo e effetti di composizione, né di valutare se interventi educativi specifici producano variazioni misurabili nei profili EcoAI Index nel tempo. Un panel longitudinale che segua le stesse coorti di studenti per due o tre anni scolastici, con somministrazioni ripetute dell'EcoAI Survey e documentazione delle esperienze curricolari intercorse, consentirebbe di rispondere a domande che il disegno trasversale lascia necessariamente aperte: in quale fase del percorso scolastico si strutturano le dimensioni EcoAI? Quali tipi di esperienze didattiche producono variazioni significative in AATI e EPAS? L'esposizione cumulativa all'educazione civica ha effetti misurabili sui profili ecodigitali, o questi sono determinati principalmente da fattori extrascolastici?

Un disegno di questo tipo consentirebbe anche di valutare l'impiego dell'EcoAI Index come strumento di valutazione pre-test/post-test per programmi curriculari specifici, l'uso diagnostico-progettuale che il Framework EcoAI identifica come funzione applicativa centrale dello strumento, con la possibilità di attribuire le variazioni osservate

all'intervento formativo piuttosto che al semplice effetto del tempo. Mezirow (1991), nella sua teoria dell'apprendimento trasformativo, indica che i cambiamenti nelle disposizioni fondamentali nelle "prospettive di significato" attraverso cui un soggetto interpreta la propria esperienza, richiedono tempo, dissonanza cognitiva e contesti di elaborazione riflessiva: condizioni che solo un disegno longitudinale può rilevare e documentare.

6.8.3 Integrazione di metodi qualitativi

Il terzo sviluppo riguarda l'integrazione di metodi qualitativi nella ricerca sul Framework EcoAI. I dati quantitativi descrivono distribuzioni, relazioni strutturali e profili non i processi attraverso cui questi profili si formano, né tantomeno i significati che gli studenti attribuiscono alle proprie posizioni rispetto alle dimensioni EcoAI. In particolare, la dimensione EPAS, che misura la disposizione all'integrazione relazionale persona-ambiente-tecnologia, è quella che più direttamente richiederebbe un approfondimento qualitativo: interviste narrative, focus group tematici su episodi di uso critico dell'IA, osservazioni etnografiche di pratiche didattiche in classi con profili EcoAI Index diversi. Questi strumenti non sostituirebbero la misurazione quantitativa ma la integrerebbero, consentendo di distinguere tra dichiarazioni di apertura relazionale che riflettono disposizioni pratiche consolidate e dichiarazioni che riflettono adesione discorsiva a orientamenti culturalmente legittimi, la distinzione che il limite interpretativo discusso in 6.6.3 identifica come il nodo irrisolto più urgente.

L'integrazione qualitativo-quantitativa consentirebbe inoltre di sviluppare il costrutto emergente intercettato da VAL_7 e VAL_8 cioè l'etica algoritmica eco-orientata situata all'intersezione tra dimensione valoriale, consapevolezza algoritmica e identità sociotecnica, in modo tale da costruire una scala dedicata con sufficiente coerenza psicometrica. Questo costrutto, che nella configurazione attuale non ha una dimensione propria nel modello perché non ha raggiunto la soglia di saturazione fattoriale necessaria,

potrebbe costituire la sesta dimensione del Framework EcoAI in una versione successiva dello strumento, portando a sei le componenti dell'EcoAI Index.

6.8.4 Sviluppo del costrutto EPAS e affinamento degli item

Sul piano strettamente strumentale, EPAS richiede un ciclo di revisione degli item dedicato. La bassa saturazione di EPAS_4 (λ=-0.236) e il conseguente coefficiente omega contenuto (ω=0.535) segnalano che la polarità inversa del costrutto, la concezione della tecnologia come separante rispetto alla natura, non è stata catturata efficacemente nella formulazione corrente. La revisione dovrebbe procedere con un ciclo di interviste cognitive sui singoli item, testando come gli studenti interpretano le formulazioni e dove si generano ambiguità o fraintendimenti, seguito da una nuova fase esplorativa con item rivisti prima di una terza somministrazione confermativa. L'obiettivo non è eliminare la polarità negativa del costrutto, che ha un'importanza teorica precisa, ma trovare formulazioni che la rendano distinguibile in modo affidabile dalla mera indifferenza o dalla non comprensione dell'item.

L'affinamento di EPAS è il più urgente tra gli sviluppi strumentali perché EPAS è la dimensione con il peso più elevato nell'EcoAI Index (0.26) e il secondo potere discriminante tra i profili (η^2=0.474): migliorarne l'affidabilità aumenterebbe la precisione dell'indice nella sua dimensione più teoricamente originale, rafforzando la capacità dello strumento di misurare ciò che la teoria dell'identità postumana Ecodigitale identifica come il contributo proprio del Framework EcoAI al panorama internazionale degli strumenti per l'educazione alla sostenibilità.

6.8.5 Tensioni strutturali tra habitus ecologico ed ecomediale come programma di ricerca

Un programma di ricerca che il presente lavoro apre senza sviluppare sistematicamente riguarda le tensioni strutturali tra habitus ecologico e habitus ecomediale nel soggetto contemporaneo. La co-presenza simultanea di due campi organizzati da logiche operative distinte produce forme di dissonanza strutturale tra orientamenti ecologici ed ecomediali. Queste tensioni emergono empiricamente come profili contraddittori e resistenze alla trasformazione dei comportamenti eco-civici. La nozione di ecodigital habitus(es) (Rubino, 2025) designa questa condizione come oggetto di ricerca autonomo, distinto dalla misurazione delle singole dimensioni. L'accordatura sistemica tra i due campi, intesa come riconfigurazione entro vincoli strutturali, costituisce l'orizzonte entro cui collocare gli sviluppi futuri del Framework EcoAI.

Bibliografia

Adamoli, G., Cinganotto, L., & Vacca, A. (2023). *Educazione civica digitale: Pratiche, sfide e prospettive*. Le Monnier Università. ISBN 978-88-00-88406-4

Adamoli, G., Carraro, M., Emilio, D., & Calò, S. (2023). Civic education between digital platforms and new forms of citizenship: A case study. *Generazioni. Studi e Documenti, 7*(2), 92–108. https://doi.org/10.32043/gsd.v7i2.858

Adamoli, M., Carraro, E., Emilio, M., Mason, E., Migliore, S., & Miatto, E. (2023). L'educazione civica tra piattaforme digitali e nuove forme di cittadinanza: Un caso studio. *Giornale Italiano di Educazione alla Salute, Sport e Didattica Inclusiva, 7*(2), 1–15. https://doi.org/10.32043/gsd.v7i2.858

Ali, S. M. (2016). A brief introduction to decolonial computing. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students, 22*(4), 16–21. https://doi.org/10.1145/2930886

Amrute, S., Atanasoski, N., & Vora, K. (2019). Algorithmic fairness and coloniality. *AMODERN, 8*. https://amodern.net/article/algorithmic-fairness-coloniality/

Anduiza, E., Cantijoch, M., & Gallego, A. (2020). *Digital participation and political engagement: From incidental exposure to purposeful action*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30913-0

Anduiza, E., Jensen, M. J., & Jorba, L. (Eds.). (2012). *Digital media and political engagement worldwide: A comparative study*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139108881

Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J. G., & France, C. (2018). Electricity intensity of internet data transmission. *Journal of Industrial Ecology, 22*(4), 785–798. https://doi.org/10.1111/jiec.12630

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2010). Development of system thinking in the context of environmental education. *Journal of Research in Science Teaching*.

Bagnato, K. (2022). Educare alla cittadinanza digitale a scuola. *ASPEI. Rivista di Scienze Pedagogiche e Sociali, 58*(1). https://doi.org/10.19229/3518-8360/6108

Bakshy, E., Messing, S., & Adamic, L. A. (2015). Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook. *Science, 348*(6239), 1130–1132. https://doi.org/10.1126/science.aaa1160

Baker, R. S., & Hawn, A. (2022). Algorithmic bias in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 32*(4), 1052–1092. https://doi.org/10.1007/s40593-021-00285-9

Bandalos, D. L. (2014). Relative performance of categorical diagonally weighted least squares and robust maximum likelihood estimation. *Structural Equation Modeling, 21*(1), 102–116. https://doi.org/10.1080/10705511.2014.859510

Bandura, A. (2001). Social cognitive theory of mass communication. *Media Psychology, 3*(3), 265–299. https://doi.org/10.1207/S1532785XMEP0303_03

Banfi, G., & Bonazzi, M. (2024). A study in pink: Le narrazioni digitali dell'influ-attivismo femminista. *Mediascapes Journal, 24*(2), 58–73.

Barad, K. (2007). *Meeting the universe halfway: Quantum physics and the entanglement of matter and meaning*. Duke University Press. https://doi.org/10.1215/9780822388129

Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production, 177*, 448–463. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239

Benjamin, R. (2019). *Race after technology: Abolitionist tools for the new Jim Code*. Polity.

Bennett, J. (2010). *Vibrant matter: A political ecology of things*. Duke University Press.

Bianchi, G., Pisiotis, U., & Cabrera Giraldez, M. (2022). *GreenComp: The European sustainability competence framework*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/13286

Biesta, G. (2010). *Good education in an age of measurement: Ethics, politics, democracy*. Paradigm Publishers.

Biesta, G. J. J. (2011). *Learning democracy in school and society: Education, lifelong learning and the politics of citizenship*. Sense Publishers.

Biesta, G., & Tedder, M. (2007). Agency and learning in the lifecourse: Towards an ecological perspective. *Studies in the Education of Adults, 39*(2), 132–149. https://doi.org/10.1080/02660830.2007.11661545

Bollen, K. A., & Bauldry, S. (2011). Three Cs in measurement: Constructs, concepts, and causal indicators. *American Sociological Review, 76*(6), 966–984. https://doi.org/10.1177/0003122411420133

Bourdieu, P. (1984). *Distinction: A social critique of the judgement of taste*. Harvard University Press.

Bourdieu, P. (1990). *The logic of practice*. Polity Press.

Bourdieu, P., & Passeron, J.-C. (1990). *Reproduction in education, society and culture* (2nd ed.). SAGE.

Boyd, d., & Crawford, K. (2012). Critical questions for big data. *Information, Communication & Society, 15*(5), 662–679.

Boyd, D. (2014). *It's complicated: The social lives of networked teens*. Yale University Press.

Braidotti, R. (2013). *The posthuman*. Polity Press.

Braidotti, R. (2019). *Posthuman knowledge*. Polity Press.

Broussard, M. (2019). *La non intelligenza artificiale: Come i computer non capiscono il mondo*. FrancoAngeli.

Brown, T. A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research* (2nd ed.). Guilford Press.

Buckingham, D. (Ed.). (2008). *Youth, identity, and digital media*. MIT Press.

Buolamwini, J., & Gebru, T. (2018). Gender shades: Intersectional accuracy disparities in commercial gender classification. In *Proceedings of the 1st Conference on Fairness, Accountability and Transparency* (pp. 77–91).

Burrell, J. (2016). How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms. *Big Data & Society, 3*(1), 1–12. https://doi.org/10.1177/2053951715622512

Byrne, B. M. (2012). *Structural equation modeling with Mplus*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203807644

Capaccioni, C. (2023, June 23). Union of Skills: ecco la risposta dell'UE alla crisi delle competenze digitali. *Agenda Digitale*.

Capra, F. (1996). *The web of life: A new scientific understanding of living systems*. Anchor Books.

Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). *Vita e natura. Una visione sistemica*. Aboca.

Capra, F., & Stone, M. (2010). *The ecology of learning: Education, culture, and the environment*. Center for Ecoliteracy.

Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). *DigComp 2.1: The digital competence framework for citizens*. Publications Office of the European Union.

Castells, M. (2012). *Networks of outrage and hope: Social movements in the Internet age*. Polity Press.

Chawla, L. (2006). Learning to love the natural world enough to protect it. In P. H. Kahn, Jr. & S. R. Kellert (Eds.), *Children and nature*.

Chen, F. F. (2007). Sensitivity of goodness of fit indexes. *Structural Equation Modeling, 14*(3), 464–504.

Cheung, G. W., & Rensvold, R. B. (2002). Evaluating goodness-of-fit indexes for testing measurement invariance. *Structural Equation Modeling, 9*(2), 233–255.

Civitillo, S., et al. (2020). *Metodi e tecniche della ricerca sociale*. Carocci.

Cohen, J. (1998). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum.

Consiglio dell'Unione Europea. (2018). *Raccomandazione del Consiglio relativa alle competenze chiave per l'apprendimento permanente*.

Costanza-Chock, S. (2020). *Design justice: Community-led practices to build the worlds we need*. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/12255.001.0001

Cotter, K., & Reisdorf, B. C. (2020). Algorithmic knowledge gaps: A new dimension of digital inequality. *International Journal of Communication, 14*, 745–765.

Couldry, N., & Hepp, A. (2017). *The mediated construction of reality*. Polity Press.

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism*. Stanford University Press.

Couldry, N., & Yu, J. (2022). Education as a domain of natural data extraction: Analysing corporate discourse about educational tracking. *Information, Communication & Society, 25*(1), 84–101. https://doi.org/10.1080/1369118X.2020.1764604

Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.

Crawford, K., & Joler, V. (2018). *Anatomy of an AI System*. AI Now Institute & Share Lab.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.

Cuomo, S., Ranieri, M., & Biagini, G. (2024). *Scuola e intelligenza artificiale: Percorsi di alfabetizzazione critica*. Carocci.

Cubitt, S. (2017). *Finite media: Environmental implications of digital technologies*. Duke University Press.

D'Ignazio, C., & Klein, L. F. (2020). *Data feminism*. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/11805.001.0001

de Sousa Santos, B. (2014). *Epistemologies of the South: Justice against epistemicide*. Paradigm Publishers.

Dempster, B. (1998). Sympoietic and autopoietic systems: A new distinction for self-organizing systems. *Proceedings of the World Congress of the Systems Sciences*.

Dobson, A. (2003). *Citizenship and the environment*. Oxford University Press. ISBN 0199258449.

Doolittle, A., & Faul, A. C. (2013). Civic engagement scale: Testing the factorial validity, measurement invariance, and reliability. *Journal of Community Psychology, 41*(4), 492–507. https://doi.org/10.1002/jcop.21550

Dotson, K. (2011). Tracking epistemic violence, tracking practices of silencing. *Hypatia, 26*(2), 236–257. https://doi.org/10.1111/j.1527-2001.2011.01177.x

Dogruel, L., Masur, P., & Joeckel, S. (2021). Development and validation of an algorithm awareness scale. *Communication Methods and Measures*, 16(1), 1–19.

Dourish, P. (2016). Algorithms and their others: Algorithmic culture in context. *Big Data & Society, 3*(2), 1–11. https://doi.org/10.1177/2053951716665128

Dunlap, R. E., Van Liere, K. D., Mertig, A. G., & Jones, R. E. (2000). Measuring endorsement of the new ecological paradigm: A revised NEP scale. *Journal of Social Issues, 56*(3), 425–442. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00176

Dussel, E. (2002). *Ethics of liberation in the age of globalization and exclusion*. Duke University Press.

