Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

MUR Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

Università di Foggia

Corso di Dottorato in
Learning Sciences and Digital Technologies
XXXVIII ciclo

Teach in AR: Realtà Aumentata e Formazione Insegnanti

Un Modello Integrato per la Progettazione Didattica con Tecnologie Immersive

Tutor
Prof.ssa Alessandra La Marca

Alessandra La Marca
Firmato digitalmente da: Alessandra La Marca
Data: 26/11/2025 11:44:25

Dottorando
Antonella Leone

Co-tutor
Prof. Guido Benvenuto

Anno Accademico 2024/2025

Sommario

Abstract (italiano) 8

Abstract (english) 10

Presentazione 12

Introduction 27

Capitolo I 44

Ripensare la Didattica con la Realtà Aumentata: Tecnologie Immersive e nuovi paradigmi educativi *44*

Introduzione *44*

1.1 Le Tecnologie Immersive e la nuova frontiera della didattica *46*

1.2 Dalla simulazione all'embodied cognition: fondamenti pedagogici delle tecnologie immersive *48*

1.3 Definizioni e caratteristiche della Realtà Aumentata *52*

1.4 Dispositivi e software per la Realtà Aumentata *54*

1.5 Realtà Aumentata e apprendimento *55*

1.5.1 Vantaggi e criticità dell'AR nei contesti educativi 58

1.5.2 L'impatto della realtà aumentata sulla motivazione degli studenti 60

1.6 Prospettive Didattiche per l'utilizzo dell'AR *62*

1.7 Formare gli insegnanti alla Realtà Aumentata *64*

1.8 La Realtà Aumentata nella Scuola Primaria *69*

1.9. Potenzialità educative della Realtà Aumentata per la Scuola Primaria *72*

1.10 Riflessioni Conclusive *75*

Capitolo II 93

La Realtà Aumentata nei percorsi di formazione insegnanti: una revisione sistematica della letteratura *93*

Introduzione *93*

2.1 Metodologia *95*

2.1.1 Strategia e criteri di ricerca 95
2.1.2 Identificazione degli studi rilevati 96
2.1.3 Caratteristiche descrittive degli studi inclusi 100

2.2 Risultati *101*
2.2.1 Obiettivi dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata per gli insegnanti 101
2.2.2 La preparazione degli insegnanti all'uso dell'AR 106
2.2.2.1 Approcci formativi 106
2.2.2.2 Modalità di erogazione 107
2.2.3 Tecnologie in AR impiegate nei percorsi di formazione 109
2.2.4 Esiti dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata 111

2.3 Discussione *114*

2.4 Riflessioni conclusive *118*
Capitolo III 126

Casi di studio sull'integrazione della Realtà Aumentata nella didattica universitaria: valutazione dell'esperienza immersiva e del coinvolgimento *126*

3.1 La didattica Immersiva: la nuova frontiera della didattica: campione e finalità della ricerca *128*
3.1.1 Descrizione dell'intervento 128
3.1.2 Primo incontro – Fase Introduttiva e Approccio Teorico 129
3.1.3 Secondo Incontro - Creazione dell'ambiente virtuale 131
3.1.4 Terzo Incontro – Esperienza immersiva in AR 131
3.1.5 Valutazione dell'esperienza 131
3.1.6 Risultati 132

3.2 Apprendimento con Realtà Aumentata in Università: evidenze percettive e criticità emergenti: campione e finalità della ricerca *133*
3.2.1 Descrizione dell'intervento 134
3.2.2 Risultati 134

3.3 Riflessioni Conclusive *136*
Capitolo IV 139

Casi di studio sulle percezioni e sugli atteggiamenti degli insegnanti verso l'uso della Realtà aumentata *139*

Introduzione *139*

4.1 Realtà aumentata per l'apprendimento: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti *141*

4.1.1 Descrizione dell'intervento 141

4.1.2 Strumenti di rilevazione dei dati 141

4.1.3 Risultati qualitativi dell'esperienza 142

4.1.4 Risultati Questionario ARAAS 145

4.2 Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEM *147*

4.2.1 Descrizione dell'intervento 148

4.2.2 Strumento di rilevazione 149

4.2.3 Risultati 149

4.3 Le Tecnologie Immersive come strumento di formazione: la Realtà` Aumentata per la didattica inclusiva *154*

4.3.1 Descrizione dell'intervento 154

4.3.2 Strumenti di rilevazione dei dati 155

4.3.3 Risultati 156

4.4 Riflessioni Conclusive *167*

Capitolo V 171

Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School (AR-TECH) *171*

Introduzione *171*

5.1 Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS) – Hervás-Gómez et al. (2017) *174*

5.2 Teachers's Augmented Reality Competencies (TARC) – Nikou et al. (2021) *176*

5.3 Augmented Reality – Teachers' education and Competences in Primary School (AR-TECH) *180*

5.3.1 Fase pilota: analisi preliminare di affidabilità, prima somministrazione 182

5.3.2 Discussione dei risultati della fase pilota 195

5.4 Validazione dello strumento: seconda somministrazione *198*

5.4.1 Analisi preliminare dei dati 200

5.4.2 Verifica delle assunzioni 203

5.4.3 Analisi Fattoriale Esplorativa (EFA) 205
5.4.4 Discussione risultati EFA 209

5.5 Analisi Fattoriale Confermativa (CFA) *212*
5.5.1 CFA Preliminare (n=400) 212
5.5.2 CFA Estesa sul Campione Totale (n = 700) 218

5.6 Riflessioni Conclusive *220*
Capitolo VI 228

Teach in AR: Progettazione e sperimentazione di *228*

un percorso formativo per futuri insegnanti *228*

Introduzione *228*

6.1 Teach in AR: un modello integrato per la formazione dei futuri insegnanti all'uso della realtà aumentata *230*

6.2 Implementazione del framework Teach in AR nel CdLM in Scienze della Formazione Primaria *232*

6.3 Campione e struttura temporale dell'intervento *232*

6.4 Descrizione dei moduli formativi *233*
6.4.1 Primo modulo – Introduzione alla realtà aumentata per la didattica nella scuola primaria 236
6.4.2 Secondo Modulo – metodologie didattiche e strumenti per insegnare con la realtà aumentata 237
6.4.3 Terzo Modulo – Dalla teoria alla pratica: progettare lezioni innovative con la realtà aumentata 238
6.4.4 Quarto modulo – *peer assessment* e riflessione critica sulle progettazioni in AR 239

6.5 Gli strumenti di valutazione *240*
6.5.1 Descrizione delle rubriche valutative 240
6.5.1.1. Rubrica Evaluation of Augmented Reality Application in Education (EVAR) (Henne et al., 2024) 243
6.5.1.2 Rubrica Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata, (C.S.P.-AR) (La Marca & Leone, 2024) 245
6.5.2 I Focus Group 245

6.6 Riflessioni Conclusive *247*
Capitolo VII 254

La valutazione pre e post dell'intervento formativo Teach in AR *254*

Introduzione *254*

7.1 Descrizione dello strumento *255*

7.2 Campione *256*

7.3 Metodologia *256*

7.4 La conoscenza pregressa della Realtà Aumentata *257*

7.5 Impatto del percorso formativo: analisi pre-post intervento . *263*

7.5.1 Analisi Descrittiva 264

7.5.2 Analisi Inferenziale 267

7.5.3 Prospettive, sfide e opportunità percepite nell'integrazione dell'AR 269

7.6 Analisi esplorative aggiuntive *275*

7.6.1 Regressioni lineari: DigCompEdu come predittore delle scale ARAAS e TARC 275

7.6.2 Analisi delle correlazioni tra le scale ARAAS e TARC 277

7.7 Riflessioni Conclusive *278*

Capitolo VIII 284

Applicazione del framework Teach in AR per l'insegnamento della Geometria nella Scuola Primaria *284*

Introduzione *284*

8.1 Realtà Aumentata per l'insegnamento e apprendimento della geometria *285*

8.2 Teach in AR per l'insegnamento della Geometria nella Scuola Primaria *289*

8.3 Campione e struttura temporale dell'intervento *290*

8.4 Descrizione dei moduli formativi *290*

8.4.1 Primo modulo – Introduzione alla realtà aumentata per la didattica nella Scuola Primaria 293

8.4.2 Secondo Modulo – metodologie didattiche e strumenti per insegnare con la realtà aumentata 294

8.4.3 Terzo Modulo – Dalla teoria alla pratica: progettare lezioni innovative con la realtà aumentata 295

8.5 Analisi dei risultati del questionario AR-TECH *297*

8.5.1 Descrizione dello strumento 298

8.5.2 Campione 298
8.5.3 Metodologia 299
8.6 Risultati *299*
8.7 Impatto del percorso formativo: analisi pre-post *305*
8.7.1 Analisi descrittive 306
8.7.2 Analisi Inferenziale 308
8.7.3 Prospettive, sfide e opportunità percepite nell'integrazione dell'AR 311
8.8 Analisi esplorative aggiuntive *318*
8.8.1 Regressioni lineari: DigCompEdu come predittore delle scale ARAAS e TARC 318
8.8.2 Analisi delle correlazioni tra le scale ARAAS e TARC 320
8.9 Riflessioni Conclusive *321*
Appendice A – Libri Aumentati 330
APPENDICE B – Strumenti di Rilevazione 344
APPENDICE C – Framework Teach in AR 359

Abstract (italiano)

Nel contesto educativo contemporaneo, attraversato da profonde trasformazioni tecnologiche e metodologiche, la formazione iniziale degli insegnanti è chiamata a rispondere con urgenza alla necessità di integrare consapevolmente le tecnologie emergenti, in particolare la realtà aumentata (AR), nella pratica didattica. Questo lavoro di ricerca si inserisce nel dibattito scientifico internazionale sull'adozione delle tecnologie immersive nei contesti scolastici, con l'obiettivo di elaborare, sperimentare e validare un modello formativo teoricamente fondato e metodologicamente solido, *Teach in AR*, destinato alla formazione iniziale dei futuri insegnanti di scuola primaria. Muovendo da una riflessione epistemologica sul valore didattico dell'AR come tecnologia trasformativa e accessibile, capace di arricchire l'ambiente reale con elementi digitali sovrapposti, il lavoro propone un quadro teorico che mette in relazione i concetti di *embodied cognition*, apprendimento situato, esperienziale e significativo per delineare un approccio formativo che superi la logica strumentale dell'innovazione tecnologica e promuova un uso critico e intenzionale dell'AR.

La ricerca si fonda su un disegno metodologico misto, di tipo quasi-sperimentale, articolato in più fasi e guidato da quattro nuclei concettuali: indagare le percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti verso l'AR; valutare l'impatto della formazione universitaria sullo sviluppo delle competenze necessarie per integrare efficacemente questa tecnologia nella scuola primaria; identificare le strategie formative più efficaci; infine, validare l'efficacia del framework *Teach in AR* nella promozione di una professionalità digitale, progettuale e riflessiva. La prima fase del lavoro ha previsto una revisione sistematica della letteratura scientifica internazionale secondo il protocollo PRISMA, con l'obiettivo di restituire un quadro aggiornato delle pratiche, delle criticità e degli esiti dei programmi di formazione all'uso dell'AR destinati agli insegnanti, sia in formazione iniziale che in servizio. La revisione ha evidenziato la carenza di modelli integrati e replicabili orientati allo sviluppo di competenze tecno-didattiche, nonché una frammentazione dei percorsi formativi, frequentemente limitati all'acquisizione di competenze tecniche o a esperienze isolate.

A partire da queste evidenze, la ricerca si è sviluppata attraverso una serie di studi empirici esplorativi, condotti in ambito universitario, che hanno coinvolto studenti iscritti al corso di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo.

L'analisi qualitativa e quantitativa dei dati, raccolti mediante questionari validati, focus group e osservazioni partecipate, ha permesso di rilevare atteggiamenti generalmente positivi verso l'AR, accompagnati tuttavia da una bassa percezione di competenza progettuale e da un'incertezza diffusa rispetto all'integrazione didattica della tecnologia. Queste indagini preliminari hanno fornito le basi per la costruzione e la validazione dello strumento *AR-TECH*, un questionario multidimensionale fondato su due

scale preesistenti – ARAAS e TARC – e ampliato con nuove sezioni capaci di rilevare in maniera articolata le percezioni, le attitudini, le competenze e le criticità percepite dai futuri insegnanti nell'uso dell'AR. Il processo di validazione psicometrica, condotto su un campione di 700 studenti e articolato in analisi fattoriale esplorativa e confermativa, ha restituito un modello teoricamente coerente e statisticamente robusto, articolato in sette dimensioni principali, con elevati indici di affidabilità e buona adeguatezza del modello.

Su queste basi è stato progettato e implementato il framework *Teach in AR*, ispirato al modello TPACK e al framework TARC e progettato secondo una logica di Instructional Design, riconducibile al modello ADDIE. Il framework è articolato in quattro moduli progressivi, ciascuno volto a sviluppare un diverso ambito di competenza: alfabetizzazione critica alla realtà aumentata, progettazione didattica con metodologie attive, creazione collaborativa di contenuti digitali e riflessione critica tramite *peer assessment* e valutazione formativa. L'intervento formativo è stato sperimentato in due contesti: un laboratorio trasversale di *Tecnologie Didattiche* e un laboratorio disciplinare per l'insegnamento della geometria, coinvolgendo complessivamente 700 futuri insegnanti. I risultati emersi dalle analisi pre-post, basate sul questionario AR-TECH, hanno evidenziato un miglioramento significativo in tutte le dimensioni esplorate, in particolare nelle scale relative alla soddisfazione, alla fiducia nell'uso dell'AR, alla competenza progettuale e all'intenzionalità didattica. L'esperienza è stata ulteriormente arricchita dalla produzione di artefatti digitali autentici – libri illustrati e aumentati – che hanno rappresentato una sintesi concreta delle competenze acquisite, nonché una dimostrazione della trasferibilità del modello a contesti scolastici reali.

Nel complesso, i dati raccolti confermano che l'integrazione dell'AR nella formazione iniziale degli insegnanti può contribuire in maniera significativa allo sviluppo di una professionalità consapevole, capace di coniugare innovazione tecnologica e progettualità educativa. Il framework *Teach in AR*, risultato del percorso teorico e sperimentale qui descritto, si configura come una proposta replicabile e adattabile, in grado di guidare la trasformazione della pratica didattica verso modelli più interattivi, inclusivi e motivanti, rispondendo concretamente alle sfide poste dalla scuola del futuro. La tesi intende, dunque, offrire un contributo originale alla riflessione didattica e metodologica sull'impiego della realtà aumentata nei contesti educativi, fornendo strumenti teorici, empirici e operativi utili alla comunità scientifica e alla formazione degli insegnanti.

Abstract (english)

Today, the educational landscape is deeply marked by several technological and methodological transformations. In this perspective, initial teacher training is urgently called upon to address the need for the informed integration of emerging technologies, particularly Augmented Reality (AR), into teaching practices. This research contributes to the international scholarly debate on the adoption of immersive technologies in school contexts, with the aim of developing, testing and validating a theoretically grounded and methodologically sound training model training, *Teach in AR*, designed for the initial teacher training courses.

Starting from an epistemological reflection on the pedagogical value of AR as a transformative and accessible technology—capable of enriching real environments with overlaid digital elements- this study proposes a theoretical framework linking concepts such as embodied cognition, situated learning, experiential learning, and meaningful learning. The biggest aim is to outline a training approach that goes beyond a merely instrumental view of technological innovation and promotes a critical and intentional use of AR.

The research is based on a mixed-method, quasi-experimental design, structured in multiple phases and guided by four key questions: investigating pre-service teachers' perceptions and attitudes toward AR; assessing the impact of university-based training on the development of competencies necessary for effective integration of AR in primary education; identifying the most effective training strategies; and validating the effectiveness of the *Teach in AR* framework in fostering a reflective, digitally competent, and design-oriented professional identity.

The first phase involved a systematic review of international scientific literature, conducted following the PRISMA model, to provide an updated overview of practices, challenges and outcomes of AR training programs for both pre-service and in-service teachers. The review highlighted a lack of integrated, replicable models aimed at developing techno-pedagogical skills, as well as a fragmented training landscape often limited to technical skill acquisition or isolated experiences.

Building on this evidence, the research progressed through a series of exploratory empirical studies conducted within the university setting, involving students enrolled in the Integrated Master's Degree in Primary Education at the University of Palermo. The qualitative and quantitative analysis of data—collected through validated questionnaires, focus groups, and participant observations—revealed generally positive attitudes toward AR. However, these were accompanied by a low perception of design competence and widespread uncertainty regarding the didactic integration of the technology.

These preliminary investigations laid the groundwork for the development and validation of the AR-TECH instrument: a multidimensional questionnaire based on two existing scales—ARAAS and

TARC—augmented with new sections to comprehensively capture pre-service teachers' perceptions, attitudes, competencies, and perceived challenges related to AR use. Psychometric validation, conducted on a sample of 700 students through exploratory and confirmatory factor analysis, yielded a theoretically consistent and statistically robust model structured around seven main dimensions, with high reliability and good model fit.

On this foundation, the *Teach in AR* framework was designed and implemented. It draws on the TPACK model and the TARC framework and was developed following an instructional design approach consistent with the ADDIE model. The framework is structured into four progressive modules, each aimed at developing a specific area of competence: critical literacy in augmented reality, instructional design using active learning methodologies, collaborative creation of digital content, and critical reflection through peer assessment and formative evaluation. The training intervention was piloted in two contexts: a transversal Educational Technologies lab and a disciplinary lab for geometry instruction, involving a total of 700 pre-service teachers.

Pre- and post-intervention analyses, based on the AR-TECH questionnaire, demonstrated significant improvements across all dimensions, particularly in satisfaction, confidence in AR use, design competence, and didactic intentionality. The experience was further enriched by the production of authentic digital artefacts—augmented illustrated books—which served as tangible evidence of the acquired competencies and as proof of the model's transferability to real educational settings.

Overall, the findings confirm that integrating AR into initial teacher education can significantly contribute to the development of a conscious professional identity that bridges technological innovation with pedagogical planning. The *Teach in AR* framework—emerging from the theoretical and empirical pathway described—represents a replicable and adaptable proposal, capable of guiding the transformation of teaching practices toward more interactive, inclusive, and engaging models, thus responding effectively to the challenges of tomorrow's school. This thesis, therefore, aims to offer an original contribution to the pedagogical and methodological discourse on the use of AR in educational contexts, providing theoretical, empirical, and practical tools for the academic training of teachers and the broader scientific community.

Presentazione

Il presente lavoro di ricerca mira ad approfondire le potenzialità della realtà aumentata (*Augmented Reality, AR*) nella formazione iniziale degli insegnanti di scuola primaria, con l'obiettivo di esplorare come questa tecnologia possa essere integrata in modo consapevole, critico e progettuale nella prassi didattica.

A partire da una riflessione teorica sul concetto di tecnologie immersive e sulle implicazioni didattiche legate all'adozione della realtà aumentata, presentate nel primo capitolo, la ricerca si sviluppa lungo un percorso articolato che comprende la rilevazione delle percezioni e delle competenze degli insegnanti in formazione, la validazione di uno strumento di misura e la progettazione e sperimentazione del framework *Teach in AR*, per guidare l'integrazione dell'AR nella pratica educativa, superando un uso strumentale e frammentario della tecnologia, per promuovere lo sviluppo di competenze metodologiche e operative.

Nel quadro delle tecnologie immersive, l'AR si distingue dalla Realtà Virtuale (*Virtual Reality, VR*) per il suo carattere non totalmente immersivo; mentre la VR sostituisce completamente l'ambiente reale con uno completamente simulato, l'AR sovrappone elementi digitali al mondo fisico, potenziandone la percezione e l'interazione senza escludere la realtà circostante. Questa caratteristica rende l'AR particolarmente adatta ai contesti educativi, poiché consente un'integrazione più fluida nei *setting* scolastici, favorendo approcci *blended* e situati per l'apprendimento, con minori vincoli logistici e maggiori opportunità di connessione con il reale.

Nel contesto educativo contemporaneo, attraversato da profondi cambiamenti tecnologici e metodologici, questa ricerca intende rispondere all'esigenza crescente di ripensare la formazione dei futuri insegnanti, non solo in ottica di acquisizione delle competenze tecnologiche, ma anche rispetto a quelle progettuali e didattiche, per fornire loro strumenti adeguati ad affrontare le sfide della scuola digitale. La crescente digitalizzazione della società e la rapida diffusione di tecnologie innovative impongono una riflessione sui modelli formativi, sui nuovi linguaggi della didattica, nonché sul ruolo stesso dell'insegnante. In questo scenario la realtà aumentata si configura come una tecnologia trasformativa, con grandi potenzialità per il settore educativo, in grado di attivare ambienti di apprendimento coinvolgenti, interattivi e sensorialmente stimolanti, che favoriscono a partecipazione attiva degli studenti e la costruzione significativa della conoscenza (La Marca & Leone, 2023).

Tuttavia, nonostante l'interesse crescente e le evidenze positive riportate da numerosi studi (Ibáñez et al., 2020; Lampropoulos & Evangelidis, 2025), l'impiego dell'AR nei contesti scolastici risulta ancora marginale e, spesso, ridotto ad esperienze episodiche e non accompagnate da una cornice metodologica coerente. Una delle criticità maggiormente evidenziate riguarda proprio la mancanza di una formazione specifica degli insegnanti. La letteratura scientifica, infatti, mostra una marcata attenzione sugli effetti

dell'AR sull'apprendimento degli studenti, mentre risulta ancora limitato il focus sulla formazione degli insegnanti, sia in servizio che in formazione iniziale (Garzón et al., 2020; Wang & Li, 2024; Üral et al., 2025; Kim & Curry, 2020). Preparare gli insegnanti del futuro, sulla base dei cambiamenti che stanno interessando il paradigma educativo, significa, inoltre, collegare l'approccio teorico a quello pratico, in continua e in stretta connessione con le esigenze reali del territorio (Hussein, 2025).

In risposta a tali criticità, il presente lavoro intende contribuire al dibattito scientifico sulla formazione degli insegnanti all'uso della realtà aumentata, con particolare attenzione alla formazione iniziale, attraverso un modello formativo teoricamente fondato e replicabile. L'obiettivo è quello di promuovere lo sviluppo di competenze progettuali, didattiche, digitali e riflessive. L'ambito di indagine è stato circoscritto al contesto della formazione iniziale per garantire un adeguato livello di rigorosità metodologica e analitica.

Al fine di progettare un adeguato percorso formativo, lo studio è stato guidato dalle seguenti domande di ricerca:

1. *In che modo i futuri insegnanti percepiscono e valutano l'uso della realtà aumentata in termini di competenze, attitudini, coinvolgimento ed efficacia didattica nei contesti di formazione universitaria?*
2. *In che modo la formazione universitaria può contribuire allo sviluppo di competenze progettuali e didattiche per l'integrazione efficace dell'AR nella scuola primaria?*
3. *Quali approcci metodologici, strategie didattiche e scelte tecnologiche risultano più efficaci per integrare l'uso della realtà aumentata nella formazione iniziale degli insegnanti, promuovendo competenze progettuali e consapevolezza didattica?*
4. *Quali evidenze emergono dalla valutazione dell'efficacia del framework formativo Teach in AR in termini di sviluppo professionale dei futuri insegnanti?*

In tale prospettiva, sono stati definiti i seguenti obiettivi:

- Restituire alla comunità scientifica un quadro analitico e aggiornato delle pratiche, strategie e criticità emergenti nella formazione degli insegnanti all'uso dell'AR, attraverso una revisione sistematica della letteratura scientifica internazionale;
- Individuare le metodologie, gli strumenti, le tecnologie didattiche efficaci emerse dai programmi di formazione alla realtà aumentata rivolti agli insegnanti, finalizzati allo sviluppo di competenze tecniche e didattiche, con particolare attenzione ai temi maggiormente trattati e agli approcci formativi più ricorrenti;
- Indagare le percezioni, le attitudini e le competenze e l'impatto percepito dai futuri insegnanti rispetto all'uso dell'AR, con particolare

attenzione alle dimensioni affettive, cognitive e progettuali, all'interno dei percorsi accademici;

- Progettare, implementare e valutare l'impatto di un intervento formativo, orientato allo sviluppo di competenze didattiche, progettuali e digitali per l'integrazione critica e intenzionale dell'AR nella scuola primaria, attraverso l'impiego di strategie mirate e strumenti di rilevazione validati.

1. Le fasi della ricerca

Lo studio ha adottato un disegno di ricerca misto, basato sull'integrazione di metodologie qualitative e quantitative, con un impianto quasi-sperimentale. Il percorso ha previsto la progettazione, l'implementazione e la valutazione di un intervento formativo in un contesto reale, con raccolta e analisi dei dati pre e post intervento e triangolazione delle fonti.