Ellul, J. (1969). *La tecnica. Rischio del secolo*. Giuffrè.

Emirbayer, M., & Mische, A. (1998). What is agency? *American Journal of Sociology, 103*(4), 962–1023. https://doi.org/10.1086/231294

Erdogan, M. (2015). PILA - Perceived impact of learning about environmental issues. https://doi.org/10.1007/s11422-014-9599-9

Eubanks, V. (2018). *Automating inequality: How high-tech tools profile, police, and punish the poor*. St. Martin's Press. ISBN 9781250074317.

European Commission. (2022). *GreenComp: The European sustainability competence framework* (EUR 30955 EN). Publications Office. https://doi.org/10.2760/13286

European Commission. (2024). *The Digital Competence Framework for Citizens: DigComp 2.2*. Publications Office of the European Union.

Fairclough, N. (2003). *Analysing discourse: Textual analysis for social research*. Routledge. ISBN 9780415258927.

Fisher, A. (2013). *Radical ecopsychology: Psychology in the service of life*. SUNY Press. ISBN 9781438447247.

Flora, D. B., & Curran, P. J. (2004). An empirical evaluation of alternative methods of estimation for confirmatory factor analysis with ordinal data. *Psychological Methods, 9*(4), 466–491. https://doi.org/10.1037/1082-989X.9.4.466

Floridi, L. (2014a). *The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*. Oxford University Press. ISBN 9780199606726.

Floridi, L. (2014b). *The ethics of information*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-964132-1.

Floridi, L. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Big Data & Society, 6*(1), 1–15. https://doi.org/10.1177/2053951719847624

Floridi, L. (2023). *The ethics of artificial intelligence: Principles, challenges, and opportunities*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-286680-1.

Floridi, L., Cowls, J., King, T., & Taddeo, M. (2020). How to design AI for social good: Seven essential factors. *Science and Engineering Ethics, 26*, 1771–1796. https://doi.org/10.1007/s11948-020-00213-5

Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models. *Journal of Marketing Research, 18*(1), 39–50. https://doi.org/10.1177/002224378101800104

Fricker, M. (2007). *Epistemic injustice: Power and the ethics of knowing*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198237907.001.0001

Friedman, B., Hendry, D. G., & Borning, A. (2017). A survey of Value Sensitive Design methods. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, 11*(2), 63–125. https://doi.org/10.1561/1100000015

Gabrys, J. (2011). *Digital rubbish: A natural history of electronics*. University of Michigan Press. ISBN 9780472035030.

Gabrys, J. (2016). *Program Earth: Environmental sensing technology and the making of a computational planet*. University of Minnesota Press. ISBN 9781452952148.

Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.02243

Gillespie, T. (2014). The relevance of algorithms. In T. Gillespie, P. J. Boczkowski, & K. A. Foot (Eds.), *Media technologies: Essays on communication, materiality, and society* (pp. 167–194). MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262525374.003.0009

Gillespie, T. (2018). *Custodians of the Internet: Platforms, content moderation, and the hidden decisions that shape social media*. Yale University Press. ISBN 9780300173130.

Giovanetti, S. (2021). *La cittadinanza digitale nella Legge 92/2019 e nelle linee guida*. https://www.istruzioneer.gov.it/wp-content/uploads/2021/08/Stefania-Giovanetti-23-novembre-Esercitare-la-cittadinanza-digitale.pdf

Gómez-Galán, J. (2018). Media education as theoretical and practical paradigm for digital literacy: An interdisciplinary analysis. *European Journal of Educational Research, 7*(4). https://doi.org/10.12973/eu-jer.7.4.805

GreenComp. (2022). *European sustainability competence framework*. Publications Office of the European Union. ISBN 9789276506236.

Gruenewald, D. A., & Smith, G. A. (2008). *Place-based education in the global age*. Lawrence Erlbaum. ISBN 9780415958686.

Gulson, K. N., Sellar, S., & Webb, P. T. (2022). *Algorithms of education: How datafication and artificial intelligence shape policy*. University of Minnesota Press. ISBN 9781517910242.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage. ISBN 978-1-4737-5654-0.

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). SAGE. ISBN 978-1483377445.

Haraway, D. (1985). A cyborg manifesto. *Socialist Review, 80*, 65–108.

Haraway, D. (2016). *Staying with the trouble: Making kin in the Chthulucene*. Duke University Press. https://doi.org/10.1215/9780822373780

Hartley, J., Burgess, J., & Bruns, A. (Eds.). (2013). *A companion to new media dynamics*. Wiley-Blackwell. ISBN 9781118324837.

Heidegger, M. (1954). Die Frage nach der Technik. In *Vorträge und Aufsätze* (pp. 5–27). Neske.

Helmond, A. (2015). The platformization of the Web: Making web data platform ready. *European Journal of Communication, 30*(4), 380–397. https://doi.org/10.1080/1369118X.2015.1123285

Henderson, P., Hu, J., Romera-Paredes, B., et al. (2020). Towards the energy frontier: Carbon emissions of generative diffusion models. *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning*. https://doi.org/10.1145/3370272.3391938

Hobbs, R. (2010). *Digital and media literacy: A plan of action*. The Aspen Institute. ISBN 978-0898435306.

Hobbs, R. (2017). *Create to learn: Introduction to digital literacy*. Wiley. ISBN 9781119154831.

Hollweg, K. S., Taylor, J. R., Bybee, R. W., Marcinkowski, T. J., McBeth, W. C., & Zoido, P. (2011). *Developing a framework for assessing environmental literacy*. North American Association for Environmental Education.

HolonIQ. (2023). *Global EdTech Market Report 2023*. HolonIQ.

Hoskins, B., & Janmaat, J. G. (2019). The learning curve: Education, civic values and civic engagement. *Oxford Review of Education, 45*(3), 287–304. https://doi.org/10.1080/03054985.2019.1570093

INDIRE / Eurydice Italia. (2020). *L'educazione digitale a scuola in Europa*. INDIRE. https://eurydice.indire.it/wp-content/uploads/2020/03/Leducazione-digitale-a-scuola-in-Europa.pdf

Iovino, S., & Oppermann, S. (Eds.). (2014). *Material ecocriticism*. Indiana University Press. ISBN 9780253013884.

ISTAT. (2023). *Cittadini e ICT 2023*. Istituto Nazionale di Statistica. https://www.istat.it/it/archivio/289879

Jarke, J. (2023). *Datafication in and of education: A literature review* (2nd ed.). European Schoolnet / Agile EDU Erasmus+ Project.

Jarke, J., & Breiter, A. (2019). Editorial: The datafication of education. *Learning, Media and Technology, 44*(1), 1–6. https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1573833

Jasanoff, S. (2016). *The ethics of invention: Technology and the human future*. W. W. Norton & Company. ISBN 9780393078992.

Jenkins, H., Ito, M., & Boyd, D. (2016). *Participatory culture in a networked era: A conversation on youth, learning, commerce, and politics*. Polity Press. ISBN 9780745660707.

Jöreskog, K. G. (1994). On the estimation of polychoric correlations. *Psychometrika, 59*(3), 381–389. https://doi.org/10.1007/BF02296131

Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1996). *LISREL 8: User's reference guide*. Scientific Software International. ISBN 978-0894980347.

Jurgenson, N. (2012). When atoms meet bits: Social media, the mobile web, and augmented revolution. *Future Internet, 4*(1), 83–91. https://doi.org/10.3390/fi4010083

Kahn, P. H., Jr., & Kellert, S. R. (Eds.). (2002). *Children and nature: Psychological, sociocultural, and evolutionary investigations*. MIT Press. ISBN 9780262112677.

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groß, S., Günnemann, S., & Heintz, A. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 97*, 102108. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102108

Kimmerer, R. W. (2013). *Braiding sweetgrass: Indigenous wisdom, scientific knowledge, and the teachings of plants*. Milkweed Editions. ISBN 9781571313560.

Kincheloe, J. L. (2001). Describing the bricoleur: Conceptualizing a new rigor in qualitative research. *Qualitative Inquiry, 7*(6), 679–692. https://doi.org/10.1177/107780040100700601

Kitchin, R. (2014). *The data revolution: Big data, open data, data infrastructures & their consequences*. Sage. ISBN 9781446287484.

Kitchin, R. (2017). Thinking critically about and researching algorithms. *Information, Communication & Society, 20*(1), 14–29. https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1154087

Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). Guilford Press. ISBN 9781462523344

Knox, J., Williamson, B., & Bayne, S. (2020). Machine behaviourism: Future visions of "learnification" and "datafication" across humans and digital technologies. *Learning, Media and Technology, 45*(1), 31–45. https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1623251

Latour, B. (1987). *Science in action*. Harvard University Press.

Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford University Press. ISBN 9780199256051.

Lévi-Strauss, C. (2015). *Il pensiero selvaggio*. Il Saggiatore. ISBN 9788842217771.

Livingstone, S. (2011). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford Review of Education, 38*(1), 9–24. https://doi.org/10.1080/03054985.2011.577938

Livingstone, S. (2018). Media literacy and the challenge of online misinformation. *Communication Research and Practice, 4*(3). https://doi.org/10.1080/22041451.2018.1466772

Livingstone, S., & Sefton-Green, J. (2016). *The class: Living and learning in the digital age*. NYU Press. ISBN 9781479824243.

Lo Schiavo, L., & Rebughini, P. (2025). Gender potential in Italian youth activism: The intersectional assimilation of gender cultures after the pandemic. *SocietàMutamentoPolitica, 16*(31), 25–32. https://doi.org/10.36253/smp-16659

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–16. https://doi.org/10.1145/3313831.3376727

López, A. (2020). *Ecomedia literacy: Integrating ecology into media education*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003176497

López, A. (2023). *Climate change and the media*. Routledge. ISBN 9780367760246.

Lupton, D., & Williamson, B. (2017). The datafied child: The dataveillance of children and implications for their rights. *New Media & Society, 19*(5), 780–794. https://doi.org/10.1177/1461444816686328

Maldonado, K., & Mollema, W. (2023). Algorithmic bias and data justice: Ethical challenges in artificial intelligence systems. *Big Data & Society, 10*(2), 1–15. https://doi.org/10.1177/20539517231187654

Mariani, P., & Piceci, F. (2021). Fostering digital citizenship and effective approach to change in teachers. *BCE2021 Proceedings*. https://papers.iafor.org/wp-content/uploads/papers/bce2021/BCE2021_61115.pdf

Martire, R. (2021). *Analisi dei dati nelle scienze sociali*. Carocci. ISBN 9788843099975.

Marradi, A. (1981). *Concetti e metodi per la ricerca sociale*. La Nuova Italia. ISBN 9788822115677.

Marradi, A. (2007). *Metodologia delle scienze sociali*. Il Mulino. ISBN 9788815116451.

Mattern, S. (2021). *A city is not a computer: Other urban intelligences*. Princeton University Press. ISBN 9780691208053.

Mayer, F. S., & Frantz, C. M. (2004). The connectedness to nature scale: A measure of individuals' feeling in community with nature. *Journal of*

Environmental Psychology, 24(4), 503–515. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2004.10.001

McBeth, W., & Volk, T. L. (2009). *The National Environmental Literacy Assessment Project*. Environmental Education and Training Partnership. ISBN 9780974645304.

McBeth, W., Hungerford, H., Marcinkowski, T., Volk, T., & Meyers, R. (2011). National environmental literacy assessment project, Phase Two findings: The middle school environment literacy assessment. *The Journal of Environmental Education, 42*(4), 205–226. https://doi.org/10.1080/00958964.2011.565769

McDonald, R. P. (1999). *Test theory: A unified treatment*. Lawrence Erlbaum. ISBN 9780805830750.

McLeod, J. M., & Lee, N. J. (2009). Communication competence and civic engagement. *Political Communication, 26*(1), 102–117. https://doi.org/10.1080/10584600802622819

McLuhan, M. (1964). *Understanding media: The extensions of man*. MIT Press. ISBN 9780262632120.

Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea Green Publishing. ISBN 9781603580557.

Medina, J. (2013). *The epistemology of resistance: Gender and racial oppression, epistemic injustice, and resistant imaginations*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199929023.001.0001

Merton, R. K. (1948). The self-fulfilling prophecy. *The Antioch Review, 8*(2), 193–210. https://doi.org/10.2307/4609267

Meyrowitz, J. (1985). *No sense of place: The impact of electronic media on social behavior*. Oxford University Press. ISBN 9780195037746.

Mezirow, J. (1991). *Transformative dimensions of adult learning*. Jossey-Bass. ISBN 9781555423396.

Michilli, A. (2025). Educare i ragazzi al digitale: oltre i divieti, per una cittadinanza attiva. *Agenda Digitale*. https://www.agendadigitale.eu/scuola-digitale/educare-i-ragazzi-al-digitale-oltre-i-divieti-per-una-cittadinanza-attiva/

Mihailidis, P. (2018). Civic media literacies: Re-imagining engagement for civic intentionality. *Learning, Media and Technology, 43*(2), 152–164. https://doi.org/10.1080/17439884.2018.1439149

Ministero dell'Istruzione. (2020). *Linee guida per l'insegnamento dell'educazione civica*. https://www.miur.gov.it/documents/20182/0/Linee+guida+Educazione+Civica.pdf

Ministero dell'Istruzione. (2021). *Piano Nazionale Scuola Digitale*. https://www.scuoladigitale.istruzione.it

Ministero dell'Istruzione. (2022). *Piano RiGenerazione Scuola*. https://www.miur.gov.it/web/guest/rigenerazione-scuola

Ministero dell'Istruzione e del Merito. (2025). *Linee guida per l'introduzione dell'intelligenza artificiale nella scuola*. https://www.miur.gov.it/linee-guida-intelligenza-artificiale-scuola

Mollema, W. J. T. (2023). A taxonomy of epistemic injustice in the context of AI and the case of algorithmic profiling. *AI & Society, 38*(3), 1–12. https://doi.org/10.1007/s00146-023-01678-9

Molnar, A., & Williamson, B. (2024). *Without effective public oversight, AI in schools will do more harm than good*. National Education Policy Center. https://nepc.colorado.edu/publication/ai-schools

Morin, E. (2004). *La méthode 6: Éthique*. Seuil. ISBN 2-02-078638-9.

Morin, E. (2008). *On complexity*. Hampton Press. ISBN 1572738014.

Morton, T. (2013). *Hyperobjects: Philosophy and ecology after the end of the world*. University of Minnesota Press. ISBN 9780816689231.

Morton, T. (2016). *Dark ecology: For a logic of future coexistence*. Columbia University Press. ISBN 9780231177528.

Muthén, L. K., & Muthén, B. O. (1998–2017). *Mplus user's guide* (8th ed.). Muthén & Muthén. https://www.statmodel.com/download/usersguide/MplusUserGuideVer_8.pdf

Nature Communications. (2024). The environmental sustainability of digital content consumption. *Nature Communications, 15*, 3919. https://doi.org/10.1038/s41467-024-47621-w

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 2*, 100041. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041

Nissenbaum, H. (2010). *Privacy in context: Technology, policy, and the integrity of social life*. Stanford University Press. ISBN 9780804752374.