Il percorso di ricerca è stato articolato nelle seguenti fasi:

- *Prima Fase*. È stata condotta una *systematic review* con l'obiettivo di analizzare criticamente la letteratura scientifica relativa ai programmi di formazione rivolti agli insegnanti, (sia in formazione iniziale che in servizio) sull'uso dell'AR in ambito educativo. Attraverso criteri di esclusione/inclusione e analisi tematiche ricorrenti, la revisione ha restituito un quadro aggiornato delle finalità formative, delle strategie didattiche adottate, delle tecnologie impiegate e delle principali criticità evidenziate, con particolare riferimento alla carenza di un'impostazione didattica integrata e alla frammentazione dei percorsi nei percorsi formativi, ponendo così le basi teoriche per la successiva progettazione del framework;
- S*econda fase*. È stata effettuata un'analisi empirica preliminare basata su casi di studio esplorativi realizzati nel contesto universitario, con lo scopo di osservare sul campo il comportamento, l'atteggiamento e l'interesse degli studenti, futuri insegnanti, nei confronti dell'AR. I dati raccolti mediante questionari, osservazioni partecipate e focus group, hanno fatto emergere elementi utili per comprendere le lacune formative e progettuali, evidenziando i bisogni percepiti dagli studenti, in merito all'integrazione dell'AR;
- T*erza fase*. È stato costruito lo strumento di misura, il questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)* finalizzato a rilevare percezioni, atteggiamenti, soddisfazione, autovalutazione delle competenze progettuali, creative e gestionali, nonché la fiducia percepita e le criticità rilevate dagli insegnanti, in relazione all'impiego della realtà aumentata nei contesti educativi;
- *Quarta fase*. Lo strumento AR-TECH è stato sottoposto ad un processo di validazione attraverso un'analisi fattoriale esplorativa

(EFA), seguita da un'analisi fattoriale confermativa (CFA), al fine di consolidare la struttura teorico-metodologica e garantirne l'affidabilità e la replicabilità in futuri contesti di ricerca;

- Q*uinta fase*. È stato progettato, implementato e valutato il framework formativo *Teach in AR*, un modello strutturato orientato a promuovere lo sviluppo integrato di competenze progettuali, didattiche e digitali nei futuri insegnanti. Il framework è articolato in quattro moduli progressivi: alfabetizzazione critica all'AR, progettazione aumentata, attività laboratoriali guidate, riflessione critica sull'esperienza e valutazione. L'intervento ha coinvolto un campione di 700 studenti iscritti al CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo, suddivisi in due corsi laboratoriali. Le attività previste hanno incluso la somministrazione pre e post del questionario AR-TECH, la produzione di un artefatto digitale in AR e focus group. L'analisi dei dati raccolti ha consentito di valutare l'efficacia del percorso in termini di consapevolezza tecnologica, didattica e progettuale.

1.1 Revisione Sistematica

La prima fase del percorso di ricerca ha previsto una revisione sistematica della letteratura scientifica di riferimento, i cui risultati sono presentati nel Capitolo II. La revisione è stata condotta con l'obiettivo di costruire una solida base teorico-metodologica a supporto della progettazione dell'intervento formativo. La revisione ha permesso di analizzare criticamente i principali contributi scientifici presenti nel panorama internazionale, con particolare attenzione ai programmi di formazione finalizzati allo sviluppo di competenze tecno-didattiche per integrare efficacemente l'AR nei contesti formativi. Attraverso l'analisi degli approcci formativi, dei contenuti e degli strumenti utilizzati, la revisione ha restituito un quadro di modelli esistenti e trarre considerazioni utili per la definizione dei contenuti e delle strategie da implementare nella progettazione del framework.

Questo lavoro ha permesso di selezionare un corpus di studi coerente con le seguenti domande di ricerca:

1. Quali sono gli obiettivi dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata per gli insegnanti?
2. Quali approcci formativi vengono utilizzati per preparare gli insegnanti all'uso della realtà aumentata in campo educativo?
3. Quali tecnologie di realtà aumentata vengono utilizzate nei percorsi formativi rivolti agli insegnanti?
4. Quali *outcomes* emergono in seguito all'adozione di tali programmi formativi?

La revisione ha incluso un totale di 22 contributi, evidenziando una significativa carenza di studi centrati su percorsi strutturati orientati allo sviluppo di competenze progettuali e tecno-pedagogiche e didattiche per l'integrazione dell'AR nella didattica. Al tempo stesso, è emersa una vasta produzione focalizzata sulle percezioni e gli atteggiamenti degli insegnanti – sia in formazione iniziale che in servizio – nei confronti delle tecnologie immersive e della realtà aumentata in particolare (Marín-Marín et al., 2023; Marques & Pombo, 2021; Huang et al., 2019). Diversi studi identificano fattori chiave che influenzano la propensione all'uso dell'AR, come la familiarità con le tecnologie, la motivazione personale e gli atteggiamenti positivi (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022).

La letteratura evidenzia, inoltre, una crescita dell'interesse accademico verso l'integrazione dell'AR nei programmi formativi a partire dal 2021, in concomitanza con l'accelerazione della trasformazione digitale in campo educativo. La maggior parte degli studi esaminati si concentra sulla formazione iniziale degli insegnanti, in particolare nei corsi di laurea in Scienze della Formazione Primaria. Viene segnalata la necessità di percorsi dedicati a insegnanti in servizio, i quali presentano atteggiamenti e bisogni formativi differenti. Come evidenzia Köroğlu (2024), mentre gli insegnanti in formazione tendono a mostrare maggiore apertura verso l'integrazione didattica dell'AR, quelli in servizio ne enfatizzano principalmente l'usabilità e l'aspetto esperienziale.

Dal punto di vista degli approcci, i programmi di formazione analizzati rivelano una duplice attenzione: da un lato, allo sviluppo delle competenze tecniche, dall'altro, alla preparazione didattica per un uso critico e intenzionale della tecnologia in classe (Krug et al., 2023; Garzón et al., 2020). Gli approcci costruttivisti ed esperienziali prevalgono su quelli trasmissivi, con l'obiettivo di stimolare la progettazione autonoma e riflessiva. Tra i modelli teorici che fanno da cornice teorica ai programmi di formazione, i più ricorrenti sono il TPACK (Mishra & Koehler, 2006), il *Learning Technology by Design* (Buchner & Zumbach, 2022) e il framework DiKoLAN (Krug et al., 2023), tutti orientati all'integrazione di teoria, pratica e riflessione critica.

Sotto il profilo tecnologico, le soluzioni *marker-based* risultano le più utilizzate, per via della loro accessibilità e facilità d'uso, mentre le tecnologie avanzate, come i visori AR, sono meno adottate. Al contrario, trovano ampio impiego le piattaforme di authoring e modellazione 3D, come *Cospaces, Unity e ZapWorks*, che favoriscono il passaggio degli insegnanti da utenti passivi a co-progettisti di contenuti educativi.

Rispetto agli esiti formativi, la revisione evidenzia come i programmi di formazione all'AR vanno ben oltre l'acquisizione di competenze tecniche, interessando anche le dimensioni progettuale, motivazionale e riflessiva. In particolare, viene evidenziato il potenziamento del pensiero progettuale e dell'*agency* professionale (Belda-Medina et al., 2022; Kim & Curry, 2020), insieme ad un incremento dell'autoefficacia percepita, della motivazione e

dell'intenzionalità d'uso della tecnologia, aspetti essenziali in un'ottica di adozione sostenibile. Alcuni studi rilevano, inoltre, lo sviluppo della creatività didattica e, seppur in misura minore, del pensiero critico e riflessivo, segnali di una trasformazione più profonda del ruolo dell'insegnante.

Complessivamente, i percorsi di formazione analizzati mostrano un potenziale trasformativo rilevante, in grado di favorire lo sviluppo di un'identità professionale più consapevole, innovativa e pedagogicamente fondata.

1.2 Analisi esplorativa: Casi di Studio

Nel disegno complessivo della ricerca, i casi di studio, descritti nei Capitoli III e IV, hanno svolto un ruolo strategico nella costruzione di un fondamento empirico utile alla progettazione dell'intervento formativo. L'obiettivo è stato quello di approfondire le percezioni e le risposte dei futuri insegnanti rispetto all'utilizzo della realtà aumentata nella didattica. Tali esperienze hanno rappresentato una fase diagnostica importante per rilevare atteggiamenti, comportamenti, bisogni formativi e criticità percepite, costituendo la base su cui costruire l'intervento formativo successivo.

Nel primo caso di studio, *La didattica immersiva*, sono stati coinvolti 160 studenti universitari iscritti ai corsi di Laurea Magistrale in Scienze della Formazione Primaria e in Scienze Pedagogiche (Capitolo III). L'intervento è stato articolato in quattro incontri, durante i quali gli studenti hanno sperimentato ambienti aumentati attraverso l'uso dei visori *Microsoft Hololens* e partecipato a momenti di co-progettazione di ambienti educativi 3D. Per la rilevazione dei dati è stato utilizzato il *Presence Questionnaire* (Robillard et al.,2003), uno strumento validato per misurare la presenza percepita, il coinvolgimento cognitivo ed emotivo, l'agency e la sensazione di realismo durante l'esperienza immersiva. I risultati hanno mostrato un alto livello di presenza e partecipazione attiva, accompagnati da una forte sensazione di controllo e interazione con l'ambiente aumentato. Tuttavia, sono emerse anche difficoltà nella comprensione dell'integrazione didattica dell'AR, evidenziando un bisogno formativo legato alla progettazione consapevole e pedagogicamente fondata dell'uso delle tecnologie immersive (La Marca & Leone, 2023).

Il secondo caso di studio, *Apprendimento con realtà aumentata in università,* ha coinvolto 116 studenti del CdLM in Scienze della Formazione Primaria nell'a.a. 2022/2023 (Capitolo III). L'esperienza è stata progettata per mettere a confronto l'uso di visori e le applicazioni mobili in AR, simulando situazioni didattiche realistiche e accessibili. Anche in questo caso, l'uso del *Presence Questionnaire* (Robillard et al.,2003) ha permesso di rilevare un elevato coinvolgimento e una buona capacità immersiva delle tecnologie utilizzate, seppur con alcune criticità segnalate (es. problemi tecnici, usabilità, stabilità del segnale). Gli studenti hanno riconosciuto il

valore dell'AR nella facilitazione della comprensione di contenuti astratti e nella promozione della motivazione, pur manifestando incertezze rispetto all'applicazione concreta nella pratica didattica (Di Martino & Leone, 2024).

Nel complesso, i primi due casi di studio hanno permesso di raccogliere dati rilevanti sulle dimensioni chiave dell'apprendimento immersivo – come presenza, *agency*, *engagement*, fiducia nell'uso dell'AR e motivazione – e sono emerse alcune lacune. Le evidenze raccolte hanno contribuito a delineare con maggiore precisione le finalità, i contenuti e le strategie didattiche del percorso formativo successivo, confermando la necessità di un accompagnamento che integri riflessione teorica, progettazione attiva e competenze tecnico-didattiche.

Nel Capitolo IV sono presentati tre casi di studio esplorativi, che hanno assunto un valore strategico nel percorso di ricerca, fungendo da passaggio intermedio ulteriore tra la fase teorica di revisione e la progettazione dell'intervento formativo. Questi studi hanno avuto l'obiettivo comune di indagare percezioni, atteggiamenti, aspettative e bisogni formativi di studenti universitari, futuri insegnanti, rispetto all'impiego dell'AR. Nonostante le differenti configurazioni e finalità, i tre casi sono accomunati dall'impiego dell'ARAAS (*Augmented Reality Applications Attitude Scale*, Hervás-Gómez et al., 2017), strumento validato e ampiamente diffuso per rilevare atteggiamenti verso l'uso dell'AR, adottato in diverse versioni e accompagnato da strumenti integrativi volti a una rilevazione più articolata.

Il primo caso di studio, *Realtà aumentata per l'apprendimento*: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti, ha coinvolto 170 studenti del primo anno, iscritti al CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo e frequentanti l'insegnamento di Didattica Generale. Mediante osservazione diretta, focus group e somministrazione di un questionario, *Augmented Reality Application Attitude Scale* (ARAAS), nella versione adattata di Hervás-Gómez et al. (2017), sono stati raccolti dati utili che hanno mostrato un elevato coinvolgimento emotivo e cognitivo e un forte interesse verso l'utilizzo delle tecnologie immersive e una generale apertura all'integrazione dell'AR nella didattica. Tuttavia, è emersa una fragilità diffusa nella dimensione progettuale: molti studenti hanno manifestato difficoltà nel tradurre l'interesse per la tecnologia in pratiche didattiche concrete, segnalando un bisogno formativo specifico legato all'acquisizione di competenze metodologiche e didattiche per l'integrazione efficace dell'AR (Leone, 2025).

Il secondo caso, *Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEAM*, ha coinvolto un campione di 244 studenti iscritti al primo anno, frequentanti di Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio del CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo. Lo studio esplora l'integrazione dell'AR nella formazione universitaria dei futuri insegnanti, con l'obiettivo di introdurre un approccio

innovativo all'insegnamento della geometria e del potenziale educativo dell'AR nell'ambito STEAM. Anche in questo caso è stata utilizzata la scala ARAAS e condotte osservazioni partecipate. I dati emersi hanno evidenziato un forte entusiasmo nei confronti della tecnologia e un significativo coinvolgimento da parte degli studenti, ma hanno anche mostrato una bassa percezione di competenza didattica e operativa, in particolare tra coloro con minore familiarità tecnologica (La Marca et al., 2025).

Il terzo caso di studio, infine, *Le Tecnologie Immersive come strumento di formazione: la Realtà ` Aumentata per didattica inclusiva*, ha coinvolto 563 corsisti iscritti all'VIII ciclo del Corso di Specializzazione per le Attività di Sostegno (TFA) dell'Università degli Studi di Palermo. La finalità è stata quella di esplorare le percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti di sostegno verso l'integrazione dell'AR come supporto alla didattica inclusiva. Per indagare in modo articolato le percezioni, le conoscenze pregresse, l'intenzionalità d'uso futura e il rapporto percepito tra l'insegnante e la tecnologia innovativa, è stata adottata una tecnologia mista fondata sull'integrazione di strumenti quantitativi e qualitativi, coerenti tra loro e complementari rispetto agli obiettivi della ricerca. Un primo questionario ha rilevato il livello di conoscenza pregressa dell'AR, con riferimento agli aspetti cognitivi, esperienziali e motivazionali. Il secondo strumento, il *Questionario Q-RAD*, ha indagato la percezione dei corsisti rispetto ai benefici dell'AR per l'apprendimento e l'approccio pedagogico-didattico soggiacente. È stato somministrato l'ARAAS, che ha permesso di analizzare le attitudini nei confronti dell'AR, già utilizzata anche negli altri due casi di studio, in modo da favorire un confronto trasversale. Infine, il *Questionario Q-IRA* ha approfondito le implicazioni didattiche e progettuali legate all'uso dell'AR, indagando anche le barriere percepite e il ruolo attivo dell'insegnante nell'adozione di queste tecnologie. La triangolazione dei risultati ha permesso di cogliere in profondità non solo la predisposizione dei partecipanti all'uso dell'AR, ma anche le criticità, i bisogni formativi e le rappresentazioni che ne influenzano l'adozione, offrendo un quadro ricco e utile per la calibrazione del framework didattico sviluppato successivamente (Leone, 2024).

Nel complesso, i tre casi di studio hanno contribuito a delineare con maggiore precisione i bisogni formativi specifici dei futuri insegnanti, confermando l'importanza di un approccio integrato che sappia coniugare competenze tecnologiche, progettuali e didattiche. Le evidenze raccolte hanno avuto un impatto diretto sulla progettazione del framework *Teach in AR,* che ha inteso rispondere ai bisogni emersi, ovvero sviluppare le competenze d'uso dell'AR dei futuri insegnanti, fornire un modello replicabile, promuovere una progettualità consapevole e sviluppare competenze operative all'interno di un percorso formativo coerente e progressivo.

1.3 *Costruzione dello strumento AR-TECH (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)*

In questa fase, descritta nel Capitolo V, sono stati selezionati gli strumenti di misurazione validi e affidabili, al fine di rilevare in modo sistematico le percezioni, le competenze autovalutate e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti in merito all'integrazione della realtà aumentata nella didattica.

Per garantire la validità teorica e la solidità metodologica del nuovo strumento, è stato adottato un approccio basato sull'integrazione di strumenti psicometrici già validati a livello internazionale, opportunamente tradotti, adattati e ampliati per il contesto di riferimento.

La selezione si è basata su un'analisi narrativa della letteratura scientifica, che ha permesso di individuare due strumenti, ritenuti coerenti con le finalità della ricerca:

- *Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS).* La scala è stata originariamente sviluppata da a Küçük, Yilmaz, Baydaÿ e Göktaÿ (2014) e successivamente adatta e validata per il contesto spagnolo da Hervás-Gómez et al. (2017). Lo strumento misura gli atteggiamenti degli insegnanti in riferimento all'uso didattico dell'AR.
- *Teachers's Augmented Reality Competencies (TARC)* di Nikou et al. (2021). La scala è stata sviluppata con l'obiettivo di misurare le competenze professionali degli insegnanti in relazione all'uso dell'AR.

Questa scelta metodologica è stata guidata dalla volontà di superare i limiti riscontrati da altri modelli teorici largamente utilizzati, come il TAM (Davis, 1989), il TPACK (Mishra & Koehler, 2006) o l'IMMS (Keller, 2009) che, pur offrendo importanti contributi, risultano focalizzati su singole dimensioni (es. motivazione, accettazione, competenza tecnica) e non sono risultati adeguati a cogliere la complessità dimensionale necessaria per l'adozione dell'AR.

Il questionario AR-TECH *(Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)* (La Marca & Leone, 2024) è stato concepito come uno strumento unitario, coerente e multidimensionale.

Si compone complessivamente di cinque sezioni, articolate nel seguente modo:

- *Prima sezione*: Dati di contesto e competenze digitali autopercepite. Include informazioni di base (età, genere, anno di corso) e un item sull'autovalutazione della propria competenza digitale, basato sul framework *DigCompEdu* (Redecker, 2017), strutturato su sei livelli di padronanza nell'uso delle tecnologie digitali;
- *Seconda sezione*: Conoscenze pregresse dell'AR. Rileva il grado di familiarità degli studenti con la tecnologia immersiva e l'interesse pregresso verso l'integrazione dell'AR nella didattica. Questa sezione comprende sia item a risposta chiusa, che domande aperte;

- *Terza sezione*: Scala ARAAS. Include 23 item, valutati su una scala Likert a cinque punti (da 1= Fortemente in disaccordo a 5= Fortemente d'accordo), strutturati in tre dimensioni principali: *Rilevanza* (9 item), che misura la percezione di utilità e il valore didattico percepito dell'AR; *Soddisfazione* (9 item), che valuta il grado di coinvolgimento e di soddisfazione legato all'uso dell'AR; *Affidabilità* (5 item), che rileva la fiducia nelle potenzialità dell'AR nel migliorare l'insegnamento e nel promuovere abilità trasversali;
- *Quarta sezione*: Scala TARC. La struttura del questionario prevede 15 item valutati su una scala Likert a cinque punti (da 1= Fortemente in disaccordo a 5= Fortemente d'accordo), strutturati in quattro dimensioni: *Atteggiamenti* (4 item), che misura la predisposizione positiva verso l'uso dell'AR a scuola; *Creazione* (2 item), che valuta l'autopercezione rispetto alle proprie competenze di progettazione e sviluppo di esperienze educative in AR; *Uso* (3 item), che indaga la capacità di impiegare strumenti AR nella prassi didattica; *Gestione* (5 item), che misura la capacità di ricercare, organizzare, valutare le risorse in AR, seguendo i principi etici e di sicurezza.
- *Quinta sezione*: Percezioni e sfide nell'uso dell'AR. Include domande sia aperte che chiuse, tese a rilevare le percezioni rispetto ai vantaggi e alle criticità legati all'integrazione dell'AR in classe; la disponibilità all'adozione futura dell'AR dopo la fase di sperimentazione; le competenze ritenute necessarie per poter integrare efficacemente l'AR; eventuali dubbi sull'integrazione dell'AR in aula e l'interesse a partecipare a comunità di pratica.

La fase di costruzione si è conclusa con la definizione di uno strumento articolato, coerente e teoricamente fondato, in grado di rilevare in modo integrato le dimensioni cognitive, progettuali, attitudinali e riflessive dei futuri insegnanti rispetto all'impiego della realtà aumentata in ambito educativo.

1.4 Validazione dello strumento AR-TECH

La fase di validazione del questionario AR-TECH (Cap. V) ha rappresentato un passaggio cruciale del percorso di ricerca, volto a garantire la solidità teorico-metodologica dello strumento. Il processo si è sviluppato secondo un impianto metodologico rigoroso, articolato in più fasi e supportato dall'applicazione di analisi statistiche finalizzate a verificare l'affidabilità e la validità del costrutto sottostante. In particolare, l'analisi ha interessato la terza e la quarta sezione, considerate il nucleo psicometrico dello strumento.

Nella prima fase del processo, lo strumento è stato somministrato ad un gruppo pilota composto da 87 studenti (92 % femmine e 7% maschi, con un'età media di 20.04 anni) frequentanti il CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria in Scienze della Formazione Primaria (Unipa). Tale fase ha consentito di verificare la chiarezza linguistica, la coerenza semantica e la robustezza dello strumento, attraverso il calcolo dell'Alfa di

Cronbach, dell'Omega di McDonald e delle correlazioni item-scala. I risultati hanno evidenziato un'elevata coerenza interna (α = 0.947; ω = 0.952), confermando la qualità psicometrica preliminare dello strumento.

Il confronto con gli studi originali, da cui sono state tradotte e adattate le scale impiegate, ha fatto emergere sia punti di convergenza che alcune differenze. Relativamente alla scala ARAAS, i risultati del campione italiano mostrano una tendenza in linea con quanto emerso nello studio di Hervás-Gómez et al. (2017), confermando un atteggiamento generalmente favorevole all'adozione della realtà aumentata in ambito didattico, nelle tre dimensioni indagate. Tuttavia, le medie riscontrate risultano in alcuni casi lievemente inferiori rispetto a quelle del contesto spagnolo, probabilmente a causa di una minore esposizione pregressa alla tecnologia AR da parte degli studenti italiani. Per quanto concerne la scala TARC proposta da Nikou et al. (2021), i punteggi suggeriscono un'autovalutazione più contenuta in riferimento alle dimensioni legate alla progettazione e alla creazione di contenuti in AR. Complessivamente, i risultati ottenuti confermano la validità delle scale originarie nel nuovo contesto linguistico e culturale, giustificandone l'integrazione nella versione AR-TECH.

Successivamente, è stata avviata la seconda fase del processo di validazione attraverso la somministrazione del questionario ad un campione più ampio (n = 700), composto da futuri insegnanti. Il campione è stato suddiviso mediante procedura di *split-sample*, in due sottogruppi casuali: il primo (n=300) destinato all'analisi fattoriale esplorativa (EFA), il secondo (n=400) per l'analisi fattoriale confermativa (CFA). Infine, è stata condotta una CFA sull'intero campione (n=700). Questo disegno metodologico ha permesso di mantenere l'indipendenza tra le due fasi, garantendo robustezza alla procedura di validazione incrociata.

I risultati emersi dalla seconda somministrazione del questionario AR-TECH confermano la solidità e l'affidabilità dello strumento nella maggior parte delle dimensioni analizzate. Gli indici di coerenza interna (Alfa e Omega) presentano valori elevati per le dimensioni Atteggiamenti, Soddisfazione, Utilizzo e Affidabilità, attestando una buona tenuta psicometrica. Un'eccezione è rappresentata dalla dimensione Creazione, che ha evidenziato una coerenza interna più debole, probabilmente influenzata dall'eterogeneità del campione e dalla natura non omogenea degli item. Tali risultati hanno suggerito la necessità di un'analisi fattoriale esplorativa per approfondire la struttura latente dello strumento e rafforzarne ulteriormente la validità.

In fase di EFA, è stata verificata l'adeguatezza del campione attraverso l'indice *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO = 0.948), ritenuto eccellente, e il test di sfericità di Bartlett ($\chi^2 = 7383$, $gdl = 630$, $p < .001$), che ha confermato la fattorizzabilità della matrice. L'analisi è stata condotta utilizzando una rotazione obliqua di tipo *Oblimin*, adatta a fattori correlati. Nonostante lo scree plot suggerisse una soluzione sintetica a tre fattori, l'analisi ha restituito una configurazione empiricamente più articolata a cinque fattori,

coerente con i riferimenti teorici. L'adattamento del modello è stato sostenuto da indici di bontà del fit accettabili (*RMSEA* = 0.0634; *TLI* = 0.886) che, pur non rientrando nella soglia di eccellenza, indicano una struttura fattoriale sufficientemente coerente. Tuttavia, la configurazione emersa non risulta perfettamente sovrapponibile al modello originario. Alcune dimensioni (*Atteggiamenti*, *Utilizzo* e *Creazione*) hanno mostrato una tendenza all'aggregazione, suggerendo che il campione percepisca tali competenze in maniera integrata, piuttosto che come domini distinti.