Noble, S. U. (2018). *Algorithms of oppression: How search engines reinforce racism*. NYU Press. ISBN 9781479837243.

Nussbaum, M. C. (2011). *Creating capabilities: The human development approach*. Belknap Press of Harvard University Press. ISBN 9780674050549.

O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. Crown. ISBN 9780553418811.

OECD. (2019a). *OECD principles on artificial intelligence*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/edfbf505-en

OECD. (2019b). *OECD regional outlook 2019: Leveraging megatrends for cities and rural areas*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264312838-en

OECD. (2021a). *AI in education: A critical inquiry*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/38ec

OECD. (2021b). *Education for green and digital transitions*. OECD Publishing. ISBN 9789264944611.

OECD. (2024). *PISA 2022 Results (Volume IV): How financially smart are students?* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/5a849c2a-en

Oppermann, S., & Iovino, S. (Eds.). (2014). *Material ecocriticism*. Indiana University Press. ISBN 9780253013958.

Orr, D. W. (1992). *Ecological literacy: Education and the transition to a postmodern world*. State University of New York Press. ISBN 9780791408743.

Orr, D. W. (2004). *Earth in mind: On education, environment, and the human prospect* (2nd ed.). Island Press. ISBN 9781559634953.

Pangrazio, L., & Selwyn, N. (2019). "Personal data literacies": A critical literacies approach to enhancing understandings of personal digital data. *New Media & Society, 21*(2), 419–437. https://doi.org/10.1177/1461444818799523

Pariser, E. (2011). *The filter bubble: What the Internet is hiding from you*. Penguin Press. ISBN 9780241954522.

Parikka, J. (2015). *A geology of media*. University of Minnesota Press. ISBN 9780816695516.

Parks, L., & Starosielski, N. (Eds.). (2015). *Signal traffic: Critical studies of media infrastructures*. University of Illinois Press. ISBN 9780253017011.

Parlamento italiano. (2019). *Legge 20 agosto 2019, n. 92: Introduzione dell'insegnamento scolastico dell'educazione civica*. Gazzetta Ufficiale. https://doi.org/10.5281/zenodo.3771145

Pasquale, F. (2015). *The black box society: The secret algorithms that control money and information*. Harvard University Press. ISBN 9780674970847.

Pianzola, F., Rebora, S., & Lauer, G. (2020). Digital humanities and the environmental footprint of big data: A review. *Digital Scholarship in the Humanities, 35*(4), 912–927. https://doi.org/10.1093/llc/fqz059

Plumwood, V. (2002). *Environmental culture: The ecological crisis of reason*. Routledge. ISBN 9780415136419.

Postman, N. (1985). *Amusing ourselves to death*. Penguin Books. ISBN 9780143036531.

Postman, N. (1992). *Technopoly*. ISBN 9780679745402.

Power, M. (1997). *The audit society: Rituals of verification*. Oxford University Press. ISBN 9780198289470.

Prinsloo, P., & Slade, S. (2016). Student vulnerability, agency and learning analytics: An exploration. *Journal of Learning Analytics, 3*(1), 159–182. https://doi.org/10.18608/jla.2016.31.10

Punzo, G. (2025). Integrating digital and AI literacy with digital citizenship. *CEUR Workshop Proceedings*. https://ceur-ws.org/Vol-4051/paper10.pdf

Raffaghelli, J. E. (2020). Supporting the development of critical data literacies in higher education: Building blocks for fair data cultures in society. *Learning, Media and Technology, 45*(4), 381–396. https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1834412

Ranieri, M. (2011). *Le insidie dell'ovvio: Tecnologie educative e critica della retorica tecnocentrica*. Edizioni ETS. ISBN 9788846727916.

Ranieri, M., Fabbro, F., & Nardi, A. (2020). *La media education nella scuola multiculturale: Teorie, pratiche, strumenti*. Edizioni ETS. ISBN 9788846757180.

Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/159770

Repubblica Digitale. (2023). *Piano operativo della Strategia Nazionale per le Competenze Digitali 2023–2026*. MITD. https://repubblicadigitale.innovazione.gov.it

Repubblica Italiana. (2022). *Legge costituzionale 11 febbraio 2022, n. 1: Modifiche agli articoli 9 e 41 della Costituzione*. Gazzetta Ufficiale. https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/02/22/22G00012/sg

Ricolfi, L. (1997). *Modelli di analisi dei dati*. Il Mulino. ISBN 9788815065543.

Ritzer, G., & Jurgenson, N. (2010). Production, consumption, prosumption. *Journal of Consumer Culture, 10*(1), 13–36. https://doi.org/10.1177/1469540509354674

Rouvroy, A., & Berns, T. (2013). Gouvernementalité algorithmique et perspectives d'émancipation. *Réseaux*, 177(1), 163–196.

Rubino, G. (2025). Ecodigital posthumanism: A definitional note. *EcoAI Research Series*. https://doi.org/10.31235/osf.io/wxnu8

Rust, C. (2022). Digital competence and education policy: Challenges in the age of misinformation. *Journal of Media Literacy Education, 14*(2), 42–59. https://doi.org/10.23860/JMLE-2022-14-2-5

Sclater, N. (2017). *Learning analytics explained*. Routledge. ISBN 9781138931480.

Scolari, C. A. (2015). *Ecología de los medios: Entornos, evoluciones e interpretaciones*. Gedisa Editorial. ISBN 9788497849579.

Seaver, N. (2017). Algorithms as culture: Some tactics for the ethnography of algorithmic systems. *Big Data & Society, 4*(2), 1–12. https://doi.org/10.1177/2053951717738104

Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press. ISBN 9781509528950.

Selwyn, N., Pangrazio, L., Naskali, J., & Estellés, E. (2023). Afterword: Making sense of data practices in education—from digital positivism to an education-centred approach. *Learning, Media and Technology, 48*(1), 148–160. https://doi.org/10.1080/17439884.2022.2121782

Shah, D. V., Cho, J., Eveland, W. P., & Kwak, N. (2005). Information and expression in a digital age: Modeling Internet effects on civic participation. *Communication Research, 32*(5), 531–565. https://doi.org/10.1177/0093650205279209

Sijtsma, K. (2009). On the use, the misuse. *Psychometrika, 74*(1), 107–120. https://doi.org/10.1007/s11336-008-9101-0

Silverman, D. (2013). *Doing qualitative research: A practical handbook* (4th ed.). SAGE Publications. ISBN 9781446208694.

Simondon, G. (2017). *On the mode of existence of technical objects*. Univocal Publishing. ISBN 9781517906001.

Smith, G. A., & Gruenewald, D. A. (2008). *Place-based education in the global age: Local diversity*. Routledge. ISBN 9780415958686.

Stern, P. C. (2000). Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues, 56*(3), 407–424. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175

Sterling, S. (2001). *Sustainable education: Re-visioning learning and change*. Green Books. ISBN 9781903998010.

Strate, L. (2017). *Media ecology: An approach to understanding the human condition*. Peter Lang. ISBN 9781433123962.

Szczytko, R., Peterson, M. N., Stevenson, K. T., Andrews, E., & Armstrong, M. (2018). Development and validation of the Environmental Literacy Instrument for Adolescents (ELI A). *Environmental Education Research, 24*(10), 1475–1494.

Thomashow, M. (1995). *Ecological identity: Finding the path from environmental crisis to sustainable futures*. MIT Press. ISBN 9780262700607.

Tourangeau, R., Rips, L. J., & Rasinski, K. A. (2000). *The psychology of survey response*. Cambridge University Press. ISBN 9780521576291.

UNESCO. (2020a). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO Publishing. ISBN 9789231003940.

UNESCO. (2020b). *Futures literacy: The literacy of the future*. UNESCO Publishing. ISBN 9789231004565.

UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.

van Dijck, J. (2014). Datafication, dataism and dataveillance: Big Data between scientific paradigm and ideology. *Surveillance & Society, 12*(2), 197–208. https://doi.org/10.24908/ss.v12i2.4776

van Dijck, J., Poell, T., & de Waal, M. (2018). *The platform society: Public values in a connective world*. Oxford University Press. ISBN 9780190889760.

Vincent-Lancrin, S., González-Sancho, C., Bouckaert, M., de Luca, F., Fernández-Barrerra, M., Jacotin, G., Urganc, J., & Vidales, A. (2019). *Fostering students' creativity and critical thinking: What it means in school*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/62212c37-en

Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens—With new examples of knowledge, skills and attitudes*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/115376

Wals, A. E. J. (2010). *Message in a bottle: Learning our way out of unsustainability*. Wageningen University. ISBN 9789085855798.

Wals, A. E. J. (Ed.). (2007). *Social learning towards a sustainable world: Principles, perspectives and praxis*. Wageningen Academic Publishers. ISBN 9789086860319.

Wals, A. E. J., & Sterling, S. (2001). *Social learning towards a sustainable world*. Wageningen Academic Publishers. ISBN 9789086860012.

Warren, K. J. (2000). *Ecofeminist philosophy: A Western perspective on what it is and why it matters*. Rowman & Littlefield. ISBN 9780847692999.

Wardle, C., & Derakhshan, H. (2017). *Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making* (Council of Europe report DGI(2017)09). Council of Europe. https://rm.coe.int/information-disorder-toward-an-interdisciplinary-framework-for-researc/168076277c

Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science, 6*(2), 203–218. https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6

Williamson, B. (2017). *Big data in education: The digital future of learning, policy and practice*. SAGE. https://doi.org/10.1515/9780822388128

Williamson, B. (2024). Algorithmic futuring: Data-driven digital methods and predictive infrastructures in education. *Learning, Media and*

Technology, 49(1), 1–18. https://doi.org/10.1080/17439884.2024.2312345

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Mapping datafication in higher education: Problems and possibilities. *Teaching in Higher Education, 25*(4), 527–540. https://doi.org/10.1080/13562517.2019.1598581

Winner, L. (1986). *The whale and the reactor: A search for limits in an age of high technology*. University of Chicago Press. ISBN 9780226902111.

Zhang, W., & Lin, W.-Y. (2014). Political participation in an age of mobile media. *Information, Communication & Society, 17*(1), 1–16. https://doi.org/10.1080/1369118X.2014.989243

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs. ISBN 9781610395694.

Zúñiga, H. G., Barnidge, M., & Scherman, A. (2018). Social media use, online political engagement, and civic participation. *Political Communication*, 1–16. https://doi.org/10.1080/1369118X.2014.989243

Zúñiga, H. G., Jung, N., & Valenzuela, S. (2012). Social media use for news and individuals' social capital, civic engagement and political participation. *Journal of Computer-Mediated Communication, 17*(3), 319–336. https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.2012.01574.

Indice delle figure

Figura 1 EcoAI Framework....81
Figura 2 Conoscenza Agenda 2030....165
Figura 3 Sintesi importanza temi Agenda 2030....166
Figura 4 Conoscenza questioni ambientali....167
Figura 5 Coinvolgimento questioni ambientali....167
Figura 6 Fonti informazione questioni ambientali....168
Figura 7 Posizionamento questioni ambientali....169
Figura 8 Opinioni educazione ambientale....170
Figura 9 Fonti di educazione ambientale....171
Figura 10 Cluster tematici Educazione Civica....178
Figura 11 Apprezzamento tecnologie....182
Figura 12 Frequenza utilizzo device....183
Figura 13 Frequenza uso di servizi....184
Figura 14 Frequenza aggiornamento avatar....185
Figura 15 Creazione contenuti....186
Figura 16 Frequenza creazione contenuti....188
Figura 17 Conoscenza dichiarata AI....189
Figura 18 Uso applicazioni con AI....191
Figura 19 Quale AI utilizzata....192
Figura 20 Atteggiamenti verso AI....193
Figura 21 AI: Utile o dannosa....194
Figura 22 Pareri uso AI a scuola....195
Figura 23 Utilità AI a scuola 1....196
Figura 24 Utilità AI a scuola 2....196
Figura 25 Elbow cluster eco-civici....209
Figura 26 Silhouette score cluster eco-civici....210
Figura 27 Distribuzione per classe questionario confermativo....212
Figura 28 Distribuzione per genere questionario confermativo....213
Figura 29 Frequenza lezioni educazione civica questionario confermativo....214
Figura 30 CFA 5 fattori....221
Figura 31 Modello di equazioni strutturali SEM....229
Figura 32 Le cinque dimensioni del Framework EcoAI: descrizione, affidabilità (ω), varianza estratta media (AVE) e peso normalizzato nell'EcoAI Index....259
Figura 33 Le cinque dimensioni del Framework EcoAI: descrizione, affidabilità (ω), varianza estratta media (AVE) e peso normalizzato nell'EcoAI Index....265
Figura 34 Profili dimensionali medi per classe EcoAI Index (bassa/media/alta)....271

Indice delle tabelle:

Tabella 1 Sintesi operativa della struttura del questionario esplorativo EcoAI....157
Tabella 2 Statistiche riepilogative di sezione....163
Tabella 3 Distribuzione per genere....164
Tabella 4 Classe frequentata....165
Tabella 5 Sintesi importanza Agenda 2030....166
Tabella 6 Lezioni di educazione ambientale....171

Tabella 7 Partecipazione lezioni Educazione Civica 172
Tabella 8 Frequenza lezioni per tema 173
Tabella 9 Argomenti di interesse 175
Tabella 10 Sintesi cluster educazione civica 179
Tabella 11 Frequenza uso servizi digitali 187
Tabella 12 Percentuali definizioni AI 190
Tabella 13 Frequenza profili ecocivici 197
Tabella 14 Correlazioni Item/totale 199
Tabella 15 Cluster indicatori AI 202
Tabella 16 Silhouette score atteggiamenti AI 203
Tabella 17 Medie per cluster 204
Tabella 18 Regressioni dimensioni ecociviche 206
Tabella 19 Cluster finali 207
Tabella 20 Inertia e silhouette cluster 208
Tabella 21 Anni frequenza lezioni educazione civica 214
Tabella 22 KMO e Bartlett questionario confermativo 216
Tabella 23 Comunalità estratte 216
Tabella 24 Matrice Policoriche questionario confermativo 218
Tabella 25 Indici adattamento CFA 220
Tabella 26 Indice di adattamento del modello 222
Tabella 27 Carichi fattoriali 223
Tabella 28 Affidabilità ed AVE per fattore latente 225
Tabella 29 Correlazione tra fattori latenti 227
Tabella 30 Test invarianza del modello EcoAI 228
Tabella 31 Indici di adattamento SEM-EcoAI 230
Tabella 32 Coefficienti di percorso 231
Tabella 33 Coefficienti di determinazione 232
Tabella 34 Pesi fattoriali 234
Tabella 35 Classi EcoAI Index 235
Tabella 36 Medie dimensionali per classe EcoAI Index 236
Tabella 37 Cluster SDG 241
Tabella 38 Cluster AI - scuola 243
Tabella 39 Medie dimensioni EcoAI per classe EcoAI Index 245
Tabella 40 Corrispondenza morfologica tra cluster 248
Tabella 41 Confronto dimensioni tra survey EcoAI 251
Tabella 42 Confronto fase esplorativa - Modello SEM 253
Tabella 43 Sintesi comparativa tra survey 254
Tabella 44 Confronto tra survey per EcoAI index 255

Appendici ed allegati

Appendice A - Fonti teoriche e benchmark su Big Data, Ecoliteracy e Educazione alla Sostenibilità

Questa appendice raccoglie le principali fonti teoriche, istituzionali e progettuali che hanno informato la costruzione del Framework EcoAI, con particolare riferimento ai contributi su ecoliteracy, educazione ambientale, big data e sostenibilità in ambito educativo.

APPENDICE A
Fonti teoriche e benchmark su Big Data, educazione ambientale ed ecoliteracy

Questa appendice raccoglie le principali fonti teoriche, istituzionali e progettuali che hanno informato il quadro concettuale della ricerca, in particolare per quanto riguarda l'integrazione tra big data, educazione alla sostenibilità, educazione ambientale ed ecoliteracy.

A.1 Riviste scientifiche e studi accademici

La sezione documenta i principali contributi accademici peer-reviewed che costituiscono il riferimento teorico e metodologico per l'integrazione tra educazione ambientale, ecoliteracy e approcci data-driven.

- *Ecodidattica. Una proposta di educazione ecologica*, Università di Bologna.
- *Environmental literacy, ecological literacy, ecoliteracy: What…*, ESA Journals (Wiley).
- *L'educazione alla sostenibilità ambientale attraverso le…*, Firenze University Press.

A.2 Corsi universitari e programmi di formazione

Questa sezione presenta programmi formativi universitari selezionati come benchmark per l'analisi delle competenze ecodigitali e dei modelli didattici orientati alla sostenibilità.

- *Modelli e dati per lo sviluppo sostenibile*, Università Mercatorum.
- *Scuola di alta formazione sulla sostenibilità ed economia circolare*, Unitelma Sapienza.
- *Corso di Laurea in Economia e Big Data*, Università Roma Tre.

A.3 Progetti educativi e didattici

La sezione raccoglie progetti educativi e sperimentazioni didattiche che integrano strumenti digitali, monitoraggio ambientale e approcci inquiry-based all'educazione alla sostenibilità.

- *L'uso di strumenti digitali nell'apprendimento e nel monitoraggio ambientale*, OpenScience - Con i Bambini.

- *Dalla botanica ai Big Data*, Scuola Digitale UniGe / LIFE Genova.

A.4 Iniziative istituzionali e piattaforme digitali

Sono qui documentate iniziative istituzionali e piattaforme digitali che rappresentano casi rilevanti di applicazione delle tecnologie digitali e dell'IA a fini ambientali e formativi.

- *Big Data e Green Data: le basi digitali per la sostenibilità*, Pragma Etimos.
- *AI, big data e tecnologie predittive: l'osservazione satellitare per la blue economy*, Lifegate.
- *L'intelligenza artificiale per l'ambiente*, ARPAE - rivista *Ecoscienza*.

APPENDICE B

Questa appendice raccoglie articoli pubblicati su riviste internazionali peer-reviewed che analizzano empiricamente il contributo dei big data, dell'IoT e del machine learning all'educazione ambientale, alla sostenibilità e all'ecoliteracy.

B.1 Big Data, sostenibilità e apprendimento

La sezione include studi focalizzati sull'uso dei big data per il supporto all'apprendimento e alla gestione sostenibile dei sistemi socio-ambientali.

- Arita, M. (2025). *Integrating IoT and Big Data in Sustainability-Based Learning*. ScienceDirect.
- Liu, B. (2023). *Exploration on Environmental Protection Supported by Big Data*. ScienceDirect.
- Lei, Y. (2024). *Enhancing environmental management through big data*. Frontiers in Environmental Science.
- Runting, R. K. et al. (2020). *Opportunities for big data in conservation and sustainability*. PubMed.

B.2 Big Data ed educazione

Qui sono raccolti contributi che esaminano l'impatto dei big data e delle tecnologie algoritmiche sui processi educativi e valutativi.

- Lin, L. (2024). *A Systematic Review of Big Data Driven Education Evaluation*. SAGE Open.
- Kadarisman, I. (2023). *Eco-literacy in Science Learning*.
- Manley, K. (2022). *A review of machine learning and big data applications in ecosystem service*. ScienceDirect.
- Logica, B. (2015). *Using Big Data in the Academic Environment*. ScienceDirect.

APPENDICE C

Dataset pubblici utilizzati negli studi su educazione ambientale ed ecoliteracy

Questa appendice documenta i principali dataset pubblici utilizzati nella letteratura scientifica per analizzare relazioni tra educazione, comportamenti, atteggiamenti ambientali e sostenibilità.

C.1 Dataset internazionali e climatici

La sezione raccoglie dataset climatici e ambientali di scala internazionale frequentemente utilizzati negli studi su sostenibilità ed educazione ambientale:

- World Bank Climate Change Data.
- Copernicus Dataset (European Space Agency).
- NASA Open Data Portal.

C.2 Dataset specifici per educazione ambientale

Qui sono elencati dataset dedicati alla misurazione di atteggiamenti, conoscenze e pratiche ambientali in contesti educativi:

- Data Environmental Education Research, Mendeley.
- Environmental Attitude Dataset, Kaggle.
- SHARE-ENV: dataset su benessere e ambiente.
- Data collected to assess the effect of inquiry-based learning on environmental attitudes.

C.3 Repository e portali tematici

La sezione segnala repository e portali tematici che offrono accesso a dati strutturati per ricerche su ambiente, educazione e sostenibilità:

- European Environment Agency Datahub.
- GreenFILE (EBSCO).
- UK Data Service - British Social Attitudes Survey.

I link diretti ai repository sono riportati integralmente nella sitografia finale.

APPENDICE D

Scale validate e strumenti psicometrici per la misurazione dell'ecoliteracy

Questa appendice raccoglie le principali scale validate utilizzate nella letteratura per misurare ecoliteracy, conoscenze ambientali, atteggiamenti e comportamenti sostenibili in contesti educativi.

D.1 Environmental Literacy Instrument based on Spirituality (ELIS)

Scala composta da 26 item e cinque dimensioni, validata tramite analisi di consistenza interna (Cronbach's alpha > 0.6). Utilizzata per misurare literacy ambientale, responsabilità etica e comportamento sostenibile.

D.2 Ecological Literacy Scale (ELS)

Scala multidimensionale che misura conoscenze ecologiche, atteggiamenti, valori ed emozioni legate all'ambiente. Adattata e validata in diversi contesti scolastici.

D.3 Eco-literacy in Science Learning Scale

Strumento focalizzato sulla comprensione scientifica dei problemi ambientali, sull'applicazione della conoscenza e sui comportamenti responsabili.

D.4 Ecological Literacy Scale (auto-somministrata)

Scala utilizzata in popolazioni scolastiche e adulte, con dimensioni relative a conoscenza, norme sociali e pratiche sostenibili.

D.5 Q-methodology applicata all'ecoliteracy

Approccio misto che integra dati qualitativi e quantitativi per l'analisi delle percezioni e dei valori ambientali negli studenti.

APPENDICE E

Modelli statistici e indicatori quantitativi negli studi ESD

Questa appendice sintetizza i principali approcci metodologici e indicatori quantitativi utilizzati negli studi recenti sull'Educazione allo Sviluppo Sostenibile (ESD), fornendo un riferimento metodologico per l'analisi dei dati della ricerca.

E.1 Modelli statistici

La sezione riassume gli approcci statistici maggiormente utilizzati per l'analisi di dati educativi complessi in ambito ESD:

- Modelli di equazioni strutturali (SEM).
- Modelli di regressione.
- Approcci misti quantitativi-qualitativi.
- Tecniche di machine learning per dataset complessi.

E.2 Indicatori quantitativi ricorrenti

Qui sono elencate le principali tipologie di indicatori utilizzate per misurare conoscenze, atteggiamenti e comportamenti legati alla sostenibilità:

- Indicatori di conoscenza e competenze ambientali.
- Scale di atteggiamenti e valori verso la sostenibilità.
- Indicatori di comportamento ecologico.
- Variabili socio-demografiche e contestuali.
- Indicatori di benessere e impatto educativo.

Appendice B - Tabelle psicometriche complete

Genere					
		Frequenza	%	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	Maschile	274	68,0	68,3	68,3
	Femminile	122	30,3	30,4	98,8

	Preferisco non dire	5	1,2	1,2	100,0
	Totale	401	99,5	100,0	
Mancante	Sistema	2	0,5		
Totale		403	100,0		

Conosci l'Agenda 2030 ONU?				
	Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
SI	381	94,5	95,7	95,7
NO	17	4,2	4,3	100,0
Totale	398	98,8	100,0	
Mancante Sistema	5	1,2		
Totale	403	100,0		

Che cosa pensi dell'educazione ambientale?	Casi
L'ambiente è molto importante e l'educazione in merito dovrebbe essere prevista	322
L'ambiente è molto importante ma l'educazione non è necessaria	19
Non lo so, non ho ancora una idea precisa	61
Totale	402

Quanta conoscenza hai della questione ambientale e i suoi problemi?	Casi
Abbastanza	246
Molta	23
Nessuna	4
Non ne ho idea e non mi interessa	15
Poca	114
Totale complessivo	402

Quale di queste frasi ti rispecchia di più?	Casi
L'ambiente è uno dei grandi problemi dell'umanità oggi	248
L'ambiente è un problema importante, ma ci sono problemi più importanti	141
L'ambiente non è un problema	13
Totale	402

Frequenza d'uso	Smartphone	PC desktop	Laptop	Tablet	Visore VR
Quotidianamente	87,3%	15,1%	13,6%	9,9%	3,2%
Qualche volta in una settimana	8,2%	23,1%	33,0%	13,6%	5,0%
Un paio di volte al mese	1,7%	28,3%	30,8%	16,1%	7,7%
Mai	2,0%	17,4%	13,2%	33,0%	38,7%
Non possiedo questo device	0,7%	16,1%	9,4%	27,3%	45,4%

Le tabelle

Item	N (%)	M	DS	Min	Max	Item-Total	α if del.
0	403 (100%)	2.918	0.695	1	4	.488	.674
1	403 (100%)	2.814	0.755	1	4	.522	.660
2	403 (100%)	2.251	0.715	1	4	.428	.697
3	403 (100%)	2.918	0.695	1	4	.426	.697
4	403 (100%)	2.725	0.805	1	4	.548	.648

Variabili Sintetiche (SPSS)

Queste variabili sono sgtate create in SPSS (tramite il comando **Trasforma $\rightarrow$ Calcola Variabile**) dopo aver completato le analisi CFA e SEM.

Codice Breve (SPSS)	Scopo	Istruzione di Calcolo (Dopo CFA)
FATT_INFO	Punteggio sintetico del fattore INFO.	Media degli item INFO (o Regression Factor Scores da AMOS/Analisi Fattoriale).
FATT_AATI	Punteggio sintetico del fattore AATI.	Media degli item AATI (o Regression Factor Scores da AMOS/Analisi Fattoriale).
FATT_VAL	Punteggio sintetico del fattore VAL.	Media degli item VAL.
FATT_AGY	Punteggio sintetico del fattore AGY.	Media degli item AGY.
FATT_EPAS	Punteggio sintetico del fattore EPAS.	Media degli item EPAS.
ECO_INDEX (5.4.4)	Indice finale di EcoAI.	Media ponderata di tutti i 5 fattori (es. (FATT_INFO + FATT_AATI + FATT_VAL + FATT_AGY + FATT_EPAS) / 5).

ALTRE VARIABILI:

Codice Breve (SPSS)	Domanda (Intestazione CSV)	Tipo di Dati Originale	Istruzione di Codifica (Trasforma)
USE_AI	Quante volte li usi?	Ordinale (es. "Quasi ogni giorno")	**Numerica Ordinale:** Mappa in sequenza crescente (es. Mai $\rightarrow$ **1**; Meno di una volta al mese $\rightarrow$ **2**; fino a Quasi ogni giorno $\rightarrow$ **5**).

Tabelle e grafici di riferimento

Le tabelle riportate in questa appendice forniscono il dettaglio completo degli indicatori psicometrici utilizzati nelle analisi, a supporto delle sintesi presentate nel corpo del testo.

CFA: **Additional fit measures**

Fit indices

Index	Value
Comparative Fit Index (CFI)	0,978
Tucker-Lewis Index (TLI)	0,975
Bentler-Bonett Non-normed Fit Index (NNFI)	0,975
Bentler-Bonett Normed Fit Index (NFI)	0,943
Parsimony Normed Fit Index (PNFI)	0,839
Bollen's Relative Fit Index (RFI)	0,936
Bollen's Incremental Fit Index (IFI)	0,978
Relative Noncentrality Index (RNI)	0,978

Information criteria

Information criteria are only available with ML-type estimators

	Value
Log-likelihood	
Number of free parameters	140,0
Akaike (AIC)	
Bayesian (BIC)	
Sample-size adjusted Bayesian (SSABIC)	

Other fit measures

Metric	Value
Root mean square error of approximation (RMSEA)	0,063
RMSEA 90% CI lower bound	0,052
RMSEA 90% CI upper bound	0,073
RMSEA p-value	0,025
Standardized root mean square residual (SRMR)	0,082
Hoelter's critical N (α = .05)	109,638
Hoelter's critical N (α = .01)	115,637
Goodness of fit index (GFI)	0,965
McDonald fit index (MFI)	0,564
Expected cross validation index (ECVI)	

R-Squared

	R^2
INFO_1	0,459
INFO_2	0,693
INFO_3	0,234
INFO_4	0,191
AATI_1	0,574
AATI_2	0,433
AATI_3	0,396
AATI_4	0,262
AATI_5	0,431
AATI_7	0,442
AATI_8	0,390
VAL_1	0,678
VAL_2	0,440

R-Squared

	R^2
VAL_3	0,572
VAL_5	0,489
VAL_6	0,448
AGY_1	0,614
AGY_2	0,463
AGY_3	0,292
AGY_4	0,531
AGY_5	0,277
AGY_6	0,042
EPAS_1	0,545
EPAS_2	0,440
EPAS_3	0,651
EPAS_4	0,056

Parameter estimates

Factor loadings

						95% Confidence Interval	
Factor	Indicator	Std. estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
INFO	INFO_1	0,678	0,065	10,350	< ,001	0,549	0,806
	INFO_2	0,832	0,060	13,909	< ,001	0,715	0,950
	INFO_3	0,483	0,083	5,825	< ,001	0,321	0,646
	INFO_4	0,438	0,081	5,372	< ,001	0,278	0,597
AATI	AATI_1	0,758	0,043	17,695	< ,001	0,674	0,841
	AATI_2	0,658	0,051	12,777	< ,001	0,557	0,759
	AATI_3	0,630	0,050	12,520	< ,001	0,531	0,728
	AATI_4	0,512	0,057	8,933	< ,001	0,399	0,624
	AATI_5	0,657	0,049	13,332	< ,001	0,560	0,753
	AATI_7	0,665	0,056	11,933	< ,001	0,555	0,774
	AATI_8	0,625	0,049	12,785	< ,001	0,529	0,720
VAL	VAL_1	0,823	0,046	17,724	< ,001	0,732	0,914
	VAL_2	0,663	0,053	12,546	< ,001	0,559	0,767
	VAL_3	0,756	0,050	15,129	< ,001	0,658	0,854
	VAL_5	0,700	0,050	14,127	< ,001	0,602	0,797
	VAL_6	0,669	0,055	12,153	< ,001	0,561	0,777
AGY	AGY_1	0,783	0,050	15,623	< ,001	0,685	0,882
	AGY_2	0,681	0,053	12,821	< ,001	0,577	0,785