Per l'analisi fattoriale confermativa (CFA), condotta sul secondo sottocampione (n = 400), è stata testata la struttura teorica a sette fattori, mantenendo l'aderenza concettuale all'impianto originario. Dopo una prima stima, è stato escluso un item (C3) per carichi fattoriali inferiori a 0.30. I principali indici di adattamento del modello (χ^2 = 1611, *gdl* = 573, $p < .001$; *CFI* = 0.886, *TLI* = 0.875, *SRMR* = 0.0738, *RMSEA* = 0.0684) hanno indicato un buon livello di adeguatezza del modello ai dati empirici, seppure con margini di miglioramento. Le covarianze tra i fattori, tutte statisticamente significative, hanno mostrato forti relazioni tra alcune dimensioni (in particolare i fattori 5, 6 e 7), suggerendo una potenziale sovrapposizione concettuale in alcuni ambiti.

Infine, per consolidare i risultati, è stata condotta una CFA estesa sull'intero campione (n = 700), utilizzando la versione ristrutturata dello strumento composta da 35 item. In questa fase, il modello ha restituito indici superiori ai criteri minimi suggeriti in letteratura (*CFI* = 0.922, *TLI* = 0.911, *SRMR* = 0.0628, *RMSEA* = 0.0634, *IC* 90%: 0.0598–0.0671), confermando un buon livello di adattamento e una solida coerenza tra struttura teorica e dati osservati. Le covarianze tra i fattori sono risultate ancora una volta tutte significative, rafforzando la stabilità della struttura latente a sette dimensioni.

In conclusione, il processo di validazione ha restituito uno strumento affidabile, coerente con i modelli teorici di riferimento e metodologicamente solido. Pur riconoscendo il valore descrittivo del modello semplificato a tre fattori, emerso in fase EFA, si è scelto di validare e mantenere la configurazione originaria a sette fattori, più aderente agli obiettivi della ricerca.

Il questionario AR-TECH si configura, pertanto, come uno strumento teoricamente fondato e statisticamente robusto per la rilevazione delle percezioni, delle competenze e delle attitudini dei futuri insegnanti nei confronti della realtà aumentata in ambito educativo.

La versione finale dello strumento include 35 item di natura psicometrica, derivanti dall'integrazione e dall'adattamento delle scale ARAAS e TARC, distribuiti nelle sette dimensioni teoriche considerate. A questi si affiancano ulteriori item di contesto e domande esplorative, finalizzati a rilevare il livello di conoscenza della realtà aumentata, le esperienze pregresse e le percezioni dei partecipanti rispetto alle

opportunità e alle criticità legate all'integrazione dell'AR nella pratica didattica.

1.5 Progettazione, implementazione e valutazione del framework Teach in AR

La quinta fase ha previsto la progettazione e la sperimentazione dell'intervento formativo *Teach in AR*, strutturato a partire dalle evidenze teoriche e dai bisogni formativi emersi nelle fasi precedenti (Capitolo VI).

Il percorso, rivolto a 700 futuri insegnanti iscritti al CdLM 85bis in Scienze della Formazione Primaria (a.a. 2024/2025) dell'Università degli Studi di Palermo, è stato strutturato con l'obiettivo di promuovere l'integrazione consapevole della realtà aumentata nei contesti educativi.

Superando un approccio strumentale o episodico all'uso della tecnologia, il framework è finalizzato a sviluppare nei docenti in formazione una competenza professionale articolata, fondata sulla capacità di integrare conoscenze didattiche, digitali e operative in modo critico e riflessivo.

Il framework *Teach in AR* è stato progettato seguendo il modello ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*), che ha rappresentato l'impianto di riferimento per tutte le fasi del percorso. In parallelo, la struttura teorica del framework ha integrato i principi del modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) (Mishra & Koehler, 2006) con quelli del modello TARC (*Teachers' Augmented Reality Competence*) (Nikou et al., 2021), con l'obiettivo di fornire una base concettuale per lo sviluppo delle competenze necessarie per l'integrazione dell'AR nella pratica didattica.

Il percorso formativo è stato articolato in quattro moduli progressivi e integrati:

1. *Alfabetizzazione critica all'AR*, con introduzione ai principali concetti teorici, potenzialità educative e best practices.
2. *Approcci pedagogici per la progettazione in AR*, incentrato sulle metodologie didattiche attive e cooperative e sulla familiarizzazione con strumenti AR.
3. *Progettazione e creazione di materiali didattici aumentati*, con attività laboratoriali in piccoli gruppi.
4. *Valutazione e riflessione critica sull'esperienza formativa*, attraverso *peer-assessment*, rubriche validate e focus group.

Nel percorso sono stati integrati alcuni strumenti tecnologici, tra cui software per la modellazione tridimensionale e applicazioni in AR fruibili tramite dispositivi mobili, con un'attenzione all'accessibilità e all'usabilità, al fine di garantire la replicabilità delle esperienze anche nei contesti scolastici ordinari.

Elemento distintivo della formazione è stata la realizzazione di un artefatto digitale autentico, ovvero un libro illustrato e aumentato, destinato

ad alunni di scuola primaria. Questo prodotto ha rappresentato una sintesi perfetta e significativa delle competenze acquisite dai futuri insegnanti.

Il libro utilizza il *Digital Storytelling*, come strategia narrativa e didattica, coerente con i bisogni cognitivi ed emotivi degli alunni di una scuola primaria. Attraverso la narrazione visiva e interattiva, i futuri insegnanti hanno strutturato percorsi di apprendimento significativi, per facilitare l'acquisizione di concetti teorici complessi o astratti. L'integrazione della realtà aumentata di tipo *marker-based* ha arricchito le pagine del libro illustrato con elementi tridimensionali aumentati e coinvolgenti, in unione con ulteriori attività didattiche progettate attraverso l'uso di piattaforme digitali e interattive, rendendo l'artefatto finale un esempio di progettazione didattica complessa, coerente e replicabile.

L'intervento formativo è stato implementato in due distinti contesti:

- *Caso 1*: Formazione all'uso dell'AR per la scuola primaria (400 studenti, per un totale di 28h, frequentanti l'insegnamento Laboratorio di Tecnologie Didattiche) (Cap. VII). In questo primo caso, il framework ha assunto una declinazione generica e trasversale, orientata a promuovere l'alfabetizzazione all'uso dell'AR nella didattica della scuola primaria;
- *Caso 2*: Formazione all'uso dell'AR per l'insegnamento-apprendimento della geometria nella scuola primaria (300 studenti, per un totale di 16h, frequentanti l'insegnamento Laboratorio di Didattica della Matematica) (Cap. VIII). In questo secondo caso, invece, il framework è stato specificatamente adattato all'insegnamento e all'apprendimento della disciplina in oggetto.
-

Questa doppia implementazione ha consentito di validare la flessibilità del framework con due tipologie di formazione, una di tipo interdisciplinare e l'altra collegata ad una disciplina nello specifico, mostrando come la struttura del modello sia declinabile, pur mantenendo una coerenza metodologica e didattica.

L'intervento ha guidato i futuri insegnanti attraverso un processo che, partendo dalla comprensione teorica della realtà aumentata, giunge sino alla sua applicazione pratica nella progettazione di attività didattiche. Il framework integra una progettazione didattica in cui l'AR non è un elemento accessorio, ma uno strumento didattico atto a potenziare l'interazione, la motivazione e la partecipazione degli studenti, nonché la comprensione di concetti teorici. Il percorso è stato basato su una pedagogia orientata all'azione, finalizzata a sviluppare nei futuri insegnanti una piena consapevolezza approfondita sull'uso della realtà aumentata.

I risultati emersi da entrambe le sperimentazioni (Capp. VII e VIII), evidenziano una crescita significativa nelle dimensioni esplorate mediante il questionario AR-TECH.

Nel dettaglio, per quanto riguarda l'intervento rivolto ai futuri insegnanti frequentanti il *Laboratorio di Tecnologie Didattiche* (Cap. VII), l'intervento ha promosso un'evoluzione trasversale delle competenze dei partecipanti, evidenziando un miglioramento generalizzato in tutte le sette dimensioni teoriche del modello, con incrementi statisticamente significativi nei punteggi pre-post su scale quali Soddisfazione, Utilizzo, Atteggiamenti e Affidabilità. In particolare, i futuri insegnanti hanno mostrato una maggiore familiarità con le applicazioni AR, una più marcata propensione all'innovazione didattica, e una percezione più consapevole del valore educativo della tecnologia.

Nel secondo caso, riferito ai futuri insegnanti frequentanti il *Laboratorio di Didattica della Matematica* (Cap. VIII), con una declinazione del framework per l'ambito disciplinare dell'insegnamento della geometria, è stato possibile osservare un rafforzamento marcato delle competenze progettuali e contenutistiche. Le analisi, anche in questo secondo caso, hanno evidenziato un'evoluzione nelle percezioni degli studenti che hanno iniziato a considerare l'uso della realtà aumentata non più soltanto come un supporto strumentale, ma come una risorsa metodologicamente fondata e coerente con le esigenze cognitive degli alunni.

In entrambi i contesti, gli artefatti digitali prodotti e le riflessioni emerse dai focus group hanno fornito ulteriori conferme circa l'impatto trasformativo del percorso, contribuendo a validare l'efficacia complessiva del framework *Teach in AR*. In particolare, il modello ha dimostrato di essere flessibile e replicabile, capace di adattarsi sia a percorsi interdisciplinari sia a esperienze didattiche con un focus disciplinare specifico, pur mantenendo una solida coerenza metodologica e didattica.

Nel complesso, i risultati delle due sperimentazioni suggeriscono che l'intervento Teach in AR non solo è efficace nel promuovere lo sviluppo di competenze integrate – didattiche, progettuali e digitali – nei futuri insegnanti, ma offre anche una base concreta per futuri percorsi formativi orientati all'uso consapevole delle tecnologie emergenti nell'educazione.

Introduction

This research aims to explore the potential of Augmented Reality (AR) in the initial training of primary school teachers, to investigate how this technology can be integrated consciously, critically, and intentionally into teaching practices.

Starting from a theoretical reflection on immersive technologies and the educational implications associated with the adoption of augmented reality—discussed in Chapter I—the research unfolds through a structured process that includes surveying the perceptions and competencies of preservice teachers, validating a measurement instrument, and designing and testing the "Teach in AR" framework. This framework aims to guide the integration of AR into educational practice, moving beyond a merely instrumental or fragmented use of technology to promote the development of both methodological and operational competencies.

Among the several immersive technologies, AR stands out from Virtual Reality (VR) due to its non-fully immersive nature. While VR completely replaces the real environment with a simulated one, AR overlays digital elements onto the physical world, enhancing perception and interaction without excluding the surrounding reality. This feature makes AR particularly suitable for educational contexts, as it allows for smoother integration into school settings, supporting blended and situated learning approaches with fewer logistical constraints and greater opportunities for real-world connection.

In today's educational landscape, marked by deep technological and methodological changes, this research answers to the growing need to rethink teacher education—not only in terms of acquiring technological skills but also in developing planning and didactic competencies—to provide future educators with adequate tools to face the challenges of the digital school. The increasing digitalization of society and the rapid spread of innovative technologies necessitate reflection on educational models, the new languages of teaching, and the evolving role of the teacher. In this context, augmented reality emerges as a transformative technology with strong potential for education, capable of activating engaging, interactive, and sensorially stimulating learning environments that foster students' active participation and meaningful knowledge construction (La Marca & Leone, 2023).

However, despite growing interest and positive evidence from numerous studies (Ibáñez et al., 2020; Lampropoulos & Evangelidis, 2025), the use of AR in school settings remains marginal and often limited to episodic experiences lacking a coherent methodological framework. One of the main issues highlighted is the lack of specific teacher training. In fact, the scientific literature places considerable focus on the effects of AR on student learning, while much less attention has been given to teacher training, both

in-service and preservice (Garzón et al., 2020; Wang & Li, 2024; Üral et al., 2025; Kim & Curry, 2020). Preparing future teachers considering the ongoing transformation of the educational paradigm also means connecting theoretical approaches to practical experiences that are continuously and closely linked to the real needs of the field (Hussein, 2025).

In response to these critical issues, the present work seeks to contribute to the scientific debate on teacher training in the use of augmented reality—particularly in preservice education—through a theoretically grounded and replicable training model. The goal is to promote the development of planning, didactic, digital, and reflective competencies. The scope of investigation was limited to the context of initial teacher education to ensure a high level of methodological and analytical rigour.

To design an appropriate training pathway, the study was guided by the following research questions:

1. *How do preservice teachers perceive and evaluate the use of augmented reality in terms of competencies, attitudes, engagement, and didactic effectiveness in university education contexts?*

2. *How can university training contribute to developing planning and didactic competencies for the effective integration of AR in primary school?*

3. *Which methodological approaches, teaching strategies, and technological choices are most effective for integrating AR use into initial teacher education, promoting both planning skills and didactic awareness?*

4. *What evidence emerges from evaluating the effectiveness of the Teach in AR training framework in terms of the professional development of future teachers?*

In this perspective, the following objectives were defined:

- To provide the scientific community with an analytical and up-to-date overview of emerging practices, strategies, and challenges in teacher training on the use of AR, through a systematic review of international scientific literature;

- To identify the methodologies, tools, and effective educational technologies emerging from teacher training programs in AR, aimed at developing technical and teaching skills, with particular attention to the most commonly addressed topics and recurring training approaches;

- To investigate perceptions, attitudes, competencies, and the perceived impact of AR among preservice teachers, with a specific focus on affective, cognitive, and planning dimensions within academic courses;

- To design, implement, and evaluate the impact of a training intervention aimed at developing didactic, planning, and digital skills for the critical and intentional integration of AR in primary education, through targeted strategies and validated measurement tools.

1. Research Phases

This study adopted a mixed-method research design, based on the integration of qualitative and quantitative methodologies, within a quasi-experimental framework. The process involved the design, implementation, and evaluation of a training intervention in a real-world setting, with data collection and analysis conducted both before and after the intervention, along with triangulation of sources.

The research process was structured in the following phases:

- *First Phase*. A systematic review was conducted with the aim of critically analyzing the scientific literature concerning teacher training programs—both initial and in-service—related to the use of AR in educational settings. Using inclusion/exclusion criteria and analysis of recurring themes, the review provided an updated overview of training objectives, adopted teaching strategies, employed technologies, and key identified issues, particularly highlighting the lack of integrated instructional design and the fragmentation of training paths. This laid the theoretical groundwork for the subsequent framework design;
- *Second Phase*. A preliminary empirical analysis was carried out, based on exploratory case studies conducted in a university context, to observe the behaviors, attitudes, and interests of students—future teachers—toward AR. Data collected through questionnaires, participant observations, and focus groups revealed useful insights for understanding educational and design gaps, highlighting perceived needs among students regarding AR integration;
- *Third Phase*. A measurement tool was developed: the AR-TECH questionnaire (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School), aimed at assessing perceptions, attitudes, satisfaction, self-evaluation of design, creative and management competences, as well as perceived confidence and challenges encountered by teachers when using augmented reality in educational contexts;

- *Fourth Phase*. The AR-TECH tool underwent a validation process through an Exploratory Factor Analysis (EFA), followed by a Confirmatory Factor Analysis (CFA), to consolidate its theoretical-methodological structure and ensure reliability and replicability in future research contexts;
- *Fifth Phase*. The "Teach in AR" training framework was designed, implemented, and evaluated—a structured model aimed at promoting the integrated development of design, didactic, and digital competences among future teachers. The framework consists of four progressive modules: critical literacy in AR, augmented instructional design, guided laboratory activities, critical reflection on the experience, and evaluation. The intervention involved a sample of 700 students enrolled in the Single-Cycle Master's Degree Program in Primary Education at the University of Palermo, distributed across two laboratory courses. Activities included pre- and post-administration of the AR-TECH questionnaire, creation of a digital AR artefact, and focus groups. Data analysis allowed for the evaluation of the program's effectiveness in terms of technological, didactic, and design awareness.

1.1 Systematic Review

The first phase of the research process involved a systematic review of the relevant scientific literature, with results presented in Chapter II. This review aimed to build a relevant theoretical-methodological foundation to support the design of the training intervention. It enabled a critical analysis of key scientific contributions at the international level, with particular focus on training programs aimed at developing techno-didactic competences for effectively integrating AR in educational settings. Through the analysis of training approaches, content, and tools used, the review outlined existing models and provided insights useful for defining content and strategies to be implemented in the framework design.

This work allowed for the selection of a body of studies aligned with the following research questions:

1. What are the objectives of training programs on the use of augmented reality for teachers?
2. What training approaches are used to prepare teachers for the use of augmented reality in education?
3. What augmented reality technologies are used in teacher training programs?
4. What outcomes emerge from the adoption of these training programs?

The review included a total of 22 contributions, highlighting a significant lack of studies focused on structured programs aimed at developing design,

techno-pedagogical, and didactic competences for the integration of AR in teaching. At the same time, there emerged a large body of literature focused on teachers' perceptions and attitudes—both in initial training and in service—towards immersive technologies and augmented reality (Marín-Marín et al., 2023; Marques & Pombo, 2021; Huang et al., 2019). Several studies identified key factors influencing the willingness to use AR, such as familiarity with technology, personal motivation, and positive attitudes (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022).

The literature also shows a growing academic interest in AR integration in training programs starting from 2021, coinciding with the acceleration of digital transformation in education. Most of the reviewed studies focus on the initial training of teachers, particularly in Primary Education degree programs. There is a noted need for targeted programs for in-service teachers, who display different attitudes and training needs. As Köroğlu (2024) points out, while teachers in training tend to be more open to didactic integration of AR, those in service mainly emphasize usability and the experiential aspect.

In terms of approaches, the analyzed training programs reveal a dual focus: on the one hand, developing technical competences; on the other, preparing for didactic use through critical and intentional classroom integration (Krug et al., 2023; Garzón et al., 2020). Constructivist and experiential approaches prevail over transmissive ones, with the aim of fostering autonomous and reflective instructional design. Among the theoretical models underpinning these training programs, the most recurrent are TPACK (Mishra & Koehler, 2006), Learning Technology by Design (Buchner & Zumbach, 2022), and the DiKoLAN framework (Krug et al., 2023), all aimed towards integrating theory, practice, and critical reflection.

From a technological perspective, marker-based solutions are the most widely used due to their accessibility and ease of use, whereas advanced technologies such as AR headsets are less widely adopted. In contrast, authoring platforms and 3D modelling tools such as Cospaces, Unity, and ZapWorks are widely used, supporting teachers in transitioning from passive users to co-designers of educational content.

As for training outcomes, the review shows that AR training programs go well beyond the acquisition of technical skills, also addressing design, motivational, and reflective dimensions. There is evidence of strengthened design thinking and professional agency (Belda-Medina et al., 2022; Kim & Curry, 2020), along with increased perceived self-efficacy, motivation, and intentional use of technology—essential aspects for sustainable adoption. Some studies also report the development of didactic creativity and, to a lesser extent, critical and reflective thinking, signalling a deeper transformation in the teacher's role.

Overall, the analyzed training programs reveal a relevant transformative potential, capable of fostering the development of a more conscious, innovative, and pedagogically grounded professional identity.

1.2 Exploratory Analysis: Case Studies

Within the overall design of the research, the case studies—described in Chapters III and IV—played a strategic role in building an empirical foundation useful for designing the training intervention. The aim was to explore pre-service teachers' perceptions and responses regarding the use of augmented reality (AR) in teaching. These experiences served as an important diagnostic phase for detecting attitudes, behaviors, training needs, and perceived criticalities, forming the basis for the subsequent instructional design.

The first case study, *Immersive Teaching*, involved 160 university students enrolled in the Master's Degree programs in Primary Education and Pedagogical Sciences (Chapter III). The intervention was structured over four sessions, during which students explored augmented environments using Microsoft Hololens headsets and participated in co-designing 3D educational environments. Data collection was carried out using the Presence Questionnaire (Robillard et al., 2003), a validated instrument for measuring perceived presence, cognitive and emotional engagement, agency, and the sense of realism during immersive experiences. Results showed high levels of presence and active participation, accompanied by a strong sense of control and interaction with the augmented environment. However, difficulties also emerged in understanding the didactic integration of AR, highlighting a training need related to the pedagogically grounded and intentional design of immersive technologies (La Marca & Leone, 2023).

The second case study, *Learning with Augmented Reality in Higher Education*, involved 116 students from the Master's Degree in Primary Education during the 2022/2023 academic year (Chapter III). The experience was designed to compare the use of AR headsets and mobile applications, simulating realistic and accessible teaching scenarios. Again, the Presence Questionnaire (Robillard et al., 2003) confirmed high engagement and strong immersive capacity of the technologies used, despite reported issues (e.g., technical problems, usability concerns, signal stability). Students recognized the value of AR in facilitating the understanding of abstract content and enhancing motivation, though they expressed uncertainty about its practical application in educational practice (Di Martino & Leone, 2024).

Overall, these first two case studies gathered relevant data on key dimensions of immersive learning—such as presence, agency, engagement, confidence in AR use, and motivation—while revealing several gaps. The evidence collected helped define the goals, content, and teaching strategies for the upcoming training phase, confirming the need for support that

integrates theoretical reflection, active design, and techno-didactic competencies.

Chapter IV presents three additional exploratory case studies that played a strategic role in the research process, serving as a further intermediate step between the theoretical review and the instructional design. These studies shared the common aim of investigating perceptions, attitudes, expectations, and training needs of university students—future teachers—with respect to the use of AR. Although each case differed in structure and focus, all three employed the ARAAS (Augmented Reality Applications Attitude Scale, Hervás-Gómez et al., 2017), a validated and widely used instrument for measuring attitudes toward AR, used in various versions and supplemented by integrative tools to achieve more detailed insight.

The first of these was *Augmented Reality for Learning: An Exploratory Investigation of Pre-Service Teachers' Perceptions and Attitudes*. This study involved 170 first-year students enrolled in the Single-Cycle Master's Degree in Primary Education at the University of Palermo, attending the General Didactics course. Through direct observation, focus groups, and the administration of the ARAAS questionnaire (adapted from Hervás-Gómez et al., 2017), data revealed high emotional and cognitive engagement, strong interest in immersive technologies, and general openness to AR integration in education. However, a widespread fragility in instructional design emerged: many students struggled to translate their interest in AR into concrete teaching practices, indicating a specific training need for acquiring methodological and pedagogical skills for effective AR integration (Leone, 2025).

The second case, *Hololens in the Classroom: An Immersive Learning Experience for Teaching STEAM Subjects*, involved a sample of 244 first-year students enrolled in the courses "Educational Technology for Primary and Early Childhood Education" and related laboratory sessions. The study explored AR integration in teacher training at the university level, aiming to introduce an innovative approach to teaching geometry and harnessing AR's educational potential in the STEAM domain. The ARAAS scale and participant observation were again employed. Findings showed strong enthusiasm for the technology and significant student engagement, though they also indicated a low perception of didactic and operational competence, especially among those with less technological familiarity (La Marca et al., 2025).

The third case study, *Immersive Technologies as a Training Tool: Augmented Reality for Inclusive Teaching*, involved 563 participants enrolled in the 8th cycle of the Specialization Course for Support Activities (TFA) at the University of Palermo. The aim was to explore the perceptions and attitudes of future special education teachers regarding the integration of AR as a support tool for inclusive education. A mixed-method approach was adopted, combining quantitative and qualitative instruments aligned with the research objectives. The first questionnaire assessed prior

knowledge of AR in cognitive, experiential, and motivational terms. The second, the Q-RAD questionnaire, investigated participants' perceptions of AR benefits for learning and underlying pedagogical-didactic approaches. The ARAAS was administered to evaluate attitudes toward AR—also used in the previous two case studies to enable cross-case comparison. Finally, the Q-IRA questionnaire explored the didactic and design implications of AR use, perceived barriers, and the active role of teachers in adopting these technologies. Overall, the triangulation of tools offered in-depth insights not only into participants' predispositions toward AR use but also their challenges, training needs, and representations that influence its adoption, providing a rich basis for fine-tuning the didactic framework developed later (Leone, 2024).

Taken together, the three case studies contributed to more precisely outlining the specific training needs of future teachers, confirming the importance of an integrated approach that combines technological, design, and pedagogical competences. The evidence gathered directly informed the design of the *Teach in AR* framework, developed to address the identified needs—namely, fostering AR usage competencies among pre-service teachers, offering a replicable model, promoting intentional instructional design, and developing operational skills through a coherent and progressive training pathway.

1.3 Development of the AR-TECH Instrument (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)

This phase, described in Chapter V, focused on selecting valid and reliable measurement instruments to systematically assess the perceptions, self-reported competences, and attitudes of pre-service teachers regarding the integration of augmented reality into educational practice.

To ensure both theoretical validity and methodological soundness, the design of the new instrument followed an approach based on integrating internationally validated psychometric tools, which were translated, adapted, and extended to fit the research context.

Selection was informed by a narrative review of the literature, through which two tools were identified as consistent with the research aims:

- *Augmented Reality Applications Attitude Scale* (ARAAS) – Originally developed by Küçük, Yilmaz, Baydaş, and Göktaş (2014) and later adapted and validated in the Spanish context by Hervás-Gómez et al. (2017). The scale measures teachers' attitudes toward the pedagogical use of AR.
- *Teachers' Augmented Reality Competencies* (TARC) – Developed and validated by Nikou et al. (2021) to assess teachers' professional competencies related to AR integration in education.

This methodological choice was driven by the need to overcome the limitations found in other widely used theoretical models—such as TAM

(Davis, 1989), TPACK (Mishra & Koehler, 2006), or IMMS (Keller, 2009)—which, while offering valuable contributions, tend to focus on isolated dimensions (e.g., motivation, acceptance, technical competence) and were deemed insufficient to capture the complex techno-didactic dynamics involved in AR adoption.

The AR-TECH questionnaire (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School) (La Marca & Leone, 2024) was thus conceived as a unified, coherent, and multidimensional tool.

It consists of five sections, totalling 35 items, structured as follows:

- *Section 1*: Background data and self-perceived digital competence. Includes basic demographic information (age, gender, year of study) and a self-assessment item based on the DigCompEdu framework (European Commission, 2017), which outlines six proficiency levels in the use of digital technologies;
- *Section 2:* Prior knowledge of AR. Assesses students' familiarity with immersive technologies and prior interest in integrating AR into teaching. This section includes both closed-ended items and open-ended questions;
- *Section 3*: ARAAS Scale. Comprises 23 items rated on a five-point Likert scale (1 = Strongly Disagree to 5 = Strongly Agree), organized into three dimensions: *Relevance* (9 items), measuring perceived usefulness and didactic value of AR; *Satisfaction* (9 items), evaluating engagement and satisfaction with AR use; *Reliability* (5 items), capturing trust in AR's potential to enhance teaching and promote transversal skills;
- *Section 4*: TARC Scale. Includes 15 items also rated on a five-point Likert scale, covering four dimensions: *Attitudes* (4 items), measuring positive predisposition toward AR use in schools; *Creation* (2 items), assessing perceived competence in designing and developing educational AR experiences; *Use* (3 items), investigating the ability to implement AR tools in teaching practice; *Management* (5 items), measuring the capacity to search, organize, and evaluate AR resources while adhering to ethical and safety standards;
- *Section 5*: Perceptions and challenges in using AR. Features both open- and closed-ended items aimed at assessing perceptions of benefits and challenges related to classroom integration of AR; willingness to adopt AR in the future; competences deemed necessary for effective integration; possible concerns; and interest in participating in communities of practice.

The construction phase concluded with the definition of a comprehensive, coherent, and theoretically grounded instrument, capable of capturing cognitive, design, attitudinal, and reflective dimensions of pre-service teachers regarding the use of AR in educational contexts.

1.4 Validation of the AR-TECH Instrument

The validation phase of the AR-TECH questionnaire (Chapter V) represented a crucial step in the research process, aimed at ensuring the theoretical and methodological robustness of the instrument. The process followed a rigorous methodological framework, articulated into multiple phases and supported by statistical analyses designed to verify the reliability and validity of the underlying construct. The analysis focused in particular on Sections Three and Four, which considered the psychometric core of the instrument.

In the first phase, the instrument was administered to a pilot group of 87 students (92% female, 7% male; average age: 20.04 years) enrolled in the Single-Cycle Master's Degree in Primary Education at the University of Palermo. This phase made it possible to verify linguistic clarity, semantic consistency, and the internal robustness of the tool through the calculation of Cronbach's Alpha, McDonald's Omega, and item-scale correlations. The results showed a high level of internal consistency ($\alpha = 0.947$; $\omega = 0.952$), confirming the preliminary psychometric quality of the instrument.

Comparison with the original studies from which the scales were translated and adapted revealed both convergence points and some differences. Regarding the ARAAS scale, the results from the Italian sample aligned with those reported by Hervás-Gómez et al. (2017), confirming a generally positive attitude toward the adoption of AR in educational contexts across the three dimensions investigated. However, in some cases, average scores were slightly lower than those observed in the Spanish context, likely due to reduced prior exposure to AR technology among Italian students. Regarding the TARC scale proposed by Nikou et al. (2021), the scores indicated a more modest self-assessment in the dimensions related to design and content creation in AR. Overall, the results supported the validity of the original scales within the new linguistic and cultural context, thus justifying their integration into the AR-TECH version.

Next, the second phase of the validation process involved administering the questionnaire to a larger sample ($n = 700$) of pre-service teachers. The sample was split randomly into two subgroups using a split-sample procedure: the first ($n = 300$) for exploratory factor analysis (EFA), and the second ($n = 400$) for confirmatory factor analysis (CFA). Finally, a CFA was conducted on the entire sample ($n = 700$). This design allowed for independence between the two phases, strengthening the cross-validation process.

Results from the second administration confirmed the instrument's reliability and robustness across most of the analyzed dimensions. Internal consistency indices (Alpha and Omega) showed high values for the dimensions of Attitudes, Satisfaction, Usage, and Reliability, attesting to strong psychometric performance. An exception was the Creation dimension, which exhibited weaker internal consistency, likely influenced by sample heterogeneity and the non-uniform nature of the items. These

results suggested the need for EFA to explore the latent structure of the tool and further reinforce its validity.

In the EFA phase, sample adequacy was confirmed by the Kaiser-Meyer-Olkin index (KMO = 0.948), considered excellent, and Bartlett's test of sphericity ($\chi^2 = 7383$, df = 630, $p < .001$), which confirmed the matrix's factorability. The analysis used an oblique Oblimin rotation, appropriate for correlated factors. Although the scree plot suggested a synthetic three-factor solution, the analysis yielded a more empirically nuanced five-factor configuration aligned with the theoretical references. The model fit was supported by acceptable indices (RMSEA = 0.0634; TLI = 0.886), which, while not optimal, indicated a sufficiently coherent factor structure. However, the emerging configuration was not perfectly aligned with the original model. Some dimensions (Attitudes, Usage, and Creation) showed a tendency toward aggregation, suggesting that participants may perceive these competencies more holistically rather than as distinct domains.

For the confirmatory factor analysis (CFA), conducted on the second subsample (n = 400), a seven-factor theoretical structure was tested, preserving the conceptual alignment with the original design. After the initial estimate, one item (C3) was removed due to factor loadings below 0.30. The primary model fit indices ($\chi^2 = 1611$, df = 573, $p < .001$; CFI = 0.886; TLI = 0.875; SRMR = 0.0738; RMSEA = 0.0684) indicated a good level of model adequacy, albeit with room for improvement. Statistically significant covariances between factors revealed strong relationships among several dimensions (especially factors 5, 6, and 7), suggesting conceptual overlap in some areas.

To consolidate the findings, an extended CFA was conducted on the full sample (n = 700), using the restructured version of the instrument composed of 35 items. In this phase, the model achieved fit indices exceeding the minimum recommended thresholds (CFI = 0.922; TLI = 0.911; SRMR = 0.0628; RMSEA = 0.0634, 90% CI: 0.0598–0.0671), confirming a strong level of fit and consistency between the theoretical structure and observed data. Covariances between factors were again all statistically significant, reinforcing the stability of the seven-dimensional latent structure

In conclusion, the validation process yielded a reliable, theoretically grounded, and methodologically sound instrument. While acknowledging the descriptive value of the simplified three-factor model that emerged during EFA, the original seven-factor configuration was validated and retained, as it better aligned with the research objectives. The AR-TECH questionnaire thus emerges as a statistically robust and theoretically sound tool for assessing pre-service teachers' perceptions, competences, and attitudes toward the use of augmented reality in educational contexts.

1.5 Design, Implementation, and Evaluation of the Teach in AR Framework

The fifth phase involved the design and experimentation of the Teach in AR training intervention, structured on the basis of theoretical evidence and training needs identified in the earlier phases (Chapter VI).

Targeting 700 pre-service teachers enrolled in the Single-Cycle Master's Degree in Primary Education (CdLM 85bis) at the University of Palermo during the 2024/2025 academic year, the program was designed to promote the conscious integration of augmented reality in educational contexts.

Going beyond an instrumental or episodic approach to technology, the framework aimed to cultivate a multifaceted professional competence in teacher trainees—rooted in the ability to integrate pedagogical, digital, and operational knowledge critically and reflectively.

The Teach in AR framework was designed in accordance with the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation), which served as the guiding methodological structure throughout the training process. In parallel, the theoretical structure integrated the principles of the TPACK model (Technological Pedagogical Content Knowledge) (Mishra & Koehler, 2006) with those of the TARC model (Teachers' Augmented Reality Competence) (Nikou et al., 2021), providing a conceptual basis for developing the competencies necessary for the effective integration of AR in teaching practice.

The training course was divided into four progressive and interconnected modules:

- *Critical AR Literacy*: introduction to key theoretical concepts, educational potential, and best practices.
- *Pedagogical Approaches for AR Design*: focusing on active and cooperative methodologies and familiarization with AR tools.
- *Design and Creation of Augmented Educational Materials*: hands-on group-based lab activities.
- *Evaluation and Critical Reflection on the Training Experience*: through peer-assessment, validated rubrics, and focus groups.

Various technological tools were integrated into the training, including 3D modelling software and mobile AR applications, with a strong emphasis on accessibility and usability to ensure the replicability of experiences in standard school settings.

A distinctive element of the training was the creation of an authentic digital artefact—an illustrated and augmented book designed for primary school students. This product represented a meaningful synthesis of the competencies acquired by the pre-service teachers.

The book employed Digital Storytelling as a narrative and didactic strategy, aligning with the cognitive and emotional needs of primary school

pupils. Through visual and interactive storytelling, participants structured meaningful learning pathways aimed at facilitating the acquisition of complex or abstract concepts. Marker-based augmented reality enriched the pages of the illustrated book with engaging 3D elements, complemented by additional educational activities created with digital and interactive platforms—transforming the final artefact into an example of coherent, complex, and replicable instructional design.

The training intervention was implemented in two distinct contexts:

- *Case 1:* Training for AR use in primary school teaching (400 students, 28 hours total, enrolled in the Educational Technology Lab course) (Chapter VII). Here, the framework took on a general and cross-curricular focus, aimed at promoting AR literacy for primary education.
- *Case 2*: Training for AR use in geometry education in primary school (300 students, 16 hours total, enrolled in the Mathematics Didactics Lab course) (Chapter VIII). In this case, the framework was specifically tailored to the teaching and learning of geometry.

This dual implementation enabled validation of the framework's flexibility across two types of training: one interdisciplinary and the other discipline-specific, showing that the model's structure is adaptable while maintaining methodological and didactic consistency.

The intervention guided pre-service teachers through a process that moved from theoretical understanding of augmented reality to its practical application in instructional design. Unlike other training models, this framework integrates instructional design where AR is not a peripheral tool, but a pedagogical instrument aimed at enhancing interaction, motivation, student engagement, and understanding of theoretical concepts. The program was grounded in an action-oriented pedagogy, designed to develop in future teachers a deep and reflective awareness of AR use.

Findings from both implementations (Chapters VII and VIII) revealed significant growth in the dimensions explored via the AR-TECH questionnaire. Specifically, for the cohort enrolled in the Educational Technology Lab (Chapter VII), the intervention fostered a cross-cutting development of participants' competences, with statistically significant pre-post improvements across all seven theoretical dimensions—especially in Satisfaction, Usage, Attitudes, and Reliability. Participants reported increased familiarity with AR applications, stronger inclination toward didactic innovation, and heightened awareness of AR's educational value.

In the second case—students enrolled in the Mathematics Didactics Lab (Chapter VIII), where the framework was adapted to geometry instruction—a marked strengthening of design and content-related competences was observed. Here too, analysis revealed a shift in perception: students began viewing AR not merely as a technical support but as a pedagogically grounded resource aligned with learners' cognitive needs.

In both contexts, the digital artefacts produced and reflections gathered through focus groups further confirmed the transformative impact of the training and contributed to validating the overall effectiveness of the Teach in AR framework. The model proved to be flexible and replicable, capable of adapting to both interdisciplinary and subject-specific educational experiences while maintaining strong methodological and pedagogical coherence.

In summary, the results of both implementations suggest that the Teach in AR intervention is not only effective in fostering the development of integrated pedagogical, design, and digital competences in future teachers but also offers a concrete foundation for future training programs geared toward the conscious adoption of emerging technologies in education.

Pubblicazioni

- Andronico, G., De Franches, G. R., & Leone, A. (2023). The use of TikTok in Initial Teacher Training. *Media Education*, 14(1), 117-130.
- La Marca, A., Leone A., (2023). La didattica immersiva: la nuova frontiera della didattica. *Nuova Secondaria*, 2(41), pp. 210-222.
- Leone A., Andronico G. (2023). I dilemmi digitali come modello di miglioramento dei processi decisionali, in *Sistemi educativi, Orientamento, Lavoro*, Pensa Multimedia, pp. 276-278.
- Di Martino V., Falzone Y., Gulbay E., La Marca A., Leone A., Longo L., Di Carlo D., Martino F. (2023). Innovative Approaches to University Course Design: Leveraging ChatGpt for Enhanced Educational Impact, in Book of Abstract 4th International Conference on Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online, "HELMeTO 2023", *Studium*, pp. 131-132, ISBN: 978-88-99978-64-8.
- Di Martino, V., Falzone, Y., Gulbay, E., La Marca, A., Leone, A., Longo, L., & Di Carlo, D. (2023). Empowering Higher Education with ChatGPT: Innovating University Instructional Design. In *International Conference on Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online* (pp. 398-409). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Falzone, Y., Leone, A. (2023), Cittadinanza digitale: un percorso formativo per studenti universitari, in *Libro degli Abstract, "IX Congresso Nazionale CKBG. Link & Laern. Modelli, pratiche e relazioni onlife*, pp. 61-63.
- La Marca, A., Andronico, G., De Franches, G., & Leone, A. (2024). *La Realtà Aumentata per la trasformazione digitale: nuovi scenari per una didattica innovativa all'università,* in F.L. Orazio Giancola (a cura di), education as commons. Selected paper from AIS Educa- tion international mid-term conference 2023 (pp. 398-410). Roma: Associazione "Per Scuola Democratica".
- Gulbay, E. & Leone, A. (2024). Embodied Learning with Augmented Reality: Future Teachers' Perspectives. *Pedagogia e Vita*, *PEDAGOGIA E VITA, 81(3), 101-120.*
- Di Martino, V., Leone, A. (2024). Apprendimento con realtà aumentata in università: percezioni, sfide e opportunità. In *A cosa serve la ricerca educativa? il dato e il suo valore sociale*. (pp. 242-250). Pensa Multimedia.

- Falzone, Y., Di Carlo, D. R., & Leone, A. (2024). La *Peer Observation* nei percorsi di formazione dei neoassunti. In G. Cappuccio, G. Compagno, R. Lombardo, A. Maggio & E. Mignosi (a cura di), *Mentoring e didattica universitaria* (Vol. II). Palermo: PUP. ISBN 978-88-5509-780-2 / 978-88-5509-783-3.

- Cosenza B., Leone A. (2024). Culture educative a confronto:esplorando le differenze tra Oriente e Occidente attraverso la musica e il suo insegnamento. *PEDAGOGIA E VITA,1* (1/2024), 128-142.

- Mercer, S.O. & Leone, A. (2024). Understanding Teacher Emotions Through Electrodermal Activity in Teaching: A Narrative Review. *QTimes Journal of Education, Technology and Social Studies*. *Q-TIMES WEBMAGAZINE, 16(3), 984-996*.

- Leone, A. (2024). Le tecnologie immersive come strumento di formazione: la realtà aumentata per la pratica didattica in università. In G. Benvenuto, E. Gülbay, A. La Marca, G. Moretti & A. Morini (a cura di), *La ricerca educativa e didattica nelle scuole di dottorato in Italia – 8/2024* (pp. 197–210). Pensa MultiMedia. ISBN 9791255683063.

- Falzone, Y., Leone, A., Pitrella, V., Longo, L., & Di Carlo, D. R. (2024). *Flipped Learning and AI in Initial Teachers Training*, In *Book of Abstract 6th International Conference on Higher Education Learning Methodologies and Technologies Onlin*e, "HELMeTO 2024", Studium, pp. 197-199.

- La Marca, A.; Di Carlo D.R.; Andronico, G.; De Franches G. R., & Leone, A. (2025). Formazione dei neoassunti: la Peer Observation come pratica per il miglioramento della didattica universitaria. In P. A. Lampugnani & F. Picasso (a cura di), *Il ruolo del Faculty Development nello sviluppo delle Università (Atti del 4° Convegno nazionale)*. Genova University Press.

- Leone, A. (2025). Realtà aumentata per l'apprendimento: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti. In A. Bartolini, F. Batini, M. De Santis, M. Milella, P. Malavasi, A. Morganti, A. Rosati, R. Salvato, A. Signorelli, & M. Sannipoli (a cura di), *La formazione iniziale e continua degli insegnanti: Relazioni, comunicazione, metodi. Atti della Junior Conference SIPED* (pp. 187–193). Pensa MultiMedia.

- Gulbay, E., Di Martino, V., De Franches, G. R., Leone, A., & Pitrella, V. (2025). Integrazione dell'Intelligenza Artificiale e della Realtà Aumentata nel Corso di Laurea in Scienze della

Formazione Primaria: prospettive e applicazioni. *Quaderni del GLIA*, *4*(4).

- Leone, A., & Miro, B. (2025). Opera lirica e realtà aumentata per l'inclusione sociale e culturale. In L. Acone, N. Carlomagno, E. Corbi, A. Cunti, M. D'Ambrosio, M. L. Iavarone, F. Marone, M. Musello, P. Perillo, F. Santoianni, F. M. Sirignano, M. Striano, M. R. Strollo, D. Tafuri, & P. Malavasi (a cura di), *Ricerca e progettazione pedagogica per contrastare povertà educative e dispersione scolastica. A 100 anni dalla nascita di Alberto Manz*i (pp. 395–401). Pensa MultiMedia. ISBN 9791255683247.
- La Marca, A., Gulbay, E., & Leone, A. (2025). *Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEAM nel Corso di Laurea Magistrale in Scienze della Formazione Primaria*. In B. Di Paola & E. Spada (Eds.), *Quaderni di Ricerca in Didattica*, Special issue 15, 39–50. G.R.I.M., Dipartimento di Matematica e Informatica, Università degli Studi di Palermo.
- Falzone, Y., Gulbay, E., La Marca, A., Leone, A., Longo, L., Mercer, S.O., et al. (2025). Strategie per il Faculty Development: una revisione sistematica. In A. Lotti, A. Serbati (a cura di), *Faculty Development. Lo statuto epistemologico alla luce delle evidenze scientifiche* (pp. 63-88). Milano: Franco Angeli.
- Leone, A., & Di Paola, B. (2025). Adaptive Learning e personalizzazione didattica: un percorso formativo per i futuri insegnanti di matematica. *IUL Research*, *6*(12), 133-150.

Capitolo I

Ripensare la Didattica con la Realtà Aumentata: Tecnologie Immersive e nuovi paradigmi educativi

Introduzione

L'evoluzione tecnologica sta ridefinendo profondamente il panorama educativo, aprendo nuove riflessioni sulle metodologie didattiche e sulle prospettive pedagogiche orientate all'innovazione delle esperienze di apprendimento. Questo processo ha favorito l'emergere di esperienze educative più flessibili e personalizzate, orientate ai bisogni specifici dei singoli studenti e allo sviluppo di competenze trasversali, spendibili anche al di fuori della scuola.

In questo contesto sempre in evoluzione, tecnologie emergenti come la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR) si stanno affermando rapidamente come strumenti didattici innovativi, capaci di arricchire l'esperienza di apprendimento attraverso modalità immersive, interattive e coinvolgenti.

La principale differenza tra le due tecnologie risiede nel grado di immersività percepito; con la realtà aumentata c'è una sovrapposizione di elementi digitali – immagini, testi o oggetti tridimensionali – all'ambiente reale, con il conseguente arricchimento e aumento dell'esperienza e un'interazione in tempo reale tra mondo fisico e digitale. La realtà virtuale, invece, è una tecnologia totalmente immersiva che, mediante apparecchiature sofisticate (come, ad esempio, i visori), proietta l'utente in un ambiente digitale completamente simulato, separato dal mondo reale, nel quale è possibile interagire con oggetti e scenari virtuali, interrompendo la continuità con il reale. Entrambe offrono opportunità senza precedenti per l'innovazione didattica, grazie alla capacità di trasformare concetti astratti in esperienze tangibili e di simulare situazioni complesse in modo sicuro e controllato, per consentire agli studenti di acquisire competenze pratiche in contesti realistici.

Questo approccio, che unisce il virtuale al reale, si allinea con i più recenti sviluppi in ambito educativo che valorizzano l'interazione corpo-mente, secondo la prospettiva dell'*embodied cognition*. In tale cornice, l'apprendimento viene concepito come un processo attivo e corporeo, in cui lo studente non è più un semplice fruitore passivo di contenuti, ma un protagonista attivo nella costruzione della conoscenza. Anche lo spazio fisico dell'aula cambia e diventa un terreno modulabile, arricchito da elementi che prolungano l'esperienza reale.

Sebbene entrambe le tecnologie offrano opportunità significative per l'apprendimento, negli ultimi anni l'uso didattico della realtà aumentata è ampiamente cresciuto, favorito dalla sua accessibilità e dalla possibilità di essere implementata facilmente tramite dispositivi mobili, come tablet e

telefono, meno sofisticati rispetto alle apparecchiature richieste dalla realtà virtuale.

L'impiego efficace dell'AR nella pratica didattica non si esaurisce nella semplice introduzione di strumenti digitali a scuola. Per rendere pedagogicamente e didatticamente efficace l'intervento, è necessario fornire una formazione adeguata agli insegnanti, con lo scopo di accrescere la consapevolezza e le competenze su come poter efficacemente implementare l'AR in classe per supportare l'apprendimento.

La possibilità di integrare i percorsi educativi tradizionali con metodologie che si avvalgono della realtà aumentata è oggi al centro del dibattito. Diversi sono gli studi che hanno esplorato i vantaggi che l'AR offre per l'insegnamento-apprendimento, mettendo in evidenza quanto quest'ultima promuova l'immaginazione, la motivazione, la creatività e l'interesse in generale per lo studio. Emergono, altresì, risultati positivi circa l'aumento dell'autoefficacia degli studenti, nonché il livello di soddisfazione e di comprensione dei concetti solitamente ritenuti complessi. Tuttavia, l'introduzione di nuove tecnologie, rispetto alle quali gli studenti non sono ancora abituati, deve tenere in considerazione alcuni fattori che potrebbero avere un impatto significativo negli stessi, tra cui quelli cognitivi, motivazionali ed emotivi. Anche in ambito accademico è stata avvertita l'esigenza di innovare l'approccio educativo, mediante l'implementazione di una didattica che si avvale della realtà aumentata, al fine di venire incontro alle nuove sfide socioeducative della nostra epoca, per sfruttare tutte le potenzialità offerte. Il fine ultimo è quello di avviare metodi attivi di insegnamento, per progettare percorsi educativi innovativi. Per cui è fondamentale, da un lato, fornire agli insegnanti le competenze necessarie per implementare l'innovazione e per adattare le strategie didattiche ai vari bisogni degli studenti; dall'altro, coinvolgere attivamente gli studenti, così da incoraggiarne la partecipazione attiva per co-costruire conoscenze attraverso le nuove esperienze interattive.

Il presente lavoro, pertanto, intende esplorare il ruolo della realtà aumentata nel contesto educativo, analizzandone le caratteristiche distintive, le implicazioni didattiche e le possibili ricadute sull'esperienza di apprendimento, con particolare attenzione alla dimensione motivazionale. Nei paragrafi successivi, saranno delineate le principali definizioni, le tipologie di dispositivi, i software e le prospettive didattiche legate all'impiego di questa tecnologia emergente, con un focus specifico sul contesto didattico della scuola primaria. Quest'ordine scolastico, infatti, rappresenta il primo ambiente in cui i bambini scoprono il valore del sapere come pratica condivisa, sia in relazione con il mondo che li circonda che con gli altri. Inoltre, poiché lo sviluppo cognitivo in questa fase si interseca con la crescita emotiva e corporea, il linguaggio iconico e la manipolazione di oggetti concreti diventano strumenti fondamentali per sostenere la comprensione e l'acquisizione di concetti complessi.