Factor loadings

						95% Confidence Interval	
Factor	Indicator	Std. estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
	AGY_3	0,540	0,064	8,476	< ,001	0,415	0,665
	AGY_4	0,729	0,058	12,571	< ,001	0,615	0,842
	AGY_5	0,526	0,073	7,196	< ,001	0,383	0,669
	AGY_6	0,204	0,087	2,343	,019	0,033	0,375
EPAS	EPAS_1	0,738	0,042	17,558	< ,001	0,656	0,820
	EPAS_2	0,663	0,055	11,987	< ,001	0,555	0,772
	EPAS_3	0,807	0,038	21,332	< ,001	0,733	0,881
	EPAS_4	0,236	0,072	3,264	,001	0,094	0,377

Factor variances

					95% Confidence Interval	
Factor	Std. estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
INFO	1,000	0,000			1,000	1,000
AATI	1,000	0,000			1,000	1,000
VAL	1,000	0,000			1,000	1,000
AGY	1,000	0,000			1,000	1,000
EPAS	1,000	0,000			1,000	1,000

Factor Covariances

							95% Confidence Interval	
			Std. estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
INFO	↔	AATI	0,674	0,062	10,959	< ,001	0,554	0,795
INFO	↔	VAL	0,495	0,065	7,597	< ,001	0,367	0,623
INFO	↔	AGY	0,521	0,082	6,366	< ,001	0,361	0,681
INFO	↔	EPAS	0,615	0,070	8,830	< ,001	0,479	0,752
AATI	↔	VAL	0,851	0,039	21,925	< ,001	0,775	0,927
AATI	↔	AGY	0,732	0,057	12,760	< ,001	0,619	0,844
AATI	↔	EPAS	0,822	0,050	16,524	< ,001	0,724	0,919
VAL	↔	AGY	0,601	0,061	9,812	< ,001	0,481	0,721

Factor Covariances

							95% Confidence Interval	
			Std. estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
VAL	↔	EPAS	0,819	0,045	18,008	< ,001	0,730	0,908
AGY	↔	EPAS	0,814	0,053	15,224	< ,001	0,709	0,919

Residual variances

					95% Confidence Interval	
Indicator	Std. estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
INFO_1	0,541	0,089	6,099	< ,001	0,367	0,715
INFO_2	0,307	0,100	3,084	,002	0,112	0,502
INFO_3	0,766	0,080	9,554	< ,001	0,609	0,924
INFO_4	0,809	0,071	11,347	< ,001	0,669	0,948
AATI_1	0,426	0,065	6,570	< ,001	0,299	0,553
AATI_2	0,567	0,068	8,369	< ,001	0,434	0,700
AATI_3	0,604	0,063	9,532	< ,001	0,479	0,728
AATI_4	0,738	0,059	12,596	< ,001	0,623	0,853
AATI_5	0,569	0,065	8,784	< ,001	0,442	0,695
AATI_7	0,558	0,074	7,539	< ,001	0,413	0,703
AATI_8	0,610	0,061	9,993	< ,001	0,490	0,729
VAL_1	0,322	0,076	4,212	< ,001	0,172	0,472
VAL_2	0,560	0,070	7,996	< ,001	0,423	0,698
VAL_3	0,428	0,076	5,663	< ,001	0,280	0,576
VAL_5	0,511	0,069	7,372	< ,001	0,375	0,646
VAL_6	0,552	0,074	7,495	< ,001	0,408	0,697
AGY_1	0,386	0,079	4,917	< ,001	0,232	0,540
AGY_2	0,537	0,072	7,428	< ,001	0,395	0,678
AGY_3	0,708	0,069	10,300	< ,001	0,574	0,843
AGY_4	0,469	0,084	5,553	< ,001	0,304	0,635
AGY_5	0,723	0,077	9,401	< ,001	0,572	0,874
AGY_6	0,958	0,036	26,918	< ,001	0,889	1,028
EPAS_1	0,455	0,062	7,337	< ,001	0,334	0,577
EPAS_2	0,560	0,073	7,630	< ,001	0,416	0,704
EPAS_3	0,349	0,061	5,715	< ,001	0,229	0,469
EPAS_4	0,944	0,034	27,703	< ,001	0,878	1,011

Thresholds

Indicator	Threshold	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval			
				z-value	p	Lower	Upper
INFO_1	t1	-1,515	0,157	-9,633	0,000	-1,823	-1,206
	t2	-0,147	0,102	-1,445	0,148	-0,346	0,052
	t3	0,814	0,115	7,109	$1{,}172\times10^{-12}$	0,590	1,039
	t4	1,515	0,157	9,633	0,000	1,206	1,823
INFO_2	t1	-1,944	0,213	-9,121	0,000	-2,361	-1,526
	t2	-0,792	0,114	-6,959	$3{,}418\times10^{-12}$	-1,015	-0,569
	t3	0,297	0,103	2,887	0,004	0,095	0,499
	t4	1,068	0,125	8,515	0,000	0,822	1,313
INFO_3	t1	-0,280	0,103	-2,727	0,006	-0,482	-0,079
	t2	0,726	0,112	6,506	$7{,}722\times10^{-11}$	0,508	0,945
	t3	1,376	0,145	9,477	0,000	1,091	1,661
	t4	1,846	0,197	9,357	0,000	1,459	2,232
INFO_4	t1	-0,770	0,113	-6,809	$9{,}820\times10^{-12}$	-0,991	-0,548
	t2	0,297	0,103	2,887	0,004	0,095	0,499
	t3	1,224	0,134	9,111	0,000	0,961	1,488
	t4	1,944	0,213	9,121	0,000	1,526	2,361
AATI_1	t1	-2,227	0,274	-8,136	$4{,}441\times10^{-16}$	-2,763	-1,690
	t2	-1,515	0,157	-9,633	0,000	-1,823	-1,206
	t3	-0,016	0,101	-0,161	0,872	-0,215	0,182
	t4	0,726	0,112	6,506	$7{,}722\times10^{-11}$	0,508	0,945
AATI_2	t1	-0,644	0,109	-5,891	$3{,}842\times10^{-9}$	-0,858	-0,430
	t2	0,163	0,102	1,606	0,108	-0,036	0,363
	t3	0,770	0,113	6,809	$9{,}820\times10^{-12}$	0,548	0,991
	t4	1,296	0,139	9,311	0,000	1,024	1,569
AATI_3	t1	-1,419	0,149	-9,544	0,000	-1,711	-1,128
	t2	-0,473	0,106	-4,479	$7{,}488\times10^{-6}$	-0,680	-0,266
	t3	0,332	0,103	3,207	0,001	0,129	0,534
	t4	0,985	0,121	8,115	$4{,}441\times10^{-16}$	0,747	1,223
AATI_4	t1	-1,158	0,130	-8,886	0,000	-1,414	-0,903
	t2	-0,213	0,102	-2,087	0,037	-0,413	-0,013
	t3	0,624	0,109	5,736	$9{,}715\times10^{-9}$	0,411	0,838
	t4	1,127	0,129	8,767	0,000	0,875	1,379

Thresholds

Indicator	Threshold	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval			
				z-value	p	Lower	Upper
AATI_5	t1	-1,465	0,153	-9,597	0,000	-1,764	-1,166
	t2	-0,455	0,105	-4,321	$1{,}554\times10^{-5}$	-0,661	-0,248
	t3	0,547	0,107	5,110	$3{,}217\times10^{-7}$	0,337	0,757
	t4	1,068	0,125	8,515	0,000	0,822	1,313
AATI_7	t1	-1,846	0,197	-9,357	0,000	-2,232	-1,459
	t2	-0,770	0,113	-6,809	$9{,}820\times10^{-12}$	-0,991	-0,548
	t3	0,180	0,102	1,766	0,077	-0,020	0,380
	t4	0,726	0,112	6,506	$7{,}722\times10^{-11}$	0,508	0,945
AATI_8	t1	-1,376	0,145	-9,477	0,000	-1,661	-1,091
	t2	-0,547	0,107	-5,110	$3{,}217\times10^{-7}$	-0,757	-0,337
	t3	0,349	0,104	3,367	$7{,}613\times10^{-4}$	0,146	0,552
	t4	0,792	0,114	6,959	$3{,}418\times10^{-12}$	0,569	1,015
VAL_1	t1	-2,227	0,274	-8,136	$4{,}441\times10^{-16}$	-2,763	-1,690
	t2	-1,568	0,163	-9,648	0,000	-1,887	-1,249
	t3	-0,585	0,108	-5,424	$5{,}836\times10^{-8}$	-0,797	-0,374
	t4	-0,033	0,101	-0,321	0,748	-0,231	0,166
VAL_2	t1	-2,065	0,236	-8,749	0,000	-2,527	-1,602
	t2	-0,624	0,109	-5,736	$9{,}715\times10^{-9}$	-0,838	-0,411
	t3	0,314	0,103	3,047	0,002	0,112	0,517
	t4	1,127	0,129	8,767	0,000	0,875	1,379
VAL_3	t1	-1,846	0,197	-9,357	0,000	-2,232	-1,459
	t2	-0,884	0,117	-7,549	$4{,}374\times10^{-14}$	-1,114	-0,655
	t3	0,180	0,102	1,766	0,077	-0,020	0,380
	t4	1,012	0,123	8,251	$2{,}220\times10^{-16}$	0,771	1,252
VAL_5	t1	-1,944	0,213	-9,121	0,000	-2,361	-1,526
	t2	-0,959	0,120	-7,976	$1{,}554\times10^{-15}$	-1,194	-0,723
	t3	-0,065	0,101	-0,643	0,521	-0,264	0,134
	t4	0,705	0,111	6,353	$2{,}110\times10^{-10}$	0,488	0,923
VAL_6	t1	-1,260	0,137	-9,215	0,000	-1,528	-0,992
	t2	-0,349	0,104	-3,367	$7{,}613\times10^{-4}$	-0,552	-0,146
	t3	0,455	0,105	4,321	$1{,}554\times10^{-5}$	0,248	0,661

Thresholds

Indicator	Threshold	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval			
				z-value	p	Lower	Upper
	t4	1,012	0,123	8,251	$2{,}220\times10^{-16}$	0,771	1,252
AGY_1	t1	-1,626	0,169	-9,637	0,000	-1,957	-1,296
	t2	-0,197	0,102	-1,927	0,054	-0,397	0,003
	t3	0,837	0,115	7,257	$3{,}966\times10^{-13}$	0,611	1,063
	t4	1,515	0,157	9,633	0,000	1,206	1,823
AGY_2	t1	-1,260	0,137	-9,215	0,000	-1,528	-0,992
	t2	-0,213	0,102	-2,087	0,037	-0,413	-0,013
	t3	0,792	0,114	6,959	$3{,}418\times10^{-12}$	0,569	1,015
	t4	1,465	0,153	9,597	0,000	1,166	1,764
AGY_3	t1	-0,726	0,112	-6,506	$7{,}722\times10^{-11}$	-0,945	-0,508
	t2	0,384	0,104	3,685	$2{,}284\times10^{-4}$	0,180	0,588
	t3	1,012	0,123	8,251	$2{,}220\times10^{-16}$	0,771	1,252
	t4	1,568	0,163	9,648	0,000	1,249	1,887
AGY_4	t1	-1,846	0,197	-9,357	0,000	-2,232	-1,459
	t2	-0,837	0,115	-7,257	$3{,}966\times10^{-13}$	-1,063	-0,611
	t3	0,314	0,103	3,047	0,002	0,112	0,517
	t4	1,068	0,125	8,515	0,000	0,822	1,313
AGY_5	t1	-0,933	0,119	-7,836	$4{,}663\times10^{-15}$	-1,167	-0,700
	t2	0,081	0,101	0,803	0,422	-0,117	0,280
	t3	0,748	0,112	6,658	$2{,}777\times10^{-11}$	0,528	0,968
	t4	1,335	0,142	9,399	0,000	1,057	1,614
AGY_6	t1	-2,484	0,356	-6,976	$3{,}034\times10^{-12}$	-3,182	-1,786
	t2	-1,626	0,169	-9,637	0,000	-1,957	-1,296
	t3	-0,705	0,111	-6,353	$2{,}110\times10^{-10}$	-0,923	-0,488
	t4	0,049	0,101	0,482	0,630	-0,150	0,248
EPAS_1	t1	-1,763	0,185	-9,505	0,000	-2,126	-1,399
	t2	-0,792	0,114	-6,959	$3{,}418\times10^{-12}$	-1,015	-0,569
	t3	0,473	0,106	4,479	$7{,}488\times10^{-6}$	0,266	0,680
	t4	1,097	0,127	8,643	0,000	0,848	1,346
EPAS_2	t1	-2,484	0,356	-6,976	$3{,}034\times10^{-12}$	-3,182	-1,786
	t2	-0,959	0,120	-7,976	$1{,}554\times10^{-15}$	-1,194	-0,723
	t3	0,081	0,101	0,803	0,422	-0,117	0,280
	t4	0,664	0,110	6,046	$1{,}489\times10^{-9}$	0,449	0,880

Thresholds

Indicator	Threshold	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval			
				z-value	p	Lower	Upper
EPAS_3	t1	-1,846	0,197	-9,357	0,000	-2,232	-1,459
	t2	-0,644	0,109	-5,891	$3{,}842\times10^{-9}$	-0,858	-0,430
	t3	0,401	0,104	3,844	$1{,}208\times10^{-4}$	0,197	0,606
	t4	1,224	0,134	9,111	0,000	0,961	1,488
EPAS_4	t1	-1,568	0,163	-9,648	0,000	-1,887	-1,249
	t2	-0,473	0,106	-4,479	$7{,}488\times10^{-6}$	-0,680	-0,266
	t3	0,332	0,103	3,207	0,001	0,129	0,534
	t4	0,860	0,116	7,404	$1{,}326\times10^{-13}$	0,633	1,088

Modification Indices

Cross-loadings

			Mod. Ind.	EPC
VAL	→	AATI_7	46,082	-1,405
VAL	→	INFO_3	15,591	0,403
AATI	→	INFO_3	14,528	0,539
VAL	→	AATI_3	11,999	0,746
INFO	→	AATI_7	11,610	0,624
EPAS	→	INFO_3	11,135	0,445
AATI	→	AGY_5	10,165	-0,506
AGY	→	AATI_7	9,987	0,482
VAL	→	AGY_3	9,192	0,347
INFO	→	AATI_1	8,755	-0,441
VAL	→	AATI_2	8,554	0,691
AATI	→	INFO_2	7,564	-0,622