1.1 Le Tecnologie Immersive e la nuova frontiera della didattica

La trasformazione digitale che sta coinvolgendo il panorama educativo si articola intorno a molteplici innovazioni tecnologiche, tra cui un ruolo di rilievo è rappresentato dalle Tecnologie Immersive (*Immersive Technologies*, ImT), come la realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata (AR). La loro introduzione in ambito educativo ha permesso di introdurre ambienti di apprendimento che vanno oltre le possibilità di una classe tradizionale, aprendo la strada a scenari didattici inediti, che spaziano dai laboratori scientifici virtuali, dove è possibile condurre esperimenti anche complessi ma in contesti controllati (Makransky & Mayer, 2022), alle ricostruzioni storiche che permettono di esplorare ambienti e contesti storici (Radianti et al., 2020). I video a 360 gradi e le *Immersive Room*- altre due frontiere delle tecnologie immersive educative- consentono esperienze multisensoriali che trasformano l'aula in uno spazio interattivo in grado di stimolare la curiosità, il coinvolgimento, l'interazione e la collaborazione tra gli studenti (Ranieri et al., 2022). In maniera parallela, la realtà aumentata arricchisce i manuali, le visite didattiche o le lezioni frontali, grazie alla sovrapposizione di modelli tridimensionali al mondo reale (Garzón & Acevedo, 2019). Questa integrazione tecnologica non si limita a potenziare la trasmissione di contenuti, ma propone anche nuove modalità di apprendimento *embodied* che pongono enfasi sull'aspetto senso-motorio, in grado di rafforzare la memoria e di favorire la comprensione concettuale più profonda (Skulmowski & Rey, 2018).

Negli ultimi anni il termine *immersivo* è diventato di uso comune, spesso associato al concetto di *esperienza*. Nella percezione comune, un'esperienza immersiva corrisponde ad una simulazione in un ambiente virtuale abilitata da specifiche tecnologie (Benassi, 2018).

Il concetto di immersione, in riferimento generico ai media, risale a J. Murray (2017), il quale lo descrive come la sensazione di essere completamente avvolti da una realtà alternativa, tanto da perdere la consapevolezza del mondo esterno. Parimenti, J.C. Herz (1997) ha sottolineato che un ambiente *può* essere considerato immersivo quando le azioni dell'utente producono conseguenze percepibili (Herz, 1997).

Dal punto di vista tecnico, l'immersione è legata al grado di coinvolgimento, di stimolazione sensoriale e dell'interattività offerti da un sistema e, dunque, dalle capacità di quest'ultimo di isolare l'utente dal mondo circostante (Arnaldi et al., 2018; Poupard et al., 2025).

A questa prospettiva si affianca anche un'interpretazione psicologica, che considera l'immersione come il risultato dell'inganno al sistema cognitivo e percettivo, tale per cui un utente si percepisce in un luogo diverso da quello in cui fisicamente si trova (Poupard et al., 2025). Quindi, se l'immersione è una caratteristica oggettiva del sistema tecnologico, la presenza e l'interattività sono delle reazioni soggettive dell'utente quando si trova coinvolto nell'ambiente virtuale (Slater, 2003).

Pertanto, i requisiti principali affinché si percepisca un senso di immersione sono due: il *sentirsi presenti* e il *sentirsi agenti*. Questa sensazione di presenza è del tutto soggettiva ed è una reazione all'ambiente immersivo sperimentato (Witmer & Singer, 1998). Tuttavia, la sensazione psicologica dell'immersione ha a che vedere non solo con la presenza, ma anche con *l'agency*: l'immersione aumenta se all'utente è lasciata facoltà di agire e interagire in maniera flessibile e significativa con l'ambiente (Benassai, 2018). *L'agency* è un elemento centrale per favorire l'apprendimento attivo, dato che in ambienti immersivi gli studenti non sono soltanto osservatori, ma agenti e creatori di conoscenza (Liu et al., 2020).

La realtà aumentata (AR), la realtà virtuale (VR) e la realtà mista (MR) rientrano tra le tecnologie immersive, sebbene si distinguano per differenti livelli di immersività percepita. Queste tecnologie forniscono stimoli multisensoriali – stimoli uditivi, visivi, cinestetici – che inducono il cervello a percepire l'esperienza come reale (Cook et al., 2018). Tuttavia, anche gli strumenti utilizzati per sperimentare le tecnologie immersive contribuiscono ad accrescere o a diminuire il senso di presenza e coinvolgimento. Tablet e smartphone, a differenza di dispositivi indossabili come occhiali o visori, sono classificati come *low-immersive technologies*, proprio in virtù del fatto che non garantiscono un'alta immersività (Poupard et al., 2025).

Milgram e Kishino (1994) hanno elaborato un asse definito *Continuum Reale-Virtuale*. In questo asse, all'estrema sinistra c'è il reale vero e proprio, ossia tutto ciò che l'utente può percepire con tutti e cinque i sensi e con il quale può interagire direttamente. All'altro estremo troviamo, invece, la realtà virtuale, ovvero un ambiente totalmente simulato all'interno del quale la percezione del reale viene meno. Questo è reso possibile mediante dispositivi altamente tecnologici, come i visori. Tra i due estremi si colloca la *Mixed Reality* (Realtà Mista) che ingloba in sé anche la realtà aumentata. Essa fa riferimento all'integrazione nel reale di elementi digitali che alterano il senso del reale in modo più o meno intenso (Milgram & Kishino, 1994) (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Reality-Virtuality continuum (Milgram & Kishino, 1994)

L'integrazione delle tecnologie immersive nel contesto didattico riflette un cambiamento nel paradigma educativo, non solo sul piano tecnologico, ma soprattutto su quello didattico. C'è una transizione da un modello trasmissivo della conoscenza, con il ruolo centrale dell'insegnante, ad uno

esperienziale e costruttivista, in cui lo studente acquista un ruolo attivo nella costruzione attiva della conoscenza tramite interazione, scoperta, simulazione ed esplorazione (Dede, 2009).

Le tecnologie immersive supportano e favoriscono la personalizzazione didattica e la possibilità di adattare il contenuto ai diversi stili cognitivi, migliorando la partecipazione e il coinvolgimento degli studenti (Parong & Mayer, 2018; Avila-Garzon et al., 2021). Inoltre, abilitano scenari didattici altrimenti impensabili o difficilmente esperibili. Infatti, danno la possibilità di ricreare in ambienti protetti esperimenti scientifici, simulare viaggi nello spazio-tempo, laboratori 3D ed altre esperienze simulate (Radianti et al., 2020).

1.2 Dalla simulazione all'*embodied cognition*: fondamenti pedagogici delle tecnologie immersive

L'uso di sistemi di Realtà Virtuale e Aumentata ha introdotto il paradigma dell'immersività, ridefinendo il panorama educativo con l'aggiunta di un elemento significativo: la simulazione. L'efficacia degli ambienti immersivi nel contesto educativo è principalmente legata proprio a questo concetto (Arduini, 2020):

"*le metodologie di apprendimento di maggiore impatto negli attuali sistemi educativi sono quelle che mettono gli studenti di fronte a una situazione reale che devono risolvere utilizzando le conoscenze teoriche acquisite, o facendo loro potenziare capacità fino a quel momento inesistenti o poco sviluppate"* (Fernandez, 2017, p.57).

La simulazione, intesa come creazione di ambienti virtuali che riproducono aspetti della realtà, diventa un potente veicolo di esperienza educativa. La sua unicità risiede nel permettere agli studenti di andare oltre la semplice osservazione, consentendo loro di interagire attivamente con il contesto in cui sono immersi (Arduini, 2020), superando l'apprendimento rappresentazionale. In questo scenario, l'esperienza immersiva non si limita ad un coinvolgimento passivo, ma si configura come un'esperienza attiva e interattiva, che stimola la partecipazione e potenzia il processo di apprendimento (Melchiorri, 2021).

L'immersione, infatti, si traduce in un coinvolgimento soggettivo profondo, in cui gli studenti percepiscono di essere parte di un'esperienza completa e realistica, capace di aumentare la motivazione e di sviluppare competenze investigative più efficaci (Akçayır & Akçayır, 2017).

La simulazione, sperimentata tramite le tecnologie immersive, coinvolge attivamente il corpo dell'utente e non si limita alla percezione visiva o uditiva, ma può includere anche interazioni fisiche e sensoriali. Attraverso l'uso di dispositivi, come occhiali o visori, gli utenti interagiscono con oggetti virtuali sovrapposti al mondo reale e con i suoni, medianti gesti e movimenti. In questo modo, il coinvolgimento fisico contribuisce all'assorbimento e alla comprensione dei concetti appresi.

Come sottolinea Celiani (2018), fin dalla prima infanzia interagiamo intenzionalmente con l'ambiente. Un bambino che vede un nuovo oggetto, ad esempio, non si limita a pensare a cosa può farci, ma attiva l'intenzione di afferrarlo e manipolarlo, impegnandosi in comportamenti motori. Pertanto, non è più possibile considerare il predominio astratto della mente sul corpo come un mero strumento esecutivo, ma piuttosto come funzioni cognitive, come evidenziato dalla teoria dell'*Embodied Cognition* (Clark, 2010; Varela et al, 1992 in Celiani, 2018, p.12), radicato nel sistema sensomotorio e strettamente legato alla percezione/interazione con esperienze vissute concrete (Barsalou, 1999). Diverse evidenze in letteratura sottolineano l'importante ruolo del movimento corporeo nello sviluppo cognitivo dei bambini (Campbell et al., 2002; Robertson & Johnson, 2009). L'ontogenesi dello sviluppo umano non ha origine in una cognizione astratta, centralizzata e separata dal contesto, ma è intrinsecamente ancorata alla cognizione incentrata sull'elaborazione percettivo-motoria, dell'intelligenza sensomotoria o sull'intelligenza cinestetico-corporea (Gardner, 1987).

L'attenzione epistemologica si sta spostando, dunque, verso una riconosciuta importanza primaria dell'esperienza vissuta: una mente situata, incarnata, connessa all'ambiente, socialmente correlata e messa in atto. Queste interpretazioni della mente convergono su una tesi comune: l'attività mentale dipende non solo dal cervello, ma anche dal corpo (Francesconi & Tarozzi, 2012). Da una prospettiva educativa, il concetto di *affordance* (Gibson,1997) diventa cruciale: creare situazioni in cui l'ambiente fornisca informazioni sufficienti non solo a guidare l'azione (aspetto concreto), ma anche a sollecitarla (motivazione). L'approccio educativo dovrebbe facilitare e supportare le esperienze, coinvolgendo pienamente l'individuo in attività interessanti e motivanti che attivino la consapevolezza dell'azione attraverso la presenza e l'autoconsapevolezza.

Questi concetti affondano le loro radici nella teoria di Merleau-Ponty (1962), che ha introdotto la nozione di *Intenzionalità Motoria* per sviluppare l'idea che la nostra relazione fondamentale con il mondo sia distintamente incarnata e non intellettuale. Questa prospettiva è ulteriormente supportata dall'*approccio enattivo* di Varela e colleghi (in Ceciliani, 2018), che sfida la tradizione dualistica cartesiana che separava mente e corpo, plasmando il cognitivismo contemporaneo riducendo il mondo dei significati a rappresentazioni mentali (Hutto & Myin, 2014). Nell'approccio enattivo, due componenti fondamentali sono l'*embodiment*, che si riferisce all'importanza del corpo nel processo cognitivo, grazie all'interazione tra mente-corpo e ambiente, e *l'enazione*, che riguarda l'idea che la cognizione non sia semplicemente un processo di rappresentazione mentale, ma piuttosto l'azione stessa (Ceciliani, 2018).

I principi chiave dell'*embodied cognition* offrono la possibilità di cogliere le differenze nei processi di apprendimento (Cottini, 2015), dimostrandosi funzionali per metodologie didattiche innovative. Secondo la teoria dell'*embodied cognition*, il corpo – nel rispetto dei suoi due elementi chiave, percezione e azione – funge da mediatore biologico e culturale per il processo di apprendimento, diventando di fatto soggetto dei processi cognitivi (Gomez Paloma et. al.,2016).

L'approccio incarnato delle scienze cognitive rivaluta profondamente il ruolo che l'esperienza vissuta (incarnata, da cui il nome "incarnato") svolge nello sviluppo e nell'espressione della cognizione. Caratteristica fondamentale dell'incarnazione è quella di considerare il corpo non subordinato all'apparato cognitivo ma come il vero motore e impalcatura del pensiero, un substrato e allo stesso tempo un orizzonte entro cui la cognizione nasce e si dispiega (Tarozzi & Francesconi, 2013). È in questo quadro che trova ampio spazio il dialogo di questa teoria con le scienze dell'educazione in generale, e con la pedagogia in particolare (Cottini & Morganti, 2015).

Da questa prospettiva, l'apprendimento incarnato incorpora l'azione fisica nell'atto di apprendimento. Non si tratta solo di acquisire conoscenze concettuali, ma di assimilarle attraverso esperienze pratiche e interazioni fisiche con l'ambiente.

La pedagogia incarnata abbraccia queste teorie, promuovendo l'interazione fisica, sensoriale e motoria come parte integrante dell'esperienza di apprendimento, coinvolgendo attivamente il corpo degli studenti (Yiannoutsou et al.2021). È definita come "*un apprendimento che unisce corpo e mente in un atto fisico e mentale di costruzione della conoscenza. Questa unione implica la consapevolezza riflessiva del corpo, dello spazio e del contesto sociale*" (Nguyen & Larson, 2015).

Le tecnologie immersive pongono lo spazio e l'azione fisica al centro del processo di insegnamento e apprendimento, in piena sintonia con i principi della pedagogia incarnata. L'esperienza di realtà aumentata o virtuale, attraverso un visore, permette al corpo di muoversi liberamente e completamente all'interno dello spazio reale.

Rolla e colleghi (2022) sostengono che i dispositivi immersivi, insieme ad altre possibilità di apprendimento tecnologico e digitale, hanno il potenziale per offrire esperienze illimitate. Questa continua interazione tra le nostre interazioni sensomotorie dinamiche e le contingenze dell'esperienza vissuta contribuisce, infatti, ad un processo continuo di creazione di significato. Percepiamo il fare nel flusso di azioni contingenti, reali o virtuali, come un prodotto delle nostre esperienze. Aguajo e colleghi (2023) hanno condotto una ricerca che ha coinvolto un gruppo di studenti nello studio del processo di divisione cellulare. I risultati hanno mostrato che l'apprendimento, se affrontato attraverso un classico testo 2D, risulta frustrante per gli studenti, mentre in 3D, grazie alla realtà aumentata, risultava più coinvolgente e i contenuti teorici meno complessi da apprendere. Questo perché le modalità digitali 3D ampliano le possibilità di apprendimento esplorando attivamente l'ambiente.

Per quanto riguarda lo sviluppo di nuove ed emergenti modalità di apprendimento con le tecnologie – in AR, VR e realtà mista (MR/XR) – alcuni studi ne evidenziano, ad esempio, l'efficacia nell'istruzione superiore STEM (Pande et al., 2021); nel promuovere l'apprendimento esperienziale; nel rendere discipline come l'arte, la scienza e la tecnologia più significative (Schott & Marshall, 2018). In tali ambienti immersivi, la cognizione può essere considerata come incarnata, attuata, incorporata ed estesa (le 4E della cognizione), superando così la concezione rappresentazionale classica (Aguayo et al., 2023).

Nella ricerca condotta da Johnson-Glenberg e colleghi (2017), vengono analizzati due studi che prevedevano l'impiego della realtà mista per supportare l'insegnamento delle scienze nelle scuole superiori. Dalle analisi, è stato dedotto come l'incarnazione sia un fattore causale non indifferente per l'aumento dei progressi nell'apprendimento tra gli studenti.

Un contributo particolarmente significativo nell'ambito degli studi sulla realtà virtuale è quello di Makransky e Petersen (2021), i quali hanno elaborato il *Cognitive Affective Model of Immersive Learning* (CAMIL), un quadro teorico volto a spiegare i processi di apprendimento all'interno di ambienti immersivi. Gli autori sostengono che la "presenza" dipende dalla fedeltà della rappresentazione dell'ambiente in cui si sperimenta ciò che viene percepito come reale. Poiché la presenza nasce dalla percezione, l'azione aumenta quando si interagisce con visori AR o VR. Tuttavia, i fattori che meglio predicono l'apprendimento sono l'affettività, in quanto portano a un elevato valore percepito e al controllo dell'agency, innescando un maggiore godimento da parte degli utenti. Infatti, la loro concezione dell'esperienza di un sé virtuale vissuto come sé reale, sia in forma sensoriale che non sensoriale, si fonda sulla nozione di incarnazione.

Un'*affordance* delle tecnologie immersive riguarda specificamente l'incarnazione e l'azione combinate con la manipolazione di contenuti 3D. La manipolazione di oggetti in più dimensioni offre agli studenti un maggiore controllo personale (agency) sull'ambiente di apprendimento ed è qualitativamente diversa dall'esperienza "clicca e trascina" sul monitor 2D di un personal computer (PC). Un'altra *affordance* riguarda il senso di presenza, ovvero la sensazione di essere lì in quel momento e di viverlo (Slater & Wilbur,1997). Decenni di ricerca suggeriscono che gesti e metafore basati sul corpo possono essere utili a studenti di varie età in molti tipi diversi di attività (Johnson-Glenberg, et al., 2014). Un'ipotesi è che gli studenti impegnati a livelli più elevati di incarnazione impareranno i contenuti più rapidamente e in modo più approfondito perché l'attivazione dei codici sensomotori rafforza le tracce mnemoniche. Inoltre, i gesti possono attenuare il carico cognitivo (Goldin-Meadow, 2011).

A partire da questo quadro generale, sebbene sia la realtà aumentata che la realtà virtuale abbiano un grande potenziale per l'apprendimento, l'AR risulta ad oggi maggiormente implementata in campo educativo, principalmente in virtù dell'accessibilità rispetto alla VR (Vasilevski & Birt, 2020; Gómez-García et al., 2021). L'AR, infatti, può essere utilizzata direttamente tramite dispositivi mobili, spesso già in possesso degli stessi studenti, secondo la logica del *bring your own device* (BYOD) (Trujillo Torres et al., 2018), mentre, la VR richiede visori dedicati e tecnologicamente avanzati, non sempre accessibili alle scuole (Gómez-García et al., 2021).

Per queste ragioni, il presente lavoro concentra la sua attenzione sulla realtà aumentata, analizzandone le definizioni, le caratteristiche e le specificità che la contraddistinguono da altre tecnologie immersive, nonché l'impatto sui processi di apprendimento. La scelta è legata a motivazioni di fattibilità didattica poiché, a differenza della VR, che necessita di infrastrutture più complesse e onerose, l'AR può essere più facilmente

implementata in classe mediante l'uso di strumenti già diffusi come tablet e smartphone, riducendo in questo modo le barriere economiche e logistiche (Bacca et al., 2014). Inoltre, così come sottolineato da Dunleavy e Dede (2013), il vantaggio più significativo della realtà aumentata è la sua capacità di creare ambienti di apprendimento ibridi e immersivi, che combinano oggetti digitali e fisici, favorendo lo sviluppo di capacità di elaborazione come il pensiero critico, la risoluzione dei problemi e la comunicazione attraverso esercizi collaborativi. Proprio il mantenimento del legame con il mondo reale rende l'AR particolarmente adatta ai contesti educativi quotidiani. Questa accessibilità contraddistingue l'AR per essere uno strumento privilegiato per le sperimentazioni didattiche e in grado di coniugare innovazione e sostenibilità educativa.

1.3 Definizioni e caratteristiche della Realtà Aumentata

La realtà aumentata (*Augmented Reality* - AR -) è una tecnologia che consente l'inserimento di elementi virtuali all'interno di un ambiente reale, mediante l'ausilio di appositi software, che arricchiscono e aumentano l'esperienza sensoriale e consentono agli utenti di interagire in tempo reale con gli oggetti sovrapposti al contesto reale (Klopfer & Sheldon, 2010; Cai et al., 2014; Akçayır & Akçayır, 2017; Di Martino & Longo, 2019). Gli oggetti virtuali, che entrano in relazione con gli utenti, possono assumere la forma di immagini, oggetti 3D, testo e video (Zhang et al., 2022).

Come evidenziato da Panciroli & Macauda (2018, p. 48), la realtà aumentata può incorporare contenuti informativi negli oggetti che, se inquadrati, restituiscono in risposta un testo, un'immagine o un video. Nella realtà fisica l'oggetto è fermo e silenzioso, mentre sullo schermo del dispositivo mobile si anima e si arricchisce di elementi che ne favoriscono la comprensione (Panciroli & Macauda, 2018, p. 48).

Mediante la realtà aumentata è oggi possibile fare esperienza del Metaverso[1], inteso come un ambiente educativo arricchito da tecnologie immersive, che consentono agli utenti di vivere esperienze di apprendimento autentiche e incarnate. Secondo Zhang et al., (2022) il Metaverso, applicato al mondo dell'istruzione, si configura come uno spazio in cui gli studenti possono mobilitare i propri corpi per partecipare ad attività esplorative e collaborative, favorendo i processi di socializzazione e

[1]Metaverso -dall'inglese *metaverse*- è un termine che risale al 1992, nato dalla crasi tra il prefisso di origine greca "meta", che veicola un significato di trascendenza, e il termine "universo". A coniarlo fu Neal Stephenson, autore di fantascienza. Non esiste attualmente una definizione scientifica univoca di metaverso (Park & Kim, 2022): negli anni è stato concepito come un mondo virtuale in grado di rappresentare gli oggetti fisici e la geografia del mondo reale (Schroeder, Huxor & Smith, 2001), oppure come un mondo progettato per essere sotto il diretto controllo degli utenti e permettere loro di crearne le caratteristiche (Papagiannidis & Bourlakis, 2010), o, ancora, come uno spazio creato dalla fusione tra AR e VR (Choi & Kim, 2017), in Rossi, M., Ciletti, M., Scarinci, A., & Toto, G. A. (2023). Apprendere attraverso il metaverso e la realtà immersiva: nuove prospettive inclusive. *IUL Research*, *4*(7), p.167.

interazione, oltre al fatto che gli studenti possono ricevere un feedback immediato (Zhang et al., 2022; Rossi et al., 2023).

Si deve ad Azuma (1997) la sistematizzazione del concetto di realtà aumentata, strutturato su tre caratteristiche distintive, ovvero: la combinazione di contenuti virtuali all'interno di un contesto reale; l'allineamento dei contenuti virtuali con quelli reali tramite la tridimensionalità; l'interazione in tempo reale con gli elementi virtuali, che si comportano come elementi reali nell'ambiente reale (Di Martino & Longo, 2019). Questa definizione colloca l'AR secondo il continuum proposto da Milgram & Kishino (1994) in una posizione intermedia, tra il completamente reale e il completamente virtuale (Milgram & Kishino, 1994; Azuma, 1997; Di Martino & Longo, 2019).

Nella revisione della letteratura condotta da Akçayır e Akçayır (2017), che si configura come una delle prime e più ampie rassegne sistematiche sul tema dell'AR in ambito educativo, gli autori ampliano le definizioni precedenti, includendo l'interazione multisensoriale e la capacità del sistema di rispondere agli input dell'utente, così da ricreare esperienze più immersive e interattive. In letteratura viene evidenziato come tra il 2011 e il 2013 c'è stata un'impennata nell'uso dell'AR in campo educativo proprio in virtù del fatto che iniziarono a diffondersi tecnologie sempre più idonee e accessibili e grazie all'entrata in scena di software, come *ARCore* e *ARToolkit*, meno complessi per sviluppare e implementare scenari in AR (Parga et al., 2024).

Il valore educativo della realtà aumentata si fonda su due assi principali. Da un lato, si configura come una tecnologia ibrida che, grazie all'immediatezza del suo utilizzo, consente l'integrazione in tempo reale di diversi strati informativi e di differenti formati – testi, video, elementi multimediali, oggetti tridimensionali – arricchendo o trasformando la percezione del reale (Cabero-Almenara & Roig-Vila, 2019). Dall'altro, la sua diffusione è favorita dalla facilità di accesso agli strumenti più comunemente utilizzati per la sua fruizione, come smartphone, tablet e computer, che permettono agli studenti di sperimentarne le potenzialità senza il bisogno di ricorrere a dispositivi altamente specialistici (Cabero-Almenara & Roig-Vila, 2019).

A differenza della realtà aumentata, la realtà virtuale (*Virtual Reality*, VR) rappresenta l'altro estremo del continuum immersivo (Milgram & Kishino, 1994) e si caratterizza per un elevato grado di immersività e per la netta separazione dal mondo reale. La VR offre agli utenti l'illusione di essere immersi in un mondo completamente virtuale, che non ha continuità con il reale (Brooks, 2005). Questa esperienza è resa possibile dall'impiego di particolari e sofisticati dispositivi di visualizzazione, come i visori (*Head-Mounted Display* – HMD) – che generano scenari tridimensionali altamente realistici. Nel momento in cui l'utente indossa un visore, percepisce di essere circondato da un ambiente digitale, in cui i sensi vengono stimolati per favorire l'interazione con oggetti e situazioni simulati

(Chang et al., 2025). La realtà virtuale, dunque, sviluppa ambienti interamente artificiali, nei quali gli utenti si configurano come partecipanti immersivi (AlGerafi et al., 2023). Tuttavia, nonostante si parli di VR già da alcuni decenni, la sua piena integrazione nel settore educativo appare ancora limitata. Questo, con molta probabilità, è dovuto al fatto che permangono ostacoli legati ai costi, infrastrutture tecnologiche e formazione del personale docente (De Martino & Dicataldo, 2023). Ciò nonostante, negli ultimi anni si registra una crescita significativa delle sperimentazioni in ambito scolastico e universitario, soprattutto in discipline come la medicina, l'ingegneria, le scienze naturali e le arti, dove la possibilità di ricreare scenari complessi e simulazioni realistiche offre un valore aggiunto rispetto alle metodologie tradizionali (Radianti et al., 2020).

1.4 Dispositivi e software per la Realtà Aumentata

La classificazione delle tecnologie che permettono la fruizione di esperienze in AR è stata oggetto di studio nella letteratura scientifica. Una prima distinzione è quella tra le applicazioni *marker-based* e *markerless* (Sadeghi-Niaraki & Choi, 2020).

La prima tipologia fa riferimento alla presenza di marcatori visivi, quali ad esempio immagini o QR-code, che fungono da ancore per il riconoscimento da parte della fotocamera dei dispositivi, permettendo la visualizzazione di oggetti tridimensionali (Carbonell Carrera & Bermejo Asensio, 2017).

La seconda tipologia, invece, sfrutta l'impiego di sensori GPS che una volta attivati nello spazio reale o grazie al movimento dell'utente, attivano l'oggetto aumentato (Rani et al., 2023). Un'altra modalità di fruizione è quella basata sulla proiezione; questo tipo di AR si avvale generalmente di proiettori innovativi o di occhiali intelligenti tramite i quali vengono proiettate le immagini digitali su superfici reali, creando un'esperienza di realtà mista (Koumpouros, 2024).

Dal punto di vista dei dispositivi, gli oggetti possono essere visualizzati tramite computer, dispositivi mobili o sistemi indossabili. I computer, solitamente, azionano la modalità aumentata tramite webcam o monitor, benché oggi siano praticamente poco utilizzati. Un esempio è la piattaforma su pc *Paint 3D* che permette la modellazione tridimensionale con la possibilità di visualizzare l'oggetto creato direttamente dalla fotocamera interna del pc. I computer hanno avuto un picco nel periodo 2000-2013, per poi lasciare lo spazio ai dispositivi mobili, a causa di evidenti limitazioni nella componente hardware (Chiang et al., 2014).

I dispositivi più utilizzati rientrano all'interno della categoria della *Mobile Augmented Reality* (MAR), ovvero smartphone e tablet (Marín-Marín et al., 2023). Questi dispositivi, mediante la fotocamera e i sensori del dispositivo mobile, permettono di tracciare l'ambiente circostante e di

sovrapporre contenuti digitali in tempo reale. Le applicazioni in AR spaziano da esperienze semplici, come l'aggiunta di filtri tramite app della fotocamera, a quelle più sofisticate, come giochi interattivi o strumenti educativi (Koumpouros, 2024).

I dispositivi indossabili, come smart glasses e visori ottici (come *Microsoft Hololens, Google, Meta Quest, Magic Leap*) hanno aperto scenari più avanzati, offrendo un più elevato livello di coinvolgimento e immersione, pur rimanendo ancora marginali nel settore educativo per via dei costi e della necessaria preparazione del personale docente per il loro utilizzo (Wyss et al., 2021).

Secondo Santos et al. (2016) la progettazione di esperienze di apprendimento in AR dipende dall'integrazione fondamentale di tre fattori strettamente correlati, ovvero hardware, software e contenuti. Sul piano dell'hardware, la scelta del dispositivo influenza direttamente le implementazioni didattiche. L'uso di tecnologie mobili ha reso le applicazioni più diffuse e accessibili nel contesto educativo. Tra le applicazioni per dispositivi mobili si annovera: *ARLoopa, Anatomy 4D, Merge EDU, Augmente, Google Expeditions, Quiver, GeoGebra AR, Solidos RA*.

Per quanto riguarda i software, gli aspetti chiave sono il tracciamento in tempo reale e il rendering tridimensionale, generalmente ottenuti mediante librerie open source o commerciali. *ARkit, Arcore, Vuforia, ARToolkit, Unity 3D e Blippar,* sono un esempio di ambienti di sviluppo. Infine, il livello che riguarda i contenuti è strettamente legato agli strumenti di authoring, che consentono agli insegnanti di creare esperienze didattiche anche senza particolari competenze di programmazione (Santos et al., 2016). Tra gli strumenti di authoring si citano: *HP Reveal, Zappar, ThinkerCad*.

1.5 Realtà Aumentata e apprendimento

Secondo il rapporto Horizon 2023, l'uso dell'AR in campo educativo è in continua crescita, affiancata da altre innovazioni come l'intelligenza artificiale (Pelletier et al., 2023). La sua implementazione nei processi di insegnamento-apprendimento ha introdotto un nuovo paradigma educativo, caratterizzato da un approccio innovativo e immersivo, che consente agli studenti di acquisire conoscenze e competenze in modo più coinvolgente e motivante (Garzón et al. 2020). L'AR, infatti, non è un semplice supporto didattico, ma è un vero e proprio catalizzatore di nuove forme di apprendimento, in grado di ridefinire le modalità con cui gli studenti interagiscono con i contenuti e con l'ambiente circostante.

Durante l'ultimo decennio, si è registrato un crescente interesse tra studiosi ed educatori per le applicazioni delle tecnologie di realtà aumentata nei contesti formativi e su come questa possa migliorare i processi di apprendimento (Garzón, 2020; López-Belmonte et al., 2020, Sofianidis,

2022; Marín-Marín et al., 2023; Wyss et al., 2021). Oggi, le applicazioni in AR vengono utilizzate con successo a diversi livelli educativi, contesti e ambienti, che si estendono dalla scuola dell'infanzia alla formazione post-laurea (Wyss et al., 2021). Le ricerche confermano che questa tecnologia è in grado di sviluppare le abilità richieste agli studenti di oggi, come la risoluzione di problemi, il lavoro di gruppo, la valutazione critica e la comprensione di prospettive diverse tramite l'esplorazione, la manipolazione e la giustapposizione di informazioni (Di Martino & Longo, 2019)

La realtà aumentata rientra nel cosiddetto *Augmented Learning* (AL) – Apprendimento Aumentato – che può essere inteso come una forma di apprendimento in grado di fornire agli studenti un'esperienza tridimensionale, interattiva ed immersiva (Cicconi & Marchese, 2019). Gli ambienti che consentono esperienze di *Augmented Learning* possono concretamente contribuire a cambiare, arricchire e migliorare l'esperienza di apprendimento (Rossi et al. 2023). Questo è possibile poiché favoriscono la comprensione di contenuti visivi, l'apprendimento esperienziale mediante l'approccio *learning by doing*, l'engagement e l'interazione sociale, promuovendo una didattica inclusiva (Cicconi & Marchese, 2019). L'impiego dell'AR nell'ambito dell'istruzione consente di sviluppare ambienti che possono essere adattati alle specifiche esigenze degli studenti e a rendere le classiche lezioni teoriche frontali più accattivanti, motivanti e interattive, così da aumentare il livello di partecipazione e coinvolgimento degli studenti (Krüger et al., 2019).

In questo nuovo contesto immersivo, cambia anche l'approccio metodologico, poiché diventa *student-centred*, ovvero basato sullo studente, il quale ha un ruolo attivo nel suo processo di apprendimento, divenendo al contempo fruitore e co-creatore di contenuti (Rossi et al., 2023). A questo proposito, Liu (2008, p. 173) sottolinea come la realtà aumentata migliori la capacità di esplorare, assorbire nuove conoscenze e risolvere problemi, con un conseguente impatto anche a livello emotivo. Infatti, molte delle esperienze prese in esame creano un coinvolgimento emotivo-affettivo che affievolisce il timore reverenziale o la prevenzione dello studente (Gugliemi, 2017, p. 46). Le attività in realtà aumentata, infatti, promuovono sia l'autonomia del singolo studente, attraverso l'elaborazione individuale dei contenuti, che l'apprendimento cooperativo, poiché facilitano il confronto e la condivisione (Di Martino & Longo, 2019). Gli apprendenti, interagendo con i loro coetanei, mettono in atto strategie di apprendimento cooperativo supportate dalla tecnologia AR e si immergono profondamente nel processo di ricerca. L'AR, però, non si limita soltanto a favorire la collaborazione tra studenti, ma incentiva anche la cooperazione tra studenti e docenti (Chen et al., 2017; Wang et al., 2018; Marín-Marín et al., 2023).

Molte ricerche hanno sottolineato come l'AR promuova un apprendimento di tipo situato, consentendo agli studenti di stabilire

connessioni tra la conoscenza e la vita quotidiana (Panciroli & Macauda, 2018). L'apprendimento esperienziale e situazionale non solo consente agli studenti di vivere esperienze autentiche e coinvolgenti, ma è anche utile per sviluppare la loro creatività, il processo decisionale, la risoluzione dei problemi, l'autonomia e l'indipendenza (Gao et al., 2022).

È stato dimostrato in diversi studi che l'AR supporta, altresì, l'apprendimento cinestetico, l'immaginazione visiva e quella spaziale (Alzahrani, 2020; Dunleavy et al., 2009), nonché la motivazione e l'interesse degli studenti verso lo studio (Wyss et al., 2021). Per quanto concerne l'influenza della realtà aumentata sulla motivazione degli studenti ad apprendere, è interessante notare quanto affermato da Campos-Mesa e colleghi (2022), i quali sostengono che il processo di insegnamento-apprendimento, svolto all'interno di un'aula virtuale, presenta il vantaggio di sviluppare le competenze metacognitive negli studenti, aumentando la fiducia in sé stessi e la responsabilità rispetto al proprio processo di apprendimento.

L' apprendimento con realtà aumentata, inoltre, viene percepito dagli studenti come più coinvolgente, oltre al fatto che è in grado di migliorare il pensiero critico, la risoluzione dei problemi, l'elaborazione delle informazioni e le capacità di comunicazione (Wyss et al., 2021; Garzón et al., 2020). L'esperienza di apprendimento immersiva permette agli studenti di immergersi in un ambiente virtuale e di manipolare oggetti e sperimentare teorie anche complesse, nonché di compiere esperimenti in totale sicurezza senza preoccuparsi dei rischi e/o delle conseguenze che questi ultimi avrebbero nella vita reale (Rossi et al, 2023 p. 172).

Dal momento che agevola la memorizzazione, alcuni studi dimostrano come la realtà aumentata venga utilizzata per aumentare la ritenzione delle conoscenze da parte degli studenti (Huang et al., 2019). Alcuni autori, infatti, hanno riferito che, attraverso l'uso dell'AR, gli studenti attribuiscono maggiore rilevanza alle attività di apprendimento, acquisiscono maggiore sicurezza nell'impegnarsi nelle attività di apprendimento, prestano maggiore attenzione e sperimentano più soddisfazione e divertimento (Akçayır & Akçayır, 2017; Radu, 2014; Avila-Garzon et al., 2021).

Lo spazio immersivo, inoltre, offre delle ottime opportunità in termini di inclusione, come messo in rilievo da diversi autori (Zhang et al., 2022). Grazie alle realtà aumentata possono essere valorizzate, infatti, le diversità di ogni studente. Gli insegnanti stessi hanno la possibilità di personalizzare i materiali, al fine di adattarli alle esigenze dei discenti che presentano dei Bisogni Educativi Speciali (BES) e/o, più in generale, una disabilità. Inoltre, può essere un valido supporto per gli studenti con disabilità sensoriale, grazie all'utilizzo di varie strumentazioni tecnologiche, in grado di fornire un'esperienza multisensoriale, stimolando, quindi, i sensi vicari (Rossi et al., 2023 p. 173).

Le potenzialità e i benefici dell'AR influenzano anche il ruolo dell'insegnante. Liu e colleghi (2008) evidenziano la possibilità per gli

insegnanti di poter trasmettere più facilmente e rapidamente i concetti agli studenti, grazie all'interazione con la tecnologia in AR. Cuccurullo (2019) sottolinea, inoltre, come la centralità della tecnologia permetta di trasformare l'approccio didattico tradizionale, in cui l'insegnante occupava una posizione centrale, ad uno in cui l'accento è posto sull'importanza dell'alunno e sui suoi processi di apprendimento.

Infine, metanalisi recenti confermano un impatto generalmente positivo dell'AR sull'apprendimento, (Garzón & Acevedo, 2019; Marín-Marín et al., 2023). Tuttavia, molti studi si basano su sperimentazioni di breve durata, sollevando la necessità di ulteriori indagini longitudinali per comprendere se i benefici osservati siano stabili nel tempo o dovuti prevalentemente all'effetto novità (Wang et al., 2024).

1.5.1 Vantaggi e criticità dell'AR nei contesti educativi

Rispetto al campo disciplinare di applicazione, l'AR è stata introdotta trasversalmente in numerosi ambiti disciplinari, mostrando un forte potenziale nell'arricchire l'apprendimento sia teorico che pratico (Billinghurst & Lee, 2015). Uno dei campi in cui ha trovato maggiore applicabilità è quello delle scienze mediche (Ferrer-Torregrosa et al., 2016; Garzón et al., 2020; AlGerafi et al., 2023), seguito dalle discipline scientifiche, dove consente di potenziare la visualizzazione e la comprensione di fenomeni complessi - come esperimenti di fisica, chimica, biologia – altrimenti difficili o rischiosi da osservare direttamente. In questi ambiti, così come per la matematica e la geometria, la rappresentazione interattiva e tridimensionale facilita la comprensione di concetti astratti e ne concretizza l'applicazione (Ibáñez et al., 2018; Akçayır & Akçayır, 2017; Odzemir, 2018). Nelle scienze umane l'impiego dell'AR ha supportato l'apprendimento delle lingue straniere e lo studio della storia, ricreando contesti culturali ed eventi storici del passato in chiave interattiva e coinvolgente (Radu & Schneider, 2019; Di Serio et al., 2013). Per quanto concerne le discipline tecniche e professionali, come ingegneria, medicina, design e arte, l'uso dei visori e di applicazioni avanzate ha permesso di ricreare simulazioni complesse, prototipazioni virtuali che hanno migliorato le competenze pratiche degli studenti (Lee et al., 2012). Infine, una metanalisi condotta da Odzemir et al. (2018) ha posto in evidenza come l'AR risulti particolarmente efficace nello studio delle scienze naturali e, seppur con dimensioni d'effetto di livello medio, anche nelle scienze sociali (Di Martino & Longo, 2019).

Numerosi studi hanno posto in evidenza i benefici correlati all'utilizzo dell'AR nella prassi didattica, nei diversi livelli di istruzione. È stato dimostrato, infatti, che l'AR ha un effetto positivo sui risultati di apprendimento degli studenti (Akçayır & Akçayır, 2017; Vázquez-Cano et al., 2019; Radu, 2014; Avila-Garzon et al., 2021; Ozdemir et al., 2018; Cao et al., 2023; Osman, 2020), sulla motivazione (Arici et al., 2019; Bacca et

al., 2018; Chiang et al., 2014; Ibañez et al., 2020; Erbas & Demirer, 2019; Garzón et al., 2019), sul coinvolgimento nell'attività di apprendimento (Chen et al., 2017), sull'autoefficacia (Cai et al., 2022), sull'autoregolamentazione dello studio (Uymaz & Uymaz, 2022) sulla ritenzione delle conoscenze (Huang et al., 2019; Marín-Marín et al., 2023) e sull' apprendimento inclusivo (Rossi et al., 2023).

Mediante la realtà aumentata gli studenti interagiscono in maniera più dinamica con l'ambiente circostante (De Martino & Dicataldo, 2023), facilitati da visualizzazioni tridimensionali (Wu et al. 2013), in grado di personalizzare l'apprendimento e permettere agli studenti di costruire le proprie strutture di conoscenza e le relazioni tra concetti e i principi teorici corrispondenti (Ibili et al., 2020). Questo approccio permette agli studenti di diventare "prosumatori" invece che semplici consumatori di informazioni (Cabero-Almenara et al., 2019).

Questa tecnologia immersiva, inoltre, supera le limitazioni dello spazio e delle risorse fisiche offrendo numerose possibilità laboratoriali (Garzón & Acevedo, 2019). L'AR si è dimostrata particolarmente utile ed efficace nel favorire una migliore comprensione di contenuti complessi e di difficile concettualizzazione e con un alto grado di astrazione, come i concetti geometrici, permettendo agli studenti di interagire con modelli tridimensionali manipolabili (Bulut & Borromeo Ferri, 2023). Inoltre, l'apprendimento supportato dall'AR aiuta a sviluppare le abilità spaziali (Kaufmann, 2004) e psicomotorie, grazie alla combinazione dell'esperienza tattile e visiva (Di Martino & Longo, 2019; Bulut & Borromeo Ferri, 2023). La visualizzazione 3D di oggetti in AR interattivi aiuta nel coinvolgere attivamente gli studenti durante il loro processo di apprendimento e permette agli studenti di migliorare la memorizzazione, di operare collegamenti tra le nuove e le vecchie conoscenze, mediante un apprendimento di tipo autentico e attivo (Mirza et al., 2025). Un altro elemento interessante è la personalizzazione dell'esperienza didattica, tale per cui la realtà aumentata può adattarsi ai diversi stili di apprendimento e a studenti con difficoltà o disabilità (Cakir et al., 2019; Wu et al., 2013).

Tuttavia, l'integrazione della tecnologia in classe non garantisce automaticamente risultati significativi. L'efficacia dipende dalla sua combinazione con approcci metodologici strutturati, in grado di supportare i processi cognitivi e l'apprendimento attivo degli studenti (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Fan et al., 2020).

Nonostante i vantaggi ampiamente riconosciuti, l'integrazione dell'AR nei contesti educativi presenta ancora numerose sfide e limitazioni. Una delle principali criticità è legata al fatto che le applicazioni in AR hanno un basso valore pedagogico, riferito cioè al fatto che gli sviluppatori non considerano gli approcci pedagogici adatti, ignorando che l'efficacia degli strumenti in AR è determinata dalle strategie pedagogiche utilizzate per implementarli, insieme alle loro caratteristiche tecniche (Flower, 2015; Mirza et al., 2025). Sempre sotto l'aspetto pedagogico, è stato evidenziato

che spesso gli insegnanti si oppongono all'adozione dell'AR, ancorati ad approcci didattici tradizionali e convenzionali, poiché spesso non hanno una formazione adeguata in merito e sottovalutano le potenzialità educative di questa tecnologia (Wu et al., 2013).

In secondo luogo, un altro limite riguarda la disponibilità e i costi delle infrastrutture tecnologiche e il supporto di una connessione internet, spesso assente nelle scuole (Bacca et al., 2014; Garzón et al., 2019; Ozdemir et al., 2018). Diversi autori sollevano, anche, il rischio del "sovraccarico cognitivo" derivante dalla complessità delle interfacce e dall'eccessiva quantità di stimoli simultanei che può distrarre gli studenti e ridurre la capacità di concentrazione sui contenuti principali (Parga et al., 2024). Inoltre, è stato evidenziato che, quando l'uso dell'AR non è assistito e gli studenti sono lasciati in autonomia nello svolgimento del compito, può insorgere confusione tra gli studenti e sortire un effetto negativo sul processo di apprendimento (Alzahrani, 2020). A questo si aggiunge anche una scarsa integrazione curricolare, poiché spesso ci si limita a sperimentazioni a breve termine, senza verificare l'impatto a lungo raggio dell'AR (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Infine, un'altra questione complessa, riguarda la formazione degli insegnanti, spesso, non adeguata a garantire un'integrazione pedagogicamente efficace (Salmaini et al., 2025). In assenza di un supporto mirato, molti insegnanti faticano ad integrare efficacemente questa tecnologia nella propria prassi didattica, sperimentando sentimenti di incertezza e, spesso, resistenza di fronte alla transizione verso metodologie innovative.

1.5.2 L'impatto della realtà aumentata sulla motivazione degli studenti

In chiave pedagogica, la motivazione si riferisce alle ragioni rispetto alle quali un individuo intraprende, mantiene o abbandona un determinato comportamento. Essa riguarda, anche, la direzione che un individuo dà al proprio comportamento, in base a ciò che sperimenta o agli obiettivi che cercherà di raggiungere o evitare e al grado di sforzo che farà per raggiungere tale obiettivo (Keller, 1987). La motivazione in ambito educativo non dipende solo dal compito proposto, ma è strettamente legata anche alle esperienze vissute dagli studenti, a fattori interni ed esterni che vengono percepiti come opportunità o ostacoli (Cabero-Almenara & Roig-Vila, 2019). In questa prospettiva, la motivazione è stata intesa anche come uno stato interiore che orienta all'azione, favorendo l'impegno nelle attività didattiche (Rodríguez et al., 2016; Cabero-Almentara & Roig-Vila, 2019). La motivazione si rivela particolarmente importante, poiché determina la qualità dell'apprendimento, del grado di dedizione allo studio e della percezione degli studenti rispetto alle proprie competenze e possibilità di successo (Wang & Gao, 2025).

Pur evidenziando i numerosi aspetti positivi, purtroppo, la motivazione ad apprendere viene spesso ignorata e trascurata nel settore educativo (Ryan & Deci, 2000). Gli insegnanti rivestono un ruolo fondamentale nel promuovere e sostenere lo sviluppo motivazionale negli studenti, inteso come abilità psicologica che consente agli studenti di esercitare, indirizzare e mantenere nel tempo un comportamento desiderato (Campos-Mesa et al., 2022).

La teoria dell'autodeterminazione (Ryan & Deci, 2000) individua nell'autonomia, nella competenza e nella relazione i bisogni fondamentali dell'essere umano, la cui soddisfazione promuove una motivazione intrinseca. Questo è un aspetto che incide fortemente anche nell'apprendimento e implica che gli insegnanti, quando progettano ambienti di apprendimento, tengano conto di queste esigenze, incentivando l'autonomia decisionale, offrendo feedback diretti tempestivi e stimolando interesse e divertimento (Di Martino & Longo, 2019).

Accanto a questa prospettiva, la teoria dell'aspettativa-valore sostiene che la motivazione degli studenti dipenda da due dimensioni strettamente connesse: da un lato, le aspettative di successo, che riguardano le credenze degli studenti rispetto alla loro possibilità di riuscita di un compito; dall'altro i valori attribuiti al compito stesso, che comprendono: l'importanza che viene data al risultato, l'interesse intrinseco e la percezione della sua utilità per gli obiettivi futuri (Gao et al., 2023).

In ambito didattico, numerose esperienze hanno evidenziato il potenziale dell'AR come strumento in grado di accrescere la motivazione degli studenti. L'impiego di questa tecnologia rafforza la motivazione e migliora l'apprendimento, poiché rende lo studio più coinvolgente, stimolante, dinamico e autonomo. Gran parte delle ricerche ha sottolineato come l'AR favorisca prestazioni di apprendimento più elevate, atteggiamenti positivi verso le discipline coinvolte e una maggiore soddisfazione, migliorando, conseguentemente, la comprensione dei contenuti (Sofianidis, 2022).

Diversi studi hanno documentato in modo concreto questi effetti. Di Serio, Ibáñez e Kloos (2013) in uno studio sperimentale sugli effetti dell'AR per lo studio dell'Arte, hanno rilevato livelli di motivazione superiori nel gruppo che si è avvalso dell'AR. Risultati analoghi sono stati riscontrati anche con studenti con diversi livelli di abilità che hanno raggiunto migliori risultati di apprendimento quando motivati da esperienze in AR. In uno studio del 2018, Buchner e Zumbach hanno verificato l'impatto di un ambiente di apprendimento con realtà aumentata e dispositivi mobili sulla motivazione, sugli esiti di apprendimento e sul carico cognitivo degli studenti. Per fare ciò, è stata organizzata una lezione di storia, durante la quale sono stati utilizzati dispositivi personali – ovvero smartphone - per convertire le immagini statiche in animazioni con l'AR. L'attività proposta è stata pensata per valutare l'interesse, la competenza percepita e la percezione di possibilità di scelta come indicatori per la motivazione intrinseca. Per definire l'efficacia dell'AR, nei contesti di apprendimento,

sono stati confrontati due gruppi che hanno utilizzato metodologie diverse per lo studio dello stesso argomento: il gruppo sperimentale che si è avvalso dell'AR e il gruppo di controllo che ha utilizzato un approccio tradizionale. Dopo aver confrontato i risultati dei due gruppi, è stato rilevato che l'apprendimento AR promuove la motivazione intrinseca e ha un impatto positivo sull'apprendimento della storia. Inoltre, all'interno del gruppo di apprendimento AR, il carico cognitivo non è stato percepito come problema (Di Martino & Longo, 2019).