Cross-loadings

			Mod. Ind.	EPC
EPAS	→	VAL_6	6,834	-0,559
AATI	→	AGY_2	6,468	0,413
VAL	→	AGY_4	6,119	-0,295
AGY	→	AATI_3	6,105	-0,357
AATI	→	AGY_4	5,975	-0,408
VAL	→	INFO_2	5,305	-0,341
INFO	→	AATI_5	4,619	0,379
AGY	→	AATI_4	4,558	-0,318
AATI	→	EPAS_1	4,328	0,631
VAL	→	AGY_5	4,266	-0,245
EPAS	→	AGY_4	4,053	-0,492
AATI	→	AGY_3	3,936	0,307

Residual covariances

			Mod. Ind.	EPC
AATI_7	↔	VAL_3	25,677	-0,276
AATI_5	↔	AATI_8	19,501	-0,270
AGY_1	↔	AGY_2	12,341	-0,225
INFO_2	↔	AATI_1	12,016	-0,191
INFO_3	↔	INFO_4	10,455	-0,225
AATI_3	↔	AGY_4	9,815	-0,185
AATI_3	↔	AGY_5	9,565	-0,213
INFO_4	↔	AGY_3	8,716	-0,197
VAL_2	↔	VAL_5	7,642	-0,166
INFO_4	↔	AATI_7	7,546	0,233
AGY_2	↔	AGY_3	7,538	-0,192
AATI_7	↔	VAL_2	7,280	-0,162
AATI_2	↔	AATI_8	6,834	-0,177
VAL_6	↔	EPAS_1	6,759	-0,173
AGY_2	↔	AGY_5	6,200	0,220
VAL_1	↔	VAL_6	5,982	0,250
VAL_5	↔	AGY_3	5,937	0,190

Residual covariances

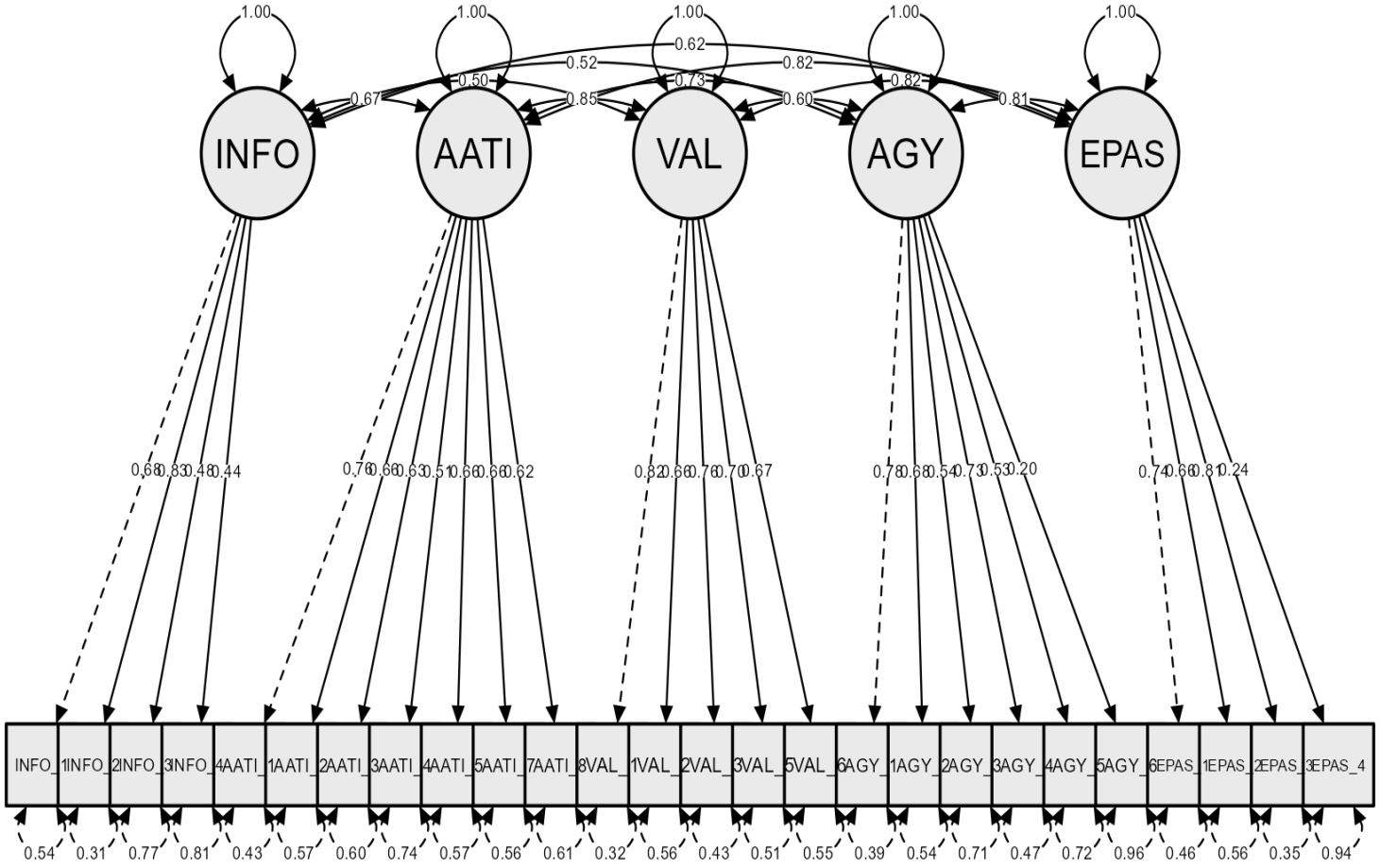
			Mod. Ind.	EPC
AATI_4	↔	AGY_1	5,909	-0,169
INFO_2	↔	INFO_4	5,876	0,213
VAL_2	↔	EPAS_1	5,287	0,167
VAL_5	↔	VAL_6	5,038	0,171
AATI_5	↔	VAL_6	4,993	-0,155
INFO_2	↔	EPAS_4	4,911	-0,169
AGY_1	↔	AGY_4	4,773	0,181
AATI_4	↔	AATI_8	4,639	0,172
AATI_1	↔	AATI_7	4,458	0,142
AATI_1	↔	AATI_8	4,411	0,138
AGY_2	↔	EPAS_4	4,410	-0,147
AATI_1	↔	AATI_3	4,301	-0,125
AATI_7	↔	VAL_5	4,226	-0,131
AATI_5	↔	VAL_2	4,157	0,174
AATI_2	↔	VAL_5	4,099	0,167
AATI_7	↔	VAL_1	4,090	-0,132
AATI_8	↔	AGY_5	3,952	-0,145
INFO_4	↔	AATI_8	3,948	-0,149
AATI_8	↔	AGY_3	3,891	0,173

Statistiche descrittive EcoIndex

	N	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.	Asimmetria		Curtosi	
	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Errore standard	Statistica	Errore standard
INFO_1	186	1	5	2,74	1,044	,506	,178	-,279	,355
INFO_2	186	1	5	3,24	1,045	,046	,178	-,579	,355
INFO_3	186	1	5	1,95	1,084	1,137	,178	,762	,355
INFO_4	186	1	5	2,24	1,023	,583	,178	-,141	,355
AATI_1	182	1	9	3,67	1,057	,438	,180	2,797	,358
AATI_2	185	1	9	2,55	1,441	1,241	,179	2,805	,355
AATI_3	173	1	9	3,22	1,320	,877	,185	2,738	,367
AATI_4	170	1	5	2,72	1,177	,443	,186	-,534	,370
AATI_5	181	1	5	3,05	1,107	,249	,181	-,611	,359
AATI_6	165	1	9	2,40	1,258	2,070	,189	7,960	,376
AATI_7	170	1	9	3,48	1,203	,397	,186	1,371	,370
AATI_8	179	1	5	3,20	1,251	,013	,182	-,979	,361
VAL_1	186	1	5	4,27	,973	-1,145	,178	,447	,355
VAL_2	186	1	5	3,19	1,042	,183	,178	-,717	,355
VAL_3	186	1	5	3,42	1,012	-,172	,178	-,390	,355
VAL_5	186	1	5	3,60	1,117	-,305	,178	-,761	,355
VAL_6	182	1	5	3,05	1,195	,100	,180	-,875	,358
VAL_7	177	1	10	3,88	1,249	,032	,183	2,417	,363
VAL_8	179	1	5	3,69	1,157	-,486	,182	-,539	,361
VAL_4	186	1	5	4,25	,949	-1,205	,178	,850	,355
AGY_1	186	1	5	2,77	1,025	,405	,178	-,260	,355
AGY_2	186	1	5	2,73	1,107	,259	,178	-,570	,355
AGY_3	186	1	5	2,32	1,116	,787	,178	,015	,355
AGY_4	186	1	5	3,33	1,032	-,156	,178	-,405	,355
AGY_5	186	1	5	2,58	1,220	,482	,178	-,629	,355
AGY_6	186	1	5	4,05	1,054	-1,005	,178	,467	,355
EPAS_1	186	1	5	3,17	1,060	-,008	,178	-,238	,355
EPAS_2	186	1	5	3,61	1,051	-,005	,178	-1,118	,355
EPAS_3	186	1	5	3,15	1,032	,033	,178	-,490	,355
EPAS_4	186	1	5	2,78	1,189	-,024	,178	-,872	,355
Numero di casi validi (listwise)	132								

Statistiche descrittive

	N	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.	Asimmetria		Curtosi	
	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Errore standard	Statistica	Errore standard
INFO_1	186	1	5	2,74	1,044	,506	,178	-,279	,355
INFO_2	186	1	5	3,24	1,045	,046	,178	-,579	,355
INFO_3	186	1	5	1,95	1,084	1,137	,178	,762	,355
INFO_4	186	1	5	2,24	1,023	,583	,178	-,141	,355
AATI_1	182	1	9	3,67	1,057	,438	,180	2,797	,358
AATI_2	185	1	9	2,55	1,441	1,241	,179	2,805	,355
AATI_3	173	1	9	3,22	1,320	,877	,185	2,738	,367
AATI_4	170	1	5	2,72	1,177	,443	,186	-,534	,370
AATI_5	181	1	5	3,05	1,107	,249	,181	-,611	,359
AATI_6	165	1	9	2,40	1,258	2,070	,189	7,960	,376
AATI_7	170	1	9	3,48	1,203	,397	,186	1,371	,370
AATI_8	179	1	5	3,20	1,251	,013	,182	-,979	,361
VAL_1	186	1	5	4,27	,973	-1,145	,178	,447	,355
VAL_2	186	1	5	3,19	1,042	,183	,178	-,717	,355
VAL_3	186	1	5	3,42	1,012	-,172	,178	-,390	,355
VAL_5	186	1	5	3,60	1,117	-,305	,178	-,761	,355
VAL_6	182	1	5	3,05	1,195	,100	,180	-,875	,358
VAL_7	177	1	10	3,88	1,249	,032	,183	2,417	,363
VAL_8	179	1	5	3,69	1,157	-,486	,182	-,539	,361
VAL_4	186	1	5	4,25	,949	-1,205	,178	,850	,355
AGY_1	186	1	5	2,77	1,025	,405	,178	-,260	,355
AGY_2	186	1	5	2,73	1,107	,259	,178	-,570	,355
AGY_3	186	1	5	2,32	1,116	,787	,178	,015	,355
AGY_4	186	1	5	3,33	1,032	-,156	,178	-,405	,355
AGY_5	186	1	5	2,58	1,220	,482	,178	-,629	,355
AGY_6	186	1	5	4,05	1,054	-1,005	,178	,467	,355
EPAS_1	186	1	5	3,17	1,060	-,008	,178	-,238	,355
EPAS_2	186	1	5	3,61	1,051	-,005	,178	-1,118	,355
EPAS_3	186	1	5	3,15	1,032	,033	,178	-,490	,355
EPAS_4	186	1	5	2,78	1,189	-,024	,178	-,872	,355
Numero di casi validi (listwise)	132								


1.00
1.00
1.00
1.00
1.00
0.62
0.52
0.82
0.50
0.73
0.82
0.67
0.85
0.60
0.81
INFO
AATI
VAL
AGY
EPAS
0.68 0.83 0.48 0.44
0.76 0.66 0.63 0.51 0.66 0.66 0.62
0.82 0.66 0.76 0.70 0.67
0.78 0.68 0.54 0.73 0.53 0.20
0.74 0.66 0.81 0.24
INFO_1 INFO_2 INFO_3 INFO_4 AATI_1 AATI_2 AATI_3 AATI_4 AATI_5 AATI_7 AATI_8 VAL_1 VAL_2 VAL_3 VAL_5 VAL_6 AGY_1 AGY_2 AGY_3 AGY_4 AGY_5 AGY_6 EPAS_1 EPAS_2 EPAS_3 EPAS_4
0.54 0.31 0.77 0.81 0.43 0.57 0.60 0.74 0.57 0.56 0.61 0.32 0.56 0.43 0.51 0.55 0.39 0.54 0.71 0.47 0.72 0.96 0.46 0.56 0.35 0.94

Allegato Metodologico: Rubric per domini e sottodomini EcoAI Framework

Rubric: Systems Understanding

Le rubriche dedicate al dominio *Systems Understanding* rappresentano il fondamento operativo della competenza sistemica richiesta dal Framework EcoAI. Questa sezione valutativa non ha una funzione meramente descrittiva, né intende misurare conoscenze fattuali su ecosistemi o tecnologie. Il suo obiettivo è documentare, in modo osservabile, progressivo e comparabile, come gli studenti sviluppino la capacità di comprendere sistemi complessi, di riconoscere le relazioni causali non-lineari, di interpretare dinamiche emergenti e di collocare la propria agency all'interno di processi ecologici e algoritmici che eccedono la dimensione individuale.

L'impostazione metodologica delle rubric si fonda sulla tradizione dell'ecological literacy e dei sistemi complessi, come delineata da Capra (1996), Orr (2004), Meadows (2008) e Morin (1999), e integra i contributi più recenti provenienti dagli studi sulla materialità delle infrastrutture digitali e dell'AI (Gabrys, 2016; Starosielski, 2015). L'assunto epistemico di base è che la crisi ecologica e quella algoritmica siano crisi di pensiero: senza una alfabetizzazione sistemica matura, gli studenti faticano a riconoscere feedback loops, tipping points, effetti ritardati, esternalità distribuite, e più in generale la differenza tra fenomeni lineari e fenomeni complessi.

Per questa ragione, le rubric non valutano "nozioni", ma la trasformazione di quattro capacità di ordine superiore:

(1) *leggere* sistemi viventi, climatici, sociali e digitali come reti di relazioni interdipendenti;
(2) *interpretare* fenomeni complessi attraverso modelli e pattern ricorrenti;
(3) *spostare* l'attenzione dall'oggetto isolato ai processi che lo generano;
(4) *riconoscere* che ogni azione personale è situata dentro circuiti materiali, algoritmici ed ecologici più ampi.

In continuità con la logica del Framework EcoAI, le rubric di Systems Understanding sono costruite in livelli progressivi di maturità cognitiva e riflessiva, dal riconoscimento elementare delle connessioni fino alla capacità avanzata di leggere sistemi ibridi ecodigitali in prospettiva relazionale e trasformativa. Ogni livello descrive cambiamenti osservabili nel modo in cui lo studente articola spiegazioni, collega evidenze, anticipa conseguenze e comprende la compresenza di dimensioni ecologiche e tecnologiche.