Tuttavia, alcuni studi ridimensionano l'effetto positivo dei risultati, evidenziando come esso possa essere influenzato dall'effetto novità, secondo il quale i benefici osservati potrebbero dipendere, almeno in parte, dall'entusiasmo iniziale suscitato dall'introduzione della nuova tecnologia, con un impatto temporaneo sulle attitudini di apprendimento (Sofiandis, 2022). Proprio per tale ragione, la ricerca si è orientata anche su indagini che hanno approfondito l'influenza dell'AR sulla motivazione a lungo termine (Buchner & Zumbach, 2018).

1.6 Prospettive Didattiche per l'utilizzo dell'AR

L'introduzione della realtà aumentata nel panorama educativo ha avviato nuove riflessioni pedagogiche, necessarie quando subentrano nuove tecnologie educative, soprattutto se finalizzate al raggiungimento di specifici risultati di apprendimento (Cakir et al., 2019). Tuttavia, è emerso come la sfida principale nell'integrazione dell'AR in ambito educativo sia proprio l'assenza di conoscenza riguardo agli approcci pedagogici adatti all'uso di questa tecnologia innovativa (Mirza et al., 2025). Parlare di pedagogia significa, infatti, riferirsi ad un insieme di relazioni intenzionali che coinvolgono insegnanti, studenti, ambienti di apprendimento e attività formative, all'interno di una cornice coerente di obiettivi e pratiche (Gil Parga et al., 2024). L'impiego di tecnologie educative come la realtà aumentata potrebbe non migliorare il processo di apprendimento finché le possibilità tecnologiche non saranno in linea con le esigenze pedagogiche degli studenti e con il contesto educativo in cui vengono implementate (Garzón et al., 2019). Resta, tuttavia, evidente, l'esistenza di un divario, tecnologico e pedagogico al tempo stesso, ovvero, tra gli sviluppatori di applicazioni e gli educatori che adottano la tecnologia nella pratica quotidiana (Gil Parga et al., 2023).

In letteratura, è stata, inoltre, evidenziata l'insufficienza di framework pedagogici formali per guidare la progettazione e l'implementazione dell'AR in classe. L'assenza di approcci metodologici coerenti compromette il valore educativo dell'AR, rendendo più complessa la sua integrazione nel curriculum. Inoltre, è stato evidenziato che gli sviluppatori di applicazioni in AR non considerano gli approcci pedagogico-didattici necessari da integrare con le caratteristiche tecniche delle applicazioni, trascurando la relazione tra contenuti, contesto educativo e bisogni degli studenti,

privilegiando, invece, aspetti tecnici rispetto a quelli educativi (Wu et al., 2013).

Questo scollamento è aggravato dalla resistenza degli insegnanti, dalla mancanza di formazione specifica e dalla carenza di linee guida basate sulle teorie dell'apprendimento. Tali limiti sono confermati anche da indagini empiriche: solo una minoranza degli insegnanti utilizza regolarmente applicazioni mobili in AR in classe, e molti segnalano difficoltà legate all'usabilità, all'assenza di contenuti personalizzabili e alla scarsa integrazione con le finalità curricolari (Nikou et al., 2024).

Sulla base di quanto affermato, appare evidente la necessità di progettare ambienti di apprendimento che integrino le potenzialità offerte dalla realtà aumentata con principi pedagogici solidi (Mirza et al., 2025).

Tra le cornici teoriche di riferimento, la prospettiva del costruttivismo sociale riveste un ruolo centrale nell'interpretare l'apprendimento come un processo situato e condiviso, che prende forma attraverso l'interazione con gli altri e con l'ambiente. In questo quadro, l'AR si inserisce come potenziamento delle dinamiche di apprendimento collaborativo, favorendo la co-costruzione di significato, lo scambio di conoscenze e la negoziazione di punti di vista tra pari (Bower et al., 2014). In linea con questa prospettiva, diversi studi hanno evidenziato la compatibilità dell'AR con metodologie didattiche attive e partecipative, in grado di stimolare il coinvolgimento e la motivazione degli studenti. Tra queste, il *game-based learning* rappresenta un approccio tramite il quale viene coniugato l'elemento ludico con obiettivi formativi chiari, in modo da incrementare il livello di engagement e favorire il consolidamento delle conoscenze attraverso esperienze ludiche e ricreative (Fotaris et al., 2017). Allo stesso modo, il modello della *flipped classroom* si presta ad essere integrato con l'AR, poiché consente di spostare i contenuti informativi al di fuori della classe, in modo da liberare il tempo in aula per attività laboratoriali, cooperative e riflessive, che trovano nell'AR un catalizzatore per esperienze di apprendimento attivo (Mirza et al., 2025).

Oltre al costruttivismo, il quadro teorico di riferimento per l'integrazione dell'AR può essere ulteriormente arricchito anche da altri approcci pedagogici rilevanti. Il costruzionismo, ad esempio, valorizza l'apprendimento tramite la creazione attiva e la manipolazione concreta di artefatti digitali, rendendo l'AR uno strumento per l'esplorazione autonoma (Wang et al., 2018)

Tra i principi fondamentali di un framework pedagogico orientato all'AR abbiamo: l'integrazione coerente nel curriculum, la selezione di metodologie didattiche adeguate, lo sviluppo di tecniche valutative compatibili con l'AR e la formazione specifica degli insegnanti. Infine, altro elemento fondamentale, è la personalizzazione delle esperienze, nonché l'allineamento tra gli obiettivi di apprendimento, il design dell'applicazione e l'inclusività didattica (Khan et al., 2019).

Un'effettiva integrazione dell'AR nei contesti educativi presuppone, inoltre, la costruzione di una solida cornice pedagogica capace di guidarne

la progettazione, l'implementazione e la valutazione. In tale prospettiva, viene proposto il superamento dell'approccio tecnocentrico, che riduce l'AR ad una soluzione tecnologica slegata dai processi di apprendimento. Il *Design-Based Research* (DBR) emerge come strategia metodologica chiave per lo sviluppo di ambienti ARLE (*Augmented Reality Learning Environments*), basandosi su cicli iterativi di progettazione, osservazione e riflessione in ambienti educativi reali, e sulla collaborazione attiva di insegnanti e ricercatori. L'AR, in questo modo, viene concepita e interpretata non come un semplice strumento, ma come un artefatto educativo, capace di riflettere valori formativi e rispondere a bisogni concreti (Mirza et al., 2025).

Alcuni principi chiave identificati per la progettazione pedagogica di ambienti ARLE sono: l'apprendimento situato e legato a contesti autentici; la promozione della collaborazione tra pari; la facilità d'uso e l'accessibilità; lo sviluppo della riflessione e della metacognizione; l'integrazione con il curriculum e gli obiettivi didattici (Mirza et al., 2025).

Tuttavia, un elemento fondamentale e imprescindibile per l'efficace implementazione dell'AR e per sfruttarne a pieno il potenziale trasformativo è la formazione degli insegnanti. Questa non riguarda soltanto l'aspetto tecnico, poiché gli insegnanti devono acquisire consapevolezza pedagogica e le competenze progettuali per utilizzare l'AR in modo critico, riflessivo e intenzionale (Fan et al., 2020).

L'AR, in quest'ottica, non solo estende lo spazio dell'apprendimento, ma ne ridefinisce le strutture, i ruoli e le finalità educative. Solo un approccio teorico e metodologico solido potrà consentire alla realtà aumentata di divenire un autentico catalizzatore di innovazione nella didattica.

1.7 Formare gli insegnanti alla Realtà Aumentata

L'adozione delle tecnologie è strettamente legata al ruolo degli insegnanti, i quali hanno il compito di guidare gli studenti nell'utilizzo efficace degli strumenti e di garantire che i contenuti educativi vengano erogati in modo adeguato e coerente con gli obiettivi di apprendimento della classe di riferimento (Hennè et al., 2024). Marín-Marín e colleghi (2023) evidenziano, appunto, come l'uso della realtà aumentata in classe non coinvolga soltanto gli studenti, ma dipenda fortemente dalla volontà, dall'attitudine e dalle competenze degli insegnanti. Pertanto, è importante da un lato fornire loro le competenze tecniche, dall'altro determinare gli atteggiamenti e le percezioni degli insegnanti nei confronti di questa nuova tecnologia, proprio in virtù del fatto che questi ultimi influenzano il modo in cui la tecnologia viene adottata e diffusa nei contesti scolastici (Scherer & Teo, 2019). Inoltre, l'alfabetizzazione digitale degli insegnanti rappresenta una priorità già sottolineata dal PNSD (2015) e dal Piano d'Azione europeo per l'Istruzione Digitale 2021-2027 (DEAP 2021-2027), a maggior ragione del fatto che spesso gli insegnanti sono poco consapevoli delle proprie

competenze digitali (Sànchez-Cruzado et al., 2021 in Fornasari et al., 2023).

Tuttavia, esistono alcuni ostacoli nell'implementazione dell'AR, che derivano dalla mancanza di competenze tecnologiche e dalla rapida evoluzione della tecnologia (Wang et al., 2024). Gli insegnanti riconoscono i benefici dell'AR e la percepiscono come una metodologia innovativa in grado di aumentare il coinvolgimento degli studenti (Marín-Marín et al., 2023), ma la sua integrazione in classe è influenzata dalla volontà e dalle capacità degli stessi di attuarla (Ashley-Welbeck & Vlachopoulos, 2020). La formazione, pertanto, si rivela cruciale per la sua implementazione e per massimizzare i vantaggi dell'AR (Sáez-López et al., 2020).

Le competenze da sviluppare riguardano almeno tre dimensioni principali: quella tecnologica – relativa alla padronanza degli strumenti -, quella pedagogica-didattica – che permette di collegare coerentemente l'AR alle metodologie didattiche attive, collaborative e inclusive – e quella disciplinare – che permette di declinare l'AR nelle varie discipline, valorizzando le specificità (Krug et al., 2023).

Il modello TPACK (Mishra & Koehler, 2006) è il riferimento teorico più diffuso per guidare efficacemente questa integrazione, in quanto offre una visione unitaria del rapporto tra conoscenza tecnologica, pedagogica e disciplinare. Tuttavia, in letteratura, sono stati proposti altri modelli e approcci formativi volti a sostenere gli insegnanti nello sviluppo di competenze per l'utilizzo efficace della realtà aumentata. Tra questi il *Learning Technology by Design* (Buchner & Zumbach, 2022), che propone una formazione di tipo esperienziale fondata sulla progettazione attiva e riflessiva con attività didattiche; il *Design Thinking Activity Plan Template* (DTAPT) (Milrad et al., 2023), volto a supportare metodologicamente la progettazione di esperienze aumentate; il framework DiKoLAN (Krug et al., 2023; Henne et al., 2024), sviluppato per rafforzare competenze digitali disciplinari, in particolare nell'area STEM. Infine, il TARC che promuove l'acquisizione di competenze tecniche e creative, unite a quelle pedagogiche e didattiche, in modo da accompagnare gli insegnanti nell'implementazione efficace e integrata dell'AR nella loro prassi didattica (Nikou et al., 2024).

La letteratura evidenzia, inoltre, che la formazione degli insegnanti incide in modo significativo anche sul piano motivazionale ed emotivo, contribuendo al rafforzamento della predisposizione al suo utilizzo (Buchner & Zumbach, 2022). A questo si affianca la necessità di sviluppare competenze trasversali, quali la collaborazione, la creatività e la riflessione critica che contribuiscono a delineare un profilo di insegnante che non è più quello di un semplice fruitore passivo della tecnologia ma di un professionista in grado di valutarne anche l'impatto pedagogico (Buchner & Zumbach, 2022; Milrad et al., 2023).

Viene, altresì, posta in rilievo l'importanza della creazione di comunità di pratica tra gli insegnanti, in modo da condividere esperienze e ridurre l'isolamento professionale, così da consolidare l'uso dell'AR nella prassi

didattica (Krug et al., 2023; Henne et al., 2024). Non mancano, inoltre, prospettive orientate ai principi dell'*Universal Design for Learning* (UDL), per garantire che l'integrazione dell'AR tenga conto anche delle differenze negli stili di apprendimento, in modo che gli insegnanti abbiano le competenze per poter avviare interventi didattici personalizzati (Di Martino & Longo, 2019).

È bene sottolineare, però, che ci sono delle evidenti lacune circa la mancanza di programmi formativi rivolti agli insegnanti sia in servizio che in formazione (Wu et al., 2013; Wang & Li, 2024; Belda-Medina, 2022). Gli insegnanti in servizio, ad esempio, guardano con interesse all'AR, ne riconoscono il potenziale educativo ma, al tempo stesso, integrano poco o niente l'AR nella loro prassi didattica (Silva et al., 2019). In generale, il loro atteggiamento è moderatamente positivo, mosso da curiosità e disponibilità all'innovazione, ma frenato da una conoscenza pratica piuttosto limitata rispetto a questa tecnologia innovativa. Inoltre, la carenza di infrastrutture tecnologiche e di applicazioni adeguate, non supporta un'eventuale implementazione in aula (Wyss & Bäuerlein, 2024).

Sperimentare programmi di formazione per i futuri insegnanti contribuisce a sviluppare competenze digitali e pedagogiche integrate, rafforzando la predisposizione positiva all'adozione futura dell'AR (Sáez-López et al., 2020; Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022; Kim & Curry, 2020).

È fondamentale, però, che la preparazione non rimanga superficiale ed episodica, senza un reale collegamento con la progettazione didattica e gli obiettivi curricolari. Pertanto, bisogna che ci sia una sistematizzazione di programmi formativi continui sia per gli insegnanti in formazione che per quelli in servizio (Henne et al., 2024; Gómez-García et al., 2021).

Queste implicazioni si inseriscono in un quadro più ampio, in cui le politiche educative nazionali ed europee hanno da tempo sottolineato la necessità di rafforzare le competenze digitali degli insegnanti e di incentivare la promozione di metodologie didattiche attive. In Italia, Il Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD), sia nella versione del 2015 che in quella successivamente aggiornata attraverso gli interventi previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR 2021-2026), ha inserito tra i suoi obiettivi strategici la formazione digitale dei docenti e la diffusione di pratiche inclusive e sostenibili (MIUR, 2015; MIM, 2022). In continuità con queste disposizioni, anche le Indicazioni Nazionali per il Curricolo (MIUR, 2025) hanno ribadito la necessità di valorizzare la dimensione digitale come competenza chiave per la cittadinanza e per arricchire l'esperienza formativa.

A livello europeo, il Piano d'Azione per l'Istruzione Digitale 2021-2027, promosso dalla Commissione Europea, individua nell'innovazione tecnologica e nella competenza digitale due importanti priorità per lo sviluppo dei sistemi educativi, con un focus particolare sulla personalizzazione didattica e sulla riduzione delle diseguaglianze

(European Commission, 2020). Peraltro, la scuola primaria viene indicata e riconosciuta come il primo ambiente in cui costruire una cultura digitale consapevole, dove coniugare la crescita cognitiva con quella socio-emotiva e corporea.

Buchner & Zumbach (2020) evidenziano come gran parte della ricerca sull'insegnamento e apprendimento con realtà aumentata si sia concentrata prevalentemente sugli effetti che la tecnologia immersiva apporta sull'apprendimento degli studenti, trascurando l'indagine empirica su come sviluppare sistematicamente il TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) degli insegnanti in relazione all'utilizzo della realtà aumentata. L'integrazione di tecnologie sempre più sofisticate ha introdotto, infatti, nuove sfide per gli insegnanti (Barroso et al., 2019; Cabero-Almenara et al., 2021; Silva-Díaz et al., 2021; Hussein, 2025), generando un divario significativo tra la crescente domanda di innovazione tecnologica nell'ambiente scolastico e il livello di preparazione effettiva degli insegnanti (Sanchez-Prieto et al., 2019).

La qualità della formazione è fondamentale in quanto rappresenta un fattore chiave per l'implementazione efficace dell'innovazione tecnologica. Se, da un lato, la formazione iniziale consente di costruire le basi pedagogiche, didattiche e operative necessarie, dall'altro la formazione continua assume un ruolo essenziale nell'aggiornamento professionale, importante in un contesto in costante evoluzione che mira a garantire un insegnamento di qualità. Inoltre, è fondamentale che gli insegnanti sviluppino la capacità di progettare e creare contenuti innovativi con le tecnologie per arricchire e supportare la loro attività didattica (Vázquez-Cano et al., 2020). Di pari importanza è la necessità di garantire l'accesso alle risorse tecnologiche, accompagnato da un supporto adeguato e continuativo, al fine di implementare in modo efficace questi strumenti nella pratica didattica (Cabero Almenara et al., 2021).

La formazione degli insegnanti all'uso della realtà aumentata rappresenta una sfida cruciale per l'innovazione educativa contemporanea, in quanto l'integrazione efficace di questa tecnologia presuppone un insieme integrato di competenze tecniche, pedagogiche, didattiche e disciplinari (Buchner & Zumbach, 2020).

Tra le principali barriere che ostacolano l'implementazione dell'AR nella didattica si annovera la scarsa preparazione tecnica e didattica degli insegnanti (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022; Tzima et al., 2019), la limitata disponibilità di strumenti adeguati (Salmaini et al., 2025) e una diffusa percezione di complessità nell'utilizzo di queste tecnologie (Ripsam et al., 2023). Un ulteriore limite riguarda la natura delle iniziative formative esistenti, che spesso si concentrano prevalentemente sugli aspetti tecnici e strumentali, trascurando lo sviluppo di competenze necessarie per consentire un'integrazione consapevole ed efficace dell'AR nel processo di insegnamento-apprendimento (Özdemir et al., 2018).

La letteratura sottolinea il rischio che l'AR venga utilizzata superficialmente, come semplice espediente visivo, senza una reale integrazione strategica nella progettazione didattica (Bacca et al., 2014). Inoltre, l'efficacia dell'introduzione di una tecnologia innovativa dipende

fortemente anche dalle attitudini e dalla volontà degli insegnanti e dalla loro disponibilità ad adottare nuove pratiche (Marín-Marín et al., 2023). Diverse ricerche evidenziano, infatti, come gli insegnanti si percepiscano come inadeguatamente preparati ad utilizzare strumenti digitali, segnalando un divario preoccupante tra la domanda di innovazione educativa e le percezioni di autoefficacia iniziali (Barroso-Osuna et al., 2019; Sánchez-Prieto et al., 2019). Diventa fondamentale, dunque, non solo garantire l'accesso alle tecnologie, ma anche promuovere un cambiamento culturale e metodologico tale per cui gli insegnanti possano essere messi nelle condizioni di progettare, selezionare, adattare e integrare contenuti in AR coerenti con gli obiettivi didattici e curricolari (Buchner & Zumbach, 2020; Silva et al., 2019; Bacca et al., 2019; Kim & Curry, 2020).

In tal senso occorre, dunque, ripensare la formazione degli insegnanti adottando un approccio olistico e integrato, che coniughi teoria e pratica, competenze tecnologiche e didattiche, favorendo esperienze autentiche, riflessione critica e una connessione costante con i bisogni reali del contesto scolastico (Hussein, 2025).

Tale formazione dovrebbe includere metodologie attive come il *project-based learning* e il *learning by design*, esperienze pratiche di creazione di contenuti AR, e approcci innovativi come il *service learning*, che integrano l'uso della tecnologia con l'impegno civico e la collaborazione comunitaria, in modo da rendere l'apprendimento più significativo e contestualizzato (Petrucco & Agostini, 2016; Hussein, 2025). Buchner & Zumbach (2020) propongono di superare la divisione tra formazione tecnologica e pedagogica con l'approccio *Learning Technology by Design*, che permette agli insegnanti di confrontarsi con autentici problemi pedagogici durante il percorso formativo (Mishra & Koehler, 2006; Buchner & Zumbach, 2020).

La ricerca conferma, inoltre, che le percezioni, le attitudini e le credenze degli insegnanti giocano un ruolo chiave nell'adozione dell'AR: atteggiamenti positivi, fiducia nell'utilità della tecnologia e la percezione di facilità d'uso sono fattori predittivi significativi dell'integrazione della AR nella pratica didattica (Jang et al., 2021; Asiri, 2022; Marín-Marín et al., 2021; Koutromanos et al., 2024). Per tale ragione, i programmi di formazione devono includere momenti di riflessione e di supporto per aiutare gli insegnanti nella gestione delle barriere personali e istituzionali che possono ostacolare l'adozione dell'innovazione tecnologica (Rafiq et al., 2025).

L'introduzione della realtà aumentata nella formazione degli insegnanti non solo contribuisce a potenziare le competenze digitali, ma promuove anche la collaborazione, la comunicazione e lo sviluppo professionale, preparando gli insegnanti ad affrontare con maggiore efficacia contesti educativi sempre più complessi e dinamici (Korenova et al., 2024; Garzón et al., 2020). Tuttavia, per garantire un'implementazione sostenibile e di qualità è indispensabile investire in infrastrutture, supporto tecnico e comunità di pratica che accompagnino gli insegnanti nel percorso di innovazione continua.

1.8 La Realtà Aumentata nella Scuola Primaria

Il contesto della scuola primaria presenta caratteristiche, opportunità e sfide peculiari rispetto ad altri ordini scolastici. Gli alunni necessitano di approcci concreti, coinvolgenti, ludici e, al tempo stesso, di una guida costante da parte degli insegnanti, soprattutto quando entrano in contatto con strumenti tecnologici. La realtà aumentata, grazie alla sua natura prettamente visiva e interattiva, si presta e si adatta bene ai loro bisogni, offrendo esperienze di apprendimento dinamiche (Fearn & Hook, 2024).

In una recente revisione sistematica sul tema, si evince che l'impiego dell'AR nella scuola primaria è aumentato significativamente tra il 2019 e il 2020. Questo incremento è probabilmente dovuto al rapido sviluppo della tecnologia e, dunque, alla maggiore accessibilità delle applicazioni nei contesti scolastici di primo grado (Çetin, 2022).

In letteratura, emerge come l'impiego dell'AR accresca la motivazione e l'*engagement* degli studenti in particolare per quanto riguarda lo studio delle materie STEAM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria, Arte e Matematica) (Gulbay et al., 2025). Il valore aggiunto risiede nella capacità dell'AR di attivare forme di apprendimento partecipativo e attivo (Jesionkowska et al., 2020; Bulut & Borromeo- Ferri, 2023 in Gulbay et al., 2025) e di sostenere lo sviluppo di conoscenze sia fattuali che concettuali (Zhang et al., 2022).

Diversi studi segnalano miglioramenti nei risultati di apprendimento degli alunni che hanno utilizzato l'AR, rispetto a gruppi di controllo che, invece, hanno continuato con una metodologia tradizionale. Ad esempio, è stata condotta una sperimentazione in una classe elementare in Turchia, dove sono state introdotte attività di scienze con realtà aumentata ed è stato analizzato come il gruppo sperimentale ha raggiunto punteggi più alti nei test di conoscenza rispetto ad una classe parallela che ha svolto le stesse lezioni, ma in maniera convenzionale (Sahin & Yilmaz, 2020). L'utilizzo dell'AR incide in termini di conoscenze acquisite e di comprensione concettuale. Gli alunni, grazie alle potenzialità della tecnologia riescono a ricordare concetti e a spiegare con chiarezza i fenomeni studiati, poiché hanno potuto osservare e manipolare virtualmente gli oggetti in prima persona (Chen et al., 2017).

Oltre sulle conoscenze disciplinari, l'AR sembra incidere anche sull'aspetto motivazionale e cognitivo, molto importanti in questa fase evolutiva. La ricerca evidenzia un aumento del livello di attenzione durante le attività in AR, poiché gli alunni sono coinvolti e interagiscono in maniera diretta con gli oggetti tridimensionali proposti (Gómez-García et al., 2020). Ciò contribuisce, inoltre, a creare una disposizione positiva verso la disciplina studiata.