Queste rubric svolgono quindi una funzione cruciale: garantiscono che l'alfabetizzazione sistemica non resti un principio astratto, ma diventi un insieme di pratiche cognitive trasparenti, valutabili e trasferibili. In tal modo, consentono a docenti e ricercatori di monitorare l'evoluzione della competência Ecodigitale degli studenti attraverso criteri coerenti con la teoria dei sistemi, con le epistemologie relazionali e con la visione pedagogica postumana che sostiene il Framework EcoAI.

1. Ecosystem Dynamics

Livello 1 - Descrittivo-lineare

Lo studente riconosce singoli elementi di un ecosistema (piante, animali, oggetti tecnologici, dati) ma li interpreta come entità isolate. Mostra difficoltà nel comprendere interazioni e dipendenze reciproche. La visione è statica, centrata su cause semplici e immediate.

Livello 2 - Relazionale di base

Inizia a riconoscere che gli ecosistemi funzionano attraverso relazioni (nutrizione, energia, informazione). Identifica alcune connessioni tra elementi, ma tende a sovrasemplificare. La dimensione temporale (cambiamenti graduali, ritardi, accumuli) rimane poco percepita.

Livello 3 - Sistemico complesso

Comprende che un ecosistema, naturale o digitale, è una rete dinamica in cui componenti biotiche, abiotiche e tecnologiche co-evolvono. Riconosce fenomeni emergenti e interdipendenze, e coglie come cambiamenti locali possano generare effetti globali.

Livello 4 - Ecodigitale integrato

Applica consapevolmente l'analisi dei sistemi ecologici ai sistemi digitali e viceversa. Considera infrastrutture, dati, materiali tecnologici, clima e società come dimensioni interconnesse. È capace di formulare interpretazioni critiche sul ruolo dell'IA negli ecosistemi planetari.

2. Feedback Loops & Patterns

Livello 1 - Riconoscimento elementare

Riconosce solo pattern semplici e immediati (ad es. "pianto → cresce la pianta"). Non comprende retroazioni o accumuli. L'idea di ciclo è percepita come sequenza, non come dinamica.

Livello 2 - Ciclicità e retroazione semplice

Individua cicli naturali (giorno/notte, stagioni) e alcune retroazioni elementari (aumento/diminuzione). Comprende che alcune azioni influenzano il comportamento del sistema, ma fatica a vedere ritardi, soglie critiche e dinamiche cumulative.

Livello 3 - Dinamiche retroattive complesse

Riconosce feedback positivi e negativi, pattern ricorrenti, oscillazioni e stabilizzazioni. Applica questi concetti per spiegare fenomeni ecologici (estinzioni, resilienza) e digitali (viralità, bolle informative, amplificazione algoritmica).

Livello 4 - Modelli integrati ecodigitali

Interpreta feedback loops in sistemi ibridi (ecologici + algoritmici). Sa analizzare fenomeni complessi come climate tipping points, spirali di polarizzazione digitale, metriche algoritmiche che influenzano il comportamento collettivo. Applica consapevolmente questi modelli a problemi socio-ambientali.

3. Systems Literacy

Livello 1 - Alfabetizzazione frammentata

Possiede conoscenze basilari su elementi di sistemi ecologici o digitali, ma non riesce a integrarle. La comprensione è enciclopedica, non sistemica.

Livello 2 - Comprensione interconnessa

Comincia a integrare concetti di base (energia, materia, informazioni, rete). Sa descrivere alcune relazioni tra sistemi diversi (es. tecnologia e ambiente) ma manca profondità analitica.

Livello 3 - Alfabetizzazione sistemica matura

Mostra capacità di mappare sistemi complessi, identificando nodi, processi, flussi, criticità e latenza. Sa utilizzare strumenti come mappe causali, diagrammi di rete, matrici di impatto.

Livello 4 - Alfabetizzazione Ecodigitale avanzata

Integra stabilmente concetti ecologici e digitali: infrastrutture dati, energia, governance algoritmica, materialità del digitale, limiti planetari. Riconosce intersezioni tra sistemi ecologici e sistemi dell'IA, articolando letture critiche e contestuali.

4. Sympoietic Thinking Models

Livello 1 - Pensiero individualista

Interpreta fenomeni ecologici e digitali come prodotti di entità autonome. Non riconosce co-dipendenza, co-creazione o processi emergenti.

Livello 2 - Relazionalità emergente

Inizia a riconoscere processi collaborativi e relazioni mutualistiche. La visione è ancora centrata sull'individuo, ma si apre l'idea di "co-produzione" tra attori.

Livello 3 - Pensiero simpoietico applicato

Comprende che sistemi viventi e sistemi digitali non sono autopoietici ma simpoietici: "fanno-con". Analizza fenomeni come apprendimento umano-AI, comunità digitali, ecosistemi urbani come assemblaggi eterogenei.

Livello 4 - Simpoiesi Ecodigitale pienamente interiorizzata

Applica la simpoiesi come lente interpretativa per comprendere processi complessi. Riconosce la co-creazione tra esseri umani, IA, materiali, ambienti geologici, reti, dati. Articola posizionamenti etici coerenti con ontologie relazionali e postumane.

5. Non-Linear Cause-Effect Relations

Livello 1 - Causalità lineare

Interpreta fenomeni attraverso relazioni dirette, immediate e unidirezionali. Fatica a comprendere che piccole cause possono produrre grandi effetti (o viceversa).

Livello 2 - Causalità complessa iniziale

Riconosce che alcuni fenomeni hanno più cause e che gli effetti possono accumularsi nel tempo. Comprende nodi causali multipli ma non li integra in modelli complessi.

Livello 3 - Causalità sistemica

Analizza fenomeni come il cambiamento climatico, l'inquinamento digitale, la disinformazione come sistemi a causalità multipla, non-lineare e interdipendente. Riconosce ritardi, amplificazioni, soglie critiche.

Livello 4 - Causalità Ecodigitale avanzata

Integra causalità ecologica e digitale: comprende come algoritmi, piattaforme, dati, infrastrutture materiali e condizioni ambientali si intrecciano nella produzione di effetti complessi. Sa costruire modelli interpretativi per prevedere conseguenze a lungo termine e scenari sistemici.

Rubric: Ecological Understanding of AI

Il secondo dominio del Framework EcoAI estende il lavoro epistemico iniziato con *Systems Understanding*, traducendo il pensiero sistemico in una consapevolezza critica delle infrastrutture digitali, delle tecnologie dell'intelligenza artificiale e delle loro implicazioni ecologiche, sociali e geopolitiche. Mentre il primo dominio fornisce la grammatica cognitiva del pensiero complesso, questo dominio ne costituisce l'applicazione diretta ai sistemi socio-tecnici contemporanei, rileggendo l'intelligenza artificiale non come un semplice artefatto informatico ma come una componente di ecosistemi ibridi fatti di energia, materiali, dati, lavoro umano e ambienti naturali. In questo senso, il Dominio 2 opera come un ponte tra il Quadrante *Systems Understanding* e i Quadranti *Tool-Based Learning* e *Identity Formation*, permettendo di comprendere come sistemi digitali e infrastrutture dell'IA plasmino forme di vita, possibilità di azione e scenari futuri. Le rubric che seguono valutano dunque la capacità dello studente di interrogare criticamente l'AI nei suoi impatti ambientali, materiali, energetici, infrastrutturali e politici, e di collocare queste consapevolezze all'interno di sistemi complessi ecodigitali.

Il dominio *Ecological Understanding of AI* valuta il grado in cui lo studente comprende che l'intelligenza artificiale non è immateriale, neutrale o disincarnata, ma parte di sistemi ecologici, materiali, energetici e socio-politici che hanno impatti reali e distribuiti in modo non uniforme.

1. Digital Ecosystems & Infrastructures

Livello 1 - Concezione strumentale dell'AI

Lo studente percepisce l'AI come un software autonomo, contenuto in dispositivi locali, privo di implicazioni materiali o infrastrutturali. Non coglie l'esistenza di data center, reti, cavi sottomarini, supply chain tecnologiche o flussi globali di dati.

Livello 2 - Riconoscimento iniziale della materialità

Comincia a intuire che l'AI richiede infrastrutture fisiche: server, reti di comunicazione, dispositivi hardware. È in grado di menzionare l'esistenza di data center ma non comprende le loro funzioni sistemiche né il loro impatto ecologico.

Livello 3 - Consapevolezza sistemica delle infrastrutture

Riconosce che l'AI opera all'interno di un ecosistema digitale globale composto da data center ad alta intensità energetica, reti di cavi sottomarini, minerali critici, sistemi di raffreddamento e lavoro umano distribuito. Comprende che tali infrastrutture sono integrate in cicli ecologici, geopolitici ed economici.

Livello 4 - Comprensione Ecodigitale avanzata

Analizza consapevolmente l'AI come parte di sistemi complessi che includono geologia, energia, logistica, governance transnazionale e filiere estrattive. È in grado di discutere criticamente la materialità delle tecnologie, incluse estrazioni di litio, condizioni di produzione, impatti idrici e dislocazioni geopolitiche. Sa confrontare infrastrutture digitali e infrastrutture ecologiche, riconoscendo trade-off e rischi sistemici.

2. AI Energy Consumption

Livello 1 - Ignoranza dell'impatto energetico

Considera l'AI come a consumo energetico trascurabile. Non riconosce che i modelli linguistici, la visione artificiale e l'addestramento richiedono grandi quantità di energia elettrica.

Livello 2 - Consapevolezza superficiale dell'impatto

Sa che l'AI consuma energia, ma non conosce scala, ordine di grandezza o differenze tra addestramento e inferenza. Può richiamare esempi giornalistici senza collegarli a dinamiche sistemiche.

Livello 3 - Consapevolezza energetica contestualizzata

Comprende che l'addestramento di modelli avanzati richiede megawattora significativi, che i data center generano calore e richiedono sistemi di raffreddamento ad alto costo ecologico, e che il consumo cresce con complessità del modello e volume dei dati. È capace di collegare questi consumi ai mix energetici nazionali, agli impatti sul clima e alle dinamiche del mercato elettrico.

Livello 4 - Analisi critico-sistemica del ciclo energetico

Interpreta il consumo energetico dell'AI come parte di un ciclo socio-tecnico che include estrazione mineraria, produzione di hardware, logistica, dipendenza da energie fossili o rinnovabili e impatti a lungo termine. Valuta trade-off tra utilità dell'AI e costi ambientali, articolando posizioni etiche e politiche coerenti con la sostenibilità.

3. Hybrid Ecodigital Agency

Livello 1 - Dualismo umano/tecnologia

Interpreta l'AI come un mero strumento passivo e l'agency come appannaggio esclusivo umano. Non coglie influenze reciproche tra soggetti, piattaforme e ambienti.

Livello 2 - Riconoscimento di influenze reciproche

Inizia a riconoscere che l'AI può orientare scelte, percezioni e comportamenti. Ammette forme di co-determinazione tra utenti e tecnologie, senza però cogliere la dimensione ecologica e sistemica.

Livello 3 - Agency relazionale e situata

Comprende che l'agency emerge da relazioni tra persone, IA, dati, ambienti fisici e infrastrutture. Analizza casi di co-dipendenza Ecodigitale (ad es. navigazione algoritmica, notifiche, assistenti vocali, IA ambientale).

Livello 4 - Agency ibrida eco-postumana

Integra agency umana, artificiale e ambientale in una visione postumana dell'azione distribuita. Riconosce che le IA influenzano ecosistemi, mobilità, consumi energetici, produzione di dati e che l'agency Ecodigitale richiede responsabilità condivise e multilivello. Si collega direttamente alla dimensione **EPAS** dell'EcoAI Framework.

4. Environmental & Climate Justice

Livello 1 - Comprensione etica minimale

Lo studente mostra una concezione superficiale di "giustizia", priva di riferimenti alla distribuzione degli impatti ambientali o al ruolo della tecnologia.

Livello 2 - Consapevolezza iniziale delle disuguaglianze

Riconosce che alcune popolazioni sono più colpite dai cambiamenti climatici o dall'inquinamento digitale, ma non sa spiegare perché.

Livello 3 - Giustizia ambientale come fenomeno sistemico

Analizza come impatti ecologici, estrattivismo minerario, scarti elettronici, supply chain e migrazioni climatiche si distribuiscono in modo diseguale. Comprende che le tecnologie dell'AI possono amplificare disuguaglianze esistenti.

Livello 4 - Giustizia ambientale algoritmica

Collega infrastrutture dell'AI, geografie del potere, governance tecnologica e vulnerabilità ecologica. Articola come bias algoritmici, sorveglianza, data extraction e esternalità ambientali si intrecciano in sistemi di ingiustizia plurali. Dimostra capacità di proporre risposte politiche informate.

5. Ecopolitical Tech Analysis

Livello 1 - Visione apolitica della tecnologia

Interpreta l'AI come neutrale, naturale, inevitabile. Mancano riferimenti a potere, governance, regolazioni o modelli di business.

Livello 2 - Consapevolezza iniziale delle implicazioni politiche

Riconosce che piattaforme e aziende tecnologiche prendono decisioni che influenzano la società, ma non analizza dinamiche geopolitiche o economiche.

Livello 3 - Analisi politico-ecologica contestualizzata

Comprende il ruolo delle piattaforme nel modellare opinioni, lavoro, ambiente, privacy, economia energetica e governance dei dati. Analizza trade-off tra innovazione tecnologica, impatti ecologici e regolazione.

Livello 4 - Lettura critica eco-politica avanzata

Interpreta l'AI come assemblaggio eco-politico globale, che include piattaforme, Stati, materiali, energia, clima, dati e forme di governance algoritmica. Valuta normative (Unione Europea, AI Act; UNESCO AI Ethics), processi geopolitici, e propone scenari regolativi coerenti con giustizia ecologica e sostenibilità.

6. Digital Privacy & Data Awareness
Livello 1 - Consapevolezza ingenua dei dati
Riconosce unicamente dimensioni superficiali della privacy (password, sicurezza personale). Non considera raccolta dati, profilazione o tracciamenti.
Livello 2 - Consapevolezza tecnica elementare
Sa che le piattaforme raccolgono dati e li usano per personalizzazione. Non conosce concetti di profilazione, inferenza, data brokerage o governance algoritmica.
Livello 3 - Consapevolezza critica della dataficazione
Comprende che ogni interazione digitale produce dati che possono essere aggregati, manipolati e utilizzati a fini commerciali o politici. Sa leggere criticamente permessi, tracking, microtargeting, filter bubble e rischi associati.
Livello 4 - Consapevolezza eco-politica dei dati
Integra la dimensione ecologica (impatto energetico e materiale della dataficazione) con quella politica (sorveglianza, capitalismo della sorveglianza, asimmetrie di potere). Analizza dati come risorse ecologiche e politiche, con attenzione alla sostenibilità e alla giustizia.

Rubric: Identity Formation

Il terzo dominio, *Identity Formation*, rappresenta la componente più filosoficamente densa e concettualmente innovativa dell'intero Framework EcoAI. Mentre i primi due domini formano la base epistemica (pensiero sistemico) ed eco-tecnica (comprensione dell'AI come infrastruttura ecologica), questo dominio affronta la questione cruciale di chi diventa il soggetto educativo nell'era Ecodigitale.
Il passaggio dalle strutture ai soggetti non è lineare: EcoAI assume che l'identità non sia un'entità stabile o predefinita, ma l'esito processuale di intra-azioni (Barad, 2007), simpoiesi (Haraway, 2016), posizionalità ecologica e digitale (Braidotti, 2013) e ecomedialità (López, 2021). Ciò significa che studenti e cittadini non vivono in un mondo "dato", ma in ambienti ecodigitali che configurano possibilità percettive, relazionali, cognitive ed etiche.
Questo dominio, quindi, valuta non *che cosa* gli studenti sanno sull'ecologia o sull'AI, ma chi diventano nel rapporto con ecosistemi, media, tecnologie e infrastrutture. Misura l'emergere di forme identitarie post-antropocentriche, capaci di riconoscere agency ibride, responsabilità distribuite e forme di appartenenza che superano le dicotomie classiche (umano/non umano, naturale/artificiale, locale/globale).
Le rubric che seguono permettono di osservare la formazione identitaria Ecodigitale lungo un continuum di consapevolezza, responsabilità e trasformazione ontologica.
1. Post-Anthropocentric Identity
Livello 1 - Identità umano-centrica stabile
Lo studente concepisce l'identità come proprietà individuale, autonoma e separata dal mondo naturale e tecnologico. Considera la natura come sfondo passivo e le tecnologie come strumenti esterni, senza riconoscere forme di co-dipendenza.
Livello 2 - Riconoscimento della dimensione ecologica dell'identità
Comincia a riconoscere che identità, comportamenti e percezioni sono influenzati da fattori ambientali e tecnologici. Intuisce che "l'umano" è situato in reti ecologiche ma mantiene una visione dualistica tra natura e artificio.
Livello 3 - Identità ecologica e situata
Comprende che l'identità emerge da relazioni con ambienti, ecosistemi e artefatti digitali. Analizza come media, piattaforme e infrastrutture contribuiscano a plasmare modi di essere e percepire. L'articolazione identitaria è vista come dinamica, processuale e interconnessa.
Livello 4 - Identità postumana Ecodigitale
Assume una prospettiva pienamente relazionale, riconoscendo l'intra-azione (Barad) come modalità costitutiva dell'identità. L'umano è interpretato come nodo di un campo eco-tecnico in cui agenti non umani, dati, ecosistemi e tecnologie partecipano alla costruzione del sé. È in grado di discutere criticamente la destabilizzazione del soggetto moderno, l'ibridazione ontologica e i limiti dell'antropocentrismo.
2. Ecodigital Positionality & Imaginaries
Livello 1 - Posizionalità inconsapevole

Lo studente non riconosce che la propria identità è situata in specifici contesti socio-ecologici e digitali. I futuri immaginati sono generici o deterministici.

Livello 2 - Posizionalità parziale

Riconosce che il proprio vissuto digitale ed ecologico influisce sulle proprie percezioni, ma senza analizzare l'intersezione tra ambienti naturali, media e IA. Gli immaginari dell'AI e dell'ecologia rimangono esterni e poco articolati.

Livello 3 - Posizionalità Ecodigitale consapevole

Sa collocare il proprio posizionamento nell'intersezione tra ecosistemi, piattaforme, geografie dei dati e contesti culturali. Analizza come immaginari tecnologici, narrazioni mediatiche e rappresentazioni ecologiche influenzino visioni del futuro, scelte etiche e aspirazioni.

Livello 4 - Immaginazione trasformativa Ecodigitale

Elabora immaginari critici, alternativi e situati che integrano comprensione ecologica, giustizia algoritmica, sostenibilità e responsabilità. Propone futuri più-che-umani, simpoietici e co-generativi, riflettendo una piena interiorizzazione dell'Ecodigital Posthumanism.

3. Relational Ethics

Livello 1 - Etica individualistica

La responsabilità è interpretata come attributo individuale, privo di dimensioni relazionali, ecologiche o tecnologiche.

Livello 2 - Etica interpersonale fisica

Riconosce forme di responsabilità verso gli altri umani, ma non considera ecosistemi, dati o tecnologie come parte del dominio etico.

Livello 3 - Etica ecologica e mediale

Comprende che le proprie azioni hanno ricadute ecologiche e mediali. Analizza i modi in cui interazioni digitali, scelte di consumo, dati e uso delle piattaforme incidono su comunità e ambienti.

Livello 4 - Etica relazionale complessa

Integra responsabilità ambientale, digitale e sociale in una visione sistemica. Riconosce che comportamenti individuali e collettivi emergono da relazioni tra esseri umani, ecosistemi e infrastrutture tecnologiche. Sa proporre scelte etiche situate, contestuali e consapevoli dei vincoli materiali e algoritmici.

4. Posthuman Relational Ethics

Livello 1 - Etica antropocentrica

L'etica è limitata a relazioni fra umani; gli enti non umani sono considerati strumenti o risorse.

Livello 2 - Etica ecocentrica embrionale

Riconosce che ecosistemi e non umani meritano considerazione morale, ma mantiene una separazione ontologica.

Livello 3 - Etica postumana situata

Integra prospettive interspecie, multi-agente e più-che-umane. Comprende che animali, ecosistemi, IA, materiali e infrastrutture partecipano a reti di vulnerabilità e responsabilità condivise.

Livello 4 - Etica onto-epistemologica agenziale

Articola una visione pienamente postumana dell'etica, secondo cui entità umane e non umane co-emergono nei processi di intra-azione. Riconosce che l'etica è co-prodotta da relazioni, dispositivi, ambienti e materiali. Formula giudizi etici situati e consapevoli delle dinamiche del potere eco-tecnico.

5. Ecodigital Agency

Livello 1 - Agency individuale isolata

Considera l'agency come pura capacità individuale. Non riconosce vincoli algoritmici, ecologici o infrastrutturali.

Livello 2 - Agency condizionata

Ammette che piattaforme e contesti ambientali influenzano l'agency, ma mantiene una visione prevalentemente individualistica.

Livello 3 - Agency ibrida e situata

Comprende che l'agency emerge da relazioni con ambienti, IA, dati, spazi materiali e sistemi di potere. Riconosce forme di co-agency digitale ed ecologica.

Livello 4 - Eco-Posthuman Agency

Integra agency umana, algoritmica, ecologica e infrastrutturale. È in grado di analizzare configurazioni di potere eco-tecno-politiche e di proporre risposte trasformative. Qui si collega direttamente la dimensione **EPAS** del Framework EcoAI.

6. Algorithmic Bias, Fairness & Representation

Livello 1 - Ignoranza dei bias algoritmici

Ritiene che gli algoritmi siano oggettivi, equi e neutrali.

Livello 2 - Riconoscimento iniziale del bias

Sa che esistono distorsioni ma non ne comprende le cause né le implicazioni sociali e identitarie.

Livello 3 - Analisi critica della mediazione algoritmica

Collega pregiudizi umani, set di dati, modelli di addestramento, scelte progettuali e dinamiche di rappresentazione. Analizza casi di discriminazione e distorsione identitaria.

Livello 4 - Giustizia algoritmica situata

Comprende implicazioni politiche, culturali, ecologiche e identitarie del bias. Riconosce che l'equità algoritmica non è un obiettivo tecnico ma un processo socio-politico e ontologico. Sa proporre principi di design etico e strategie partecipative per la rappresentazione equa.

Rubric: Tool-based Learning

Il quarto dominio dell'EcoAI Framework si concentra sul modo in cui gli studenti apprendono, co-creano e operano attraverso strumenti digitali e sistemi di intelligenza artificiale, integrandoli nei processi educativi non come semplici supporti tecnici, ma come attori ecologici che modellano ambienti cognitivi, immaginari, relazioni, possibilità d'azione e forme di cittadinanza.

Questo dominio traduce sul piano pedagogico l'intera architettura teorica dei quadranti precedenti:

- dal **Systems Understanding**, riceve l'idea che ogni tecnologia sia inscritta in reti di relazioni e retroazioni;
- dal **Ecological Understanding of AI**, eredita la consapevolezza della materialità e dei costi ecologici delle tecnologie;
- dal **Identity Formation**, incorpora la dimensione soggettiva e postumana dell'interazione uomo-tecnologia.

In Tool-Based Learning lo studente è considerato non un utente, ma un co-agente che apprende all'interno di ambienti ibridi in cui interagiscono dimensioni ecologiche, tecniche, simboliche e politiche. Questo dominio non valuta solo l'abilità tecnica, ma la capacità di utilizzare strumenti - soprattutto IA generativa - in modo critico, ecologicamente consapevole e pedagogicamente significativo.

1. Artificial Intelligence & Generative Content

Livello 1 - Uso strumentale e acritico dell'IA

Lo studente utilizza strumenti di IA (chatbot, generatori di immagini, modelli linguistici) in modo puramente esecutivo, senza comprendere logiche computazionali, limiti, implicazioni ecologiche o etiche. Si affida ai risultati senza verificarli.

Livello 2 - Comprensione funzionale ma parziale

Riconosce che l'IA produce contenuti tramite modelli statistici e che non garantisce veridicità. È consapevole di alcuni rischi (disinformazione, hallucination), ma non li analizza in profondità. L'ecologia dell'IA (consumo energetico, cicli di vita) rimane sullo sfondo.

Livello 3 - Utilizzo critico, riflessivo e multimodale

Comprende come architettura, dataset, criteri di addestramento e scelte progettuali influenzino i risultati. Analizza aspetti di bias, fairness, replicabilità, impatto energetico e sostenibilità ("Green AI"). Integra controlli incrociati, verifica fonti, applica strategie di prompt engineering consapevole e discute criticamente i limiti epistemologici dei modelli generativi.

Livello 4 - Padronanza eco-tecnica e design etico dell'IA

Interpreta l'IA generativa come co-agente epistemico ed ecologico. Sa progettare micro-sistemi di utilizzo responsabile, impostare linee guida etiche, valutare impatti materiali (energia, acqua, dati) e considerare implicazioni onto-epistemologiche. Sa integrare IA generativa come strumento cognitivo trasformativo, non sostitutivo, e sa progettare attività educative fondate sulla co-creazione e sull'accountability.

2. Hybrid Learning Modules

Livello 1 - Uso frammentario di strumenti digitali
Lo studente alterna strumenti analogici e digitali senza una logica di integrazione, trattando i media come contenitori separati.
Livello 2 - Integrazione funzionale di strumenti eterogenei
Utilizza strumenti digitali vari (slide, video, piattaforme LMS, presentazioni) in un approccio blended di base. L'uso rimane lineare e orientato al compito.
Livello 3 - Progettazione di moduli ibridi ecodigitali
Sa coordinare strumenti diversi (simulazioni, IA, mappe concettuali, sensori, dati ambientali, strumenti collaborativi) dentro un unico modulo di apprendimento. Integra dimensioni ecologiche e digitali, riconosce il valore di ambienti onlife (Floridi), gestisce dati in modo consapevole e valuta gli effetti pedagogici dell'ibridazione.
Livello 4 - Architettura sistemica di percorsi multimodali
Sa progettare un vero e proprio *ecosistema di apprendimento ibrido*, in cui strumenti digitali, ambienti fisici, dati, IA e media sono integrati in logiche simpoietiche. È in grado di trasformare attività educative in processi ecodigitali iterativi, aperti e co-creativi, con attenzione agli impatti ambientali e ai pattern di interazione.
3. Situated Human-AI Interaction
Livello 1 - Interazione tecnica e unidirezionale
Considera l'interazione con l'IA come semplice input-output. Non riconosce contesto, posizionalità o implicazioni.
Livello 2 - Interazione sensibile al contesto
Riconosce che l'interazione dipende da come si formula il compito, dal contesto e dalla piattaforma. Comincia a riflettere sul ruolo dello studente e dell'IA nel processo.
Livello 3 - Interazione situata e riflessiva
Integra una comprensione ecologica e identitaria dell'interazione uomo-IA. Analizza come contesto, dati, prompt, agenti, media e ambienti definiscano le possibilità cognitive. Si interroga sull'impatto dell'IA sul proprio posizionamento e sulle dinamiche di potere.
Livello 4 - Interazione simpoietica e co-agency
Interiorizza logiche postumane: l'interazione è vista come intra-azione situata, co-prodotta, ecologicamente e politicamente orientata. Sa valutare dinamiche onto-epistemologiche e progettare scambi responsabili, riflessivi e co-creativi con agenti algoritmici.

4. Pedagogical Digital Experimentation
Livello 1 - Esecuzione di compiti digitali predefiniti
Usa strumenti digitali solo come richiesto, senza esplorazione o riflessione.
Livello 2 - Sperimentazione limitata
Modifica strumenti e strategie in modo embrionale. Tenta varianti, esplora funzioni ma senza una logica di ricerca.
Livello 3 - Sperimentazione strutturata e riflessiva
Usa l'ibridazione degli strumenti per esplorare concetti, risolvere problemi, modellizzare fenomeni e costruire conoscenza. Documenta, confronta, valuta esiti. Comprende la funzione epistemica della sperimentazione.
Livello 4 - Sperimentazione eco-tecnica avanzata
Progetta veri e propri *laboratori ecodigitali*, esperimenti multimodali, simulazioni complesse, percorsi di inquiry, protocolli iterativi e processi di riflessione estesi. Integra consapevolezza sui costi ecologici della sperimentazione e adotta criteri di sostenibilità.

5. Multimodal Approaches & Creativity
Livello 1 - Produzione monomodale
Produce materiali prevalentemente testuali o lineari.
Livello 2 - Multimodalità funzionale
Integra elementi visivi, sonori e interattivi, ma senza una logica epistemica.
Livello 3 - Multimodalità cognitiva
Usa consapevolmente media differenti per aumentare comprensione, engagement e rappresentazione concettuale. Valuta come i diversi media influenzano significati, narrazioni e percezioni.
Livello 4 - Multimodalità ecodigitalmente informata

Progetta artefatti complessi che integrano simulazioni, dati ambientali, IA, mappe, video, audio, grafici e materiali fisici. La multimodalità diventa strumento di immaginazione Ecodigitale trasformativa.

6. Generative AI for Sustainability
Livello 1 - Utilizzo generico dell'IA
Non collega l'IA alla sostenibilità né ai problemi eco-sociali.
Livello 2 - Consapevolezza tematica
Riconosce che l'IA può supportare progetti ambientali (es. analisi dati climatici, monitoraggi) ma senza integrare criticità o limiti.
Livello 3 - Progettazione responsabile di attività sostenibili con IA
Usa IA per analizzare fenomeni ecologici, costruire modelli, valutare impatti, elaborare strategie, comunicare risultati. Integra approcci di sustainable computing e principi di Green AI.
Livello 4 - Eco-Design algoritmico critico
Interpreta l'IA come attore ecologico. Sa progettare attività, simulazioni e interventi che integrano IA, dati ambientali, modelli ecologici, etica algoritmica, giustizia ambientale e limiti planetari. Formula criteri per quando usare o non usare l'IA in un contesto educativo sostenibile.