Inoltre, la realtà aumentata può contribuire allo sviluppo di competenze trasversali già durante questa prima fase della vita. Ad esempio, l'impiego di giochi in AR può stimolare la collaborazione tra pari e potenziare le abilità di *problem solving* (Fearn & Hook, 2024). L'AR promuove anche la consapevolezza digitale, in quanto favorisce un uso responsabile e

consapevole della tecnologia a fini educativi. Le evidenze presenti in letteratura mostrano come l'AR non solo aumenti *l'engagement* e la motivazione, ma rappresenti anche un'opportunità per sviluppare creatività e competenze sociali, soprattutto se integrata in contesti didattici di tipo *game-based learning* o in attività curricolari interdisciplinari (Yulianti et al., 2025). Tuttavia, viene sottolineata l'importanza di progettare accuratamente gli ambienti AR per evitare rischi di sovraccarico cognitivo e di utilizzo superficiale della tecnologia.

Le applicazioni più consolidate della realtà aumentata riguardano prevalentemente l'ambito dell'educazione scientifica. In particolare, numerosi studi hanno evidenziato l'efficacia dell'AR nell'insegnamento e apprendimento della geometria. L'utilizzo di ambienti aumentati consente di potenziare le abilità di visualizzazione spaziale e la comprensione tridimensionale degli oggetti nello spazio, rendendo più accessibili concetti astratti come il volume, l'area superficiale e le proprietà delle figure geometriche. Inoltre, l'interattività propria dell'AR contribuisce a ridurre il carico cognitivo, favorendo la memorizzazione dei contenuti e facilitando l'acquisizione di concetti (Fernandes & Rodrigues, 2021). Infatti, la possibilità di ruotare, ingrandire e osservare figure da prospettive differenti permette di esplorare dettagli difficili da cogliere con strumenti tradizionali come carta e matita. In una didattica convenzionale, infatti, le rappresentazioni bidimensionali risultano spesso limitanti per spiegare concetti tridimensionali, compromettendo la comprensione delle relazioni geometriche e dei principi spaziali (Li & Liu, 2023). Inoltre, interagire direttamente con modelli geometrici tridimensionali ed effettuare deduzioni dal piano 3D a quello 2D facilita ulteriormente la comprensione dei concetti (Avila-Garzon et al., 2021; Bulut & Ferri, 2023).

Risultati analoghi si riscontrano nelle scienze naturali, dove l'AR permette di esplorare concetti astratti come il sistema solare, attraverso modelli tridimensionali interattivi e dinamici, rendendo i concetti meno astratti e più intuitivi (Febyliana et al., 2025). Esperienze didattiche documentano come l'uso di applicazioni AR consenta agli studenti di osservare fenomeni dinamici, ad esempio le fasi lunari, grazie alla visualizzazione in 3D di Terra e Luna in movimento (Bistaman et al., 2018). Le attività laboratoriali vengono, altresì, incentivate e potenziate grazie all'AR, permettendo agli alunni di esplorare processi biologici o fisici altrimenti difficili da osservare in aula, favorendo lo sviluppo di capacità trasversali e scientifiche (Hamdiyati et al., 2025).

Anche nell'educazione linguistica c'è stato un aumento nell'uso della realtà aumentata, ad esempio per facilitare l'apprendimento delle lingue straniere, per acquisire un nuovo vocabolario e per sviluppare la pratica comunicativa, con effetti sulla motivazione e sull'autoefficacia degli alunni (Khatoony et al., 2025). Allo stesso modo, nell'educazione artistica e culturale, l'AR stimola la creatività e l'interesse verso l'arte e le sue manifestazioni (Ramadhani et al., 2025).

Oltre alle applicazioni per specifiche discipline, la letteratura recente segnala l'emergere di strumenti didattici appositamente ideati per la scuola primaria e arricchiti con l'AR, tra cui spiccano i libri illustrati e le *flashcard*.

I libri illustrati, in particolare, rappresentano una delle applicazioni più innovative e promettenti dell'AR per la scuola primaria, poiché uniscono la dimensione tradizionale del testo cartaceo o digitale con contenuti interattivi e multimediali. I libri illustrati sono caratterizzati da parole semplici e scene facili da comprendere, qualità che li rendono particolarmente adatti ai bisogni cognitivi dei bambini (Wu et al., 2024). Uno dei primi esempi di libri illustrati e aumentati è il *Magic Book* (Billinghrust et al., 2002), nel quale l'AR si sovrappone ad immagini stampate nel libro fisico e appare sullo schermo in tempo reale, creando uno spazio ibrido unificato (Liu et al., 2019). La possibilità di integrare animazioni 3D, suoni e interazioni tattili consente agli studenti di esplorare in modo dinamico temi disciplinari complessi, come le scienze naturali o la matematica, favorendo così l'apprendimento multimodale e lo sviluppo del pensiero critico (Putri & Nurafni, 2025). In ambito linguistico, gli *AR Books* si sono dimostrati efficaci per sostenere l'acquisizione del vocabolario e la comprensione testuale nei bambini bilingui, grazie alla combinazione tra lettura interattiva e feedback immediato (Decraene & Montero Perez, 2025).

L'integrazione dell'AR nei libri illustrati di matematica ha mostrato effetti positivi sia sul pensiero geometrico che sulla riduzione del carico cognitivo, rendendo più accessibile l'apprendimento di concetti complessi (Wu et al., 2024). In effetti, studi precedenti avevano già dimostrato la difficoltà di apprendere la geometria solida basandosi esclusivamente sulla tradizionale grafica bidimensionale (Battista, 2003). Per ovviare a tali limiti, sono state sviluppate applicazioni come *GeoCAL* (Chang et al., 2007), o *Geometers' Sketchpad* (Khairiree, 2019) che permettono agli alunni della scuola primaria di interagire direttamente con l'oggetto di studio. *The History of Circle* è un esempio di libro illustrato e aumentato appositamente sviluppato per insegnare ai bambini di una scuola primaria in Cina, le proprietà del cerchio, attraverso attività visive e interattive che rafforzano la comprensione dei concetti geometrici (Wu et al., 2024).

Anche le *flashcard* sono strumenti che possono essere integrati con la realtà aumentata. Le flashcard sono tradizionalmente utilizzate in campo didattico per favorire l'apprendimento attraverso la ripetizione e il richiamo attivo di concetti, immagini o termini. Il loro valore educativo risiede nella capacità di rafforzare l'acquisizione delle conoscenze mediante processi di esercitazione, memorizzazione e autovalutazione (Yousef, 2021). Le versioni arricchite con l'AR rappresentano un'evoluzione di questo strumento, poiché integrano contenuti multimediali 3D che arricchiscono l'esperienza di apprendimento. In questo modo, le *flashcard* aumentate non si limitano più ad un supporto statico, ma diventano degli artefatti interattivi che favoriscono un apprendimento attivo e multimodale rispetto

alle tradizionali versioni cartacee (Yousef, 2011). Peraltro, la somministrazione di questionari motivazionali basati sul modello ARCS di Keller (1987) hanno confermato che l'esperienza con le *flashcard* aumentate stimola l'attenzione, la soddisfazione e il desiderio di apprendere, soprattutto proprio tra gli alunni di scuola primaria (Yousef, 2011).

In sintesi, l'AR si configura come uno strumento particolarmente adatto al contesto della scuola primaria e versatile rispetto ai contenuti disciplinari. Come evidenziato da Mayer (2024) nella sua *Teoria dell'apprendimento multimediale*, l'apprendimento risulta più efficace quando i canali visivo e verbale vengono attivati e integrati in maniera complementare. In questa prospettiva, l'AR si rivela particolarmente adatta a questa esigenza, combinando immagini tridimensionali e contenuti testuali, riducendo il carico cognitivo e favorendo l'elaborazione attiva da parte degli alunni.

Nell'ambito della scuola primaria, l'adozione della realtà aumentata richiede una riflessione attenta sulle metodologie didattiche più adeguate e sul ruolo attivo dell'insegnante. La letteratura, a tal proposito, evidenzia come le attività strutturate all'interno di un contesto ludico o basato sul gioco risultano strategie particolarmente efficaci, dato che la dimensione del gioco favorisce la motivazione, *l'engagement* e l'apprendimento di tipo esperienziale. Infatti, la realtà aumentata integra elementi che si riconducono al principio dell'"imparare giocando", che stimolano la curiosità e la partecipazione attiva degli studenti e lo sviluppo di competenze trasversali (Udeozor et al., 2023). Approcci come il *learning by doing* e il *cooperative learning* si rivelano particolarmente efficaci per la scuola primaria, in quanto valorizzano l'esplorazione, la condivisione tra pari e la costruzione attiva di conoscenza (Jesionkowska et al., 2020). Il ruolo dell'insegnante risulta cruciale nel guidare queste esperienze e nel trasformare le potenzialità visive e ludiche di questa tecnologia immersiva in attività didattiche significative, connesse al curriculum e agli obiettivi di apprendimento.

1.9. Potenzialità educative della Realtà Aumentata per la Scuola Primaria

La realtà aumentata emerge, tra le tecnologie innovative, come uno strumento trasformativo in grado di migliorare significativamente l'esperienza di apprendimento, integrando le informazioni digitali con il mondo fisico (Korenova et al., 2024; Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022). A differenza della realtà virtuale, che presuppone un'immersione totale, la realtà` aumentata si distingue per la sua capacità di sovrapporre oggetti tridimensionali al mondo reale, creando ambienti dinamici, senza interrompere la continuità tra reale e virtuale (Klopfer & Sheldon, 2010; Cai et al., 2014; Akçayır & Akçayır, 2017; Di Martino & Longo, 2019). L' AR è versatile e si presta, pertanto, a quasi ogni forma di contenuto digitale, come rappresentazioni di immagini bidimensionali o tridimensionali (immagini, video, animazioni o simulazioni), stimoli tattili, audio e visivi (Wu et al.,

2013; Yuen et al., 2011), permettendo una transizione graduale e multisensoriale dalla realtà alla virtualità (Palamar et al., 2021).

Nell'ultimo decennio, l'impiego dell'AR in campo educativo ha conosciuto una crescita significativa, favorita dall'evoluzione tecnologica e dalla crescente accessibilità di dispositivi mobili, come tablet e smartphone, che hanno affiancato apparecchiature più sofisticate e complesse come i visori (Rebollo et al., 2022; Kamińska et al., 2023). Questo ha reso l'AR più facilmente sperimentabile e implementabile nella pratica didattica quotidiana, anche in contesti caratterizzati da risorse limitate.

Tre sono le principali tipologie di tecnologie in realtà aumentata: *marker-based* (utilizza immagini, codici QR o altri trigger visivi per attivare contenuti digitali); AR *markerless* (basata sul riconoscimento di oggetti o superfici, senza la necessità di marker fisici); AR *location based* (sfrutta la geolocalizzazione per associare contenuti a luoghi specifici) (Fraillom et al., 2019; Georgiou & Kyza, 2018).

Una delle applicazioni più diffuse in ambito didattico è il tipo *marked-based*, con l'integrazione di elementi multimediali (video, audio, modelli 3D) all'interno di libri, attraverso immagini trigger o codici QR attivabili mediante fotocamera dello smartphone o tablet). Questa modalità consente agli studenti di accedere a contenuti digitali aggiuntivi tramite dispositivi mobili, rendendo l'apprendimento più coinvolgente, motivante e personalizzato (Wu et al., 2013; Yuen et al., 2011).

Un elemento centrale nell'integrazione didattica dell'AR consiste nella possibilità per gli insegnanti di assumere un ruolo attivo e creativo nel processo di insegnamento, passando da semplici fruitori di contenuti a progettisti e autori di esperienze aumentate. Questo passaggio riflette un cambiamento di paradigma, che vede l'AR non più solo come uno strumento per intrattenere e visualizzare, ma una piattaforma attraverso cui sviluppare competenze trasversali, come la progettazione, la narrazione multimediale, la risoluzione di problemi e il pensiero critico (Bacca et al., 2014).

Al giorno d'oggi sono disponibili numerosi *software delevopment kit* (SKD) e ambienti di *authoring* che rendono possibile la creazione di contenuti in AR anche per gli utenti che non hanno competenze avanzate di programmazione. Strumenti come *Vuforia, ZapWorks, ThinkerCad e BlippAR* offrono interfacce intuitive e modalità drag-and-drop che semplificano il processo di sviluppo di esperienze interattive (Hanafi et al. 2019).

Queste piattaforme consentono, ad esempio, di associare modelli tridimensionali, suoni o animazioni a marker visivi o ad oggetti reali o a coordinate geografiche, supportando in questo modo la realizzazione di attività educative personalizzate. Nel dettaglio:

- *Vuforia*. Si distingue per il tracciamento preciso di oggetti e immagini ed è spesso integrato in ambienti Unity per la progettazione didattica avanzata;
- *ZapWorks*. Consente di creare esperienze basate su webAR e fruibili direttamente da browser mobili, senza la necessità di applicazioni;
- *TinkerCad*. È ampiamente utilizzato per la modellazione 3D, con la possibilità di esportare oggetti integrabili in ambienti AR e VR;

- *BlippAR*. Propone una piattaforma user-friendly per la creazione di esperienze aumentate connesse a contenuti educativi, con soluzioni pensate per scuole e musei.

L'integrazione dell'AR in ambito scolastico, in particolare nella scuola primaria, si è rivelata una strategia efficace per potenziare l'apprendimento, in quanto favorisce un'elevata assimilazione delle informazioni, grazie all'interattività, all'attivazione multisensoriale e alla possibilità di visualizzare i contenuti tridimensionali, rendendo comprensibili i concetti complessi o astratti e mantenendo viva più a lungo l'attenzione degli alunni (Palamar et al., 2021;Sarkar et al., 2020; Bulut & Borromeo-Ferri, 2023; Arici et al., 2024).

L'interazione diretta con i contenuti tridimensionali migliora la cognizione spaziale, stimola la memoria visiva, aumenta la ritenzione delle informazioni e la personalizzazione dei contenuti, mentre le attività in AR, soprattutto di tipo laboratoriale, concorrono ad aumentare la motivazione e l'engagement degli studenti (Dutta et al., 2022; Ibáñez et al., 2020; Lampropoulos & Evangelidis, 2025; Belda-Medina et al., 2022).

L'integrazione di questa tecnologia consente, inoltre, di migliorare il rendimento scolastico degli studenti, favorendo un apprendimento più efficace e duraturo (Vázquez-Cano et al., 2019; Avila-Garzon et al., 2021: Wu et al., 2018). Oltre ai benefici legati all'apprendimento dei contenuti disciplinari, l'AR promuove lo sviluppo di competenze trasversali, come la collaborazione, il pensiero critico e la capacità di risoluzione dei problemi (Demircioglu et al., 2023; Chang & Hwang, 2018; Garzón & Acevedo, 2019; Korenova et al., 2024). L'insegnamento tradizionale, dunque, viene potenziato e non sostituito dall'uso dell'AR, offrendo la possibilità di personalizzare i percorsi di apprendimento e di adattarli ai diversi stili cognitivi degli studenti.

L'uso di dispositivi mobili consente agli studenti di manipolare oggetti digitali in modo dinamico e di controllare il movimento, la rotazione e la prospettiva, migliorando la cognizione spaziale e sviluppando competenze trasversali, come la capacità di pensiero computazionale (Medina Herrera et al., 2019; Li et al., 2023). Inoltre, l'uso di strumenti in AR durante lo studio offre l'opportunità di aumentare il realismo dello studio e procura un'esperienza emotiva e cognitiva che supporta gli studenti nell'apprendimento sistematico (Syrovatskyi et al., 2018).

Il coinvolgimento di più canali sensoriali e il feedback immediato avviano forme di apprendimento esperienziale e incoraggiano l'autoregolazione e una maggiore consapevolezza del proprio processo di apprendimento (Palamar et al., 2021; Beisenbayeva et al., 2024). Questi benefici rendono l'AR uno strumento altamente promettente per arricchire la didattica e preparare gli studenti a comprendere e affrontare con successo contenuti di elevata complessità.

L'adozione dell'AR nei contesti educativi richiede una riflessione pedagogica approfondita, finalizzata a coniugare l'uso della tecnologia con approcci metodologici attivi e centrati sullo studente, come il *Project-Based Learning* (Jesionkowska et al., 2020). Questo approccio rende gli studenti protagonisti del loro percorso formativo, stimolando il pensiero critico, la

comunicazione, la collaborazione e la creatività (Nindiasari et al., 2024). Tra le altre si annoverano il *Cooperative Learning* (Sarkar et al., 2020), il *Game-Based Learning* (Lampropoulos et al., 2023), il *Problem Based Learning* (Awaluddin et al., 2024) e *l'Inquiry Based Learning* (Cai et al., 2022), che permettono di supportare esperienze educative personalizzate e significative.

Hanid et al. (2020) hanno identificato quattro strategie di apprendimento che supportano l'AR: *l'apprendimento interattivo, apprendimento basato sul gioco, l'apprendimento collaborativo e l'apprendimento esperienziale*. In particolare, le prime due supportano e migliorano la motivazione e l'interesse degli studenti, mentre l'apprendimento collaborativo migliora le prestazioni e il supporto reciproco, potenziando i processi di apprendimento; infine, l'apprendimento esperienziale utilizza l'esperienza come mezzo per l'apprendimento, integrando attivamente la conoscenza (Czok et al., 2023).

In aggiunta, gli autori identificano altre cinque strategie di apprendimento che subentrano con l'integrazione dell'AR, che comprendono l'*apprendimento misto*, che combina attività digitali e tradizionali; l'*apprendimento ubiquitario*, che permette di accedere ai contenuti in qualsiasi momento e luogo; l'*apprendimento basato su argomentazione*, che stimola il ragionamento critico; l' *apprendimento mobile*, che sfrutta la portabilità dei dispositivi digitali; *l'apprendimento interattivo*, che massimizza *l'engagement* attraverso strumenti digitali innovativi (Hanid et al., 2020; Czok et al., 2023). Quando si integra la realtà aumentata nella progettazione di ambienti di apprendimento, è necessario considerare queste strategie, insieme alle esigenze specifiche degli studenti, agli obiettivi di apprendimento e alle risorse tecnologiche disponibili (Czok et al., 2023).

1.10 Riflessioni Conclusive

In questo capitolo è stata analizzata l'importanza della realtà aumentata in ambito didattico, con le conseguenti implicazioni che derivano dal suo impiego nei contesti scolastici. La capacità dell'AR di integrare elementi digitali e realtà fisica, tale per cui si creano ambienti di apprendimento ibridi e interattivi, è in grado di ridefinire l'esperienza stessa della didattica, introducendo una prospettiva di tipo costruttivista e partecipativa, a fianco della classica trasmissiva. La possibilità di manipolare oggetti in 3D e di rielaborare le conoscenze attraverso esperienze concrete crea un ponte tra il sapere e il saper fare, incentivando una comprensione profonda e più duratura degli argomenti teorici trattati. In questo processo, l'insegnante riveste un ruolo chiave, perché è la figura che accompagna gradualmente gli studenti dall'osservazione alla comprensione e, infine, all'applicazione pratica, rendendo l'immersione un'esperienza controllata e pedagogicamente orientata.

Le evidenze teoriche considerate hanno messo in luce come l'AR favorisca la motivazione, incentivi la creatività e faciliti la comprensione dei

concetti complessi, promuovendo un apprendimento situato esperienziale, *embodied* e collaborativo. Allo stesso tempo, l'utilizzo di dispositivi facilmente accessibili, come tablet e smartphone, la rende una tecnologia sostenibile, in grado di superare le barriere economiche e logistiche, che spesso ostacolano nelle scuole l'adozione di soluzioni innovative.

L'introduzione in classe di un libro aumentato, ad esempio, arricchisce l'esperienza didattica portando nello spazio dell'aula diverse dimensioni da esplorare e manipolare, trasformando concetti astratti in rappresentazioni visive e tangibili. In tal modo, la memoria viene rafforzata mediante ancore visive e l'interazione diretta con i contenuti stimola la motivazione e la curiosità, fattori chiave per la costruzione di apprendimenti significativi.

La letteratura e le esperienze didattiche confermano che il valore aggiunto dell'AR dipende fortemente dalla cornice pedagogica entro la quale viene inserita e, dunque, dalla necessità da parte degli insegnanti di utilizzarla in modo consapevole, critico e creativo. Ne consegue, dunque, l'esigenza di una formazione mirata che non si limiti a fornire competenze strumentali, ma che sviluppi negli insegnanti la capacità di progettare percorsi didattici coerenti e orientati sia al curriculum che ai bisogni effettivi degli studenti.

La sfida che emerge, dunque, non riguarda soltanto l'integrazione di una tecnologia innovativa, ma la ridefinizione dell'ecosistema educativo in cui tecnologia e pedagogia si fondono in maniera armonica e strutturata. Solo in questa prospettiva, l'AR potrà rivelare in pieno le sue potenzialità e divenire un catalizzatore autentico di innovazione, in grado di coniugare l'acquisizione di conoscenze disciplinari con lo sviluppo di competenze trasversali.

Riferimenti Bibliografici

Aguayo, C., Videla-Reyes, R., & Veloz, T. (2023). Entangled cognition in immersive learning experience. *Adaptive Behavior*, *31*(5), 497-515.

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational research review*, *20*, 1-11.

AlGerafi, M. A., Zhou, Y., Oubibi, M., & Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the potential: A comprehensive evaluation of augmented reality and virtual reality in education. *Electronics*, *12*(18), 3953.

Amores-Valencia, A., Burgos, D., & Branch-Bedoya, J. W. (2022). Influence of motivation and academic performance in the use of Augmented Reality in education. A systematic review. *Frontiers in psychology*, *13*, 1011409.

Arici, F. (2024). Investigating the effectiveness of augmented reality technology in science education in terms of environmental literacy, self-regulation, and motivation to learn science. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *40*(24), 8476-8496.

Arici, F., Yilmaz, R. M., & Yilmaz, M. (2021). Affordances of augmented reality technology for science education: Views of secondary school students and science teachers. *Human Behavior and Emerging Technologies*, *3*(5), 1153-1171.

Alzahrani, N. M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. *Applied sciences*, *10*(16), 5660.

Arduini, G. (2020). Il corpo e il testo: il corpo nella realtà aumentata. *ITALIAN JOURNAL OF HEALTH EDUCATION, SPORT AND INCLUSIVE DIDACTICS*, *4*(1).

Arnaldi, B., Guitton, P., & Moreau, G. (Eds.). (2018). *Virtual reality and augmented reality: Myths and realities*. John Wiley & Sons.

Ashley-Welbeck, A., & Vlachopoulos, D. (2020). Teachers' perceptions on using augmented reality for language learning in primary years programme (PYP) education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, *15*(12), 116-135.

Asiri, M. M. (2022). Employing technology acceptance model to assess the reality of using augmented reality applications in teaching from teachers' point of view in Najran. *Journal of Positive School Psychology*, 6(2), 5241–5255.

Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Duarte, J., & Betancourt, J. (2021). Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research. *Contemporary Educational Technology*, *13*(3).

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, *6*(4), 355-385.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., & Graf, S. (2014). Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., & Kinshuk. (2018). Insights into the factors influencing student motivation in augmented reality learning experiences in vocational education and training. *Frontiers in psychology*, *9*, 1486.

Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, *22*(4), 577-660.

Belda-Medina, J. (2022). Using augmented reality (AR) as an authoring tool in EFL through mobile computer-supported collaborative learning. *Teaching English with Technology*, *22*(2), 115-135.

Belda-Medina, J., & Calvo-Ferrer, J. R. (2022). Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework. *Education and Information Technologies*, *27*(9), 12123-12146.

Benassi, A. (2018). Didattica immersiva. *Rivista Bricks*, *8*(3), 106-111

Billinghurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New horizons for learning*, *12*(5), 1-5.

Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, *8*(2-3), 73-272.

Bistaman, I. N. M., Idrus, S. Z. S., & Abd Rashid, S. (2018). The use of augmented reality technology for primary school education in Perlis, Malaysia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1019, No. 1, p. 012064). IOP Publishing.

Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented Reality in education–cases, places and potentials. *Educational Media International*, *51*(1), 1-15.

Brooks, F. P. (2005). What's real about virtual reality?. *IEEE Computer graphics and applications*, *19*(6), 16-27.

Buchner, J., & Zumbach, J. (2020). Augmented Reality In Teacher Education. A Framework To Support Teachers'technological Pedagogical Content Knowledge. *Italian Journal of Educational Technology*, *28*(2), 106-120.

Bulut, M., & Borromeo Ferri, R. (2023). A systematic literature review on augmented reality in mathematics education. *European Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(3), 556-572.

Cabero-Almenara, J., & Roig-Vila, R. (2019). The motivation of technological scenarios in augmented reality (AR): Results of different experiments. *Applied Sciences*, *9*(14), 2907.

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in human behavior*, *37*, 31-40.

Cai, Y., Pan, Z., & Liu, M. (2022). Augmented reality technology in language learning: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, *38*(4), 929-945.

Cakir R, Korkmaz O. The effectiveness of augmented reality environments on individuals with special education needs. Educ Inf Technol. 2019;24(2):1631–59.

Campbell, D. W., Eaton, W. O., & McKeen, N. A. (2002). Motor activity level and behavioural control in young children. *International Journal of Behavioral Development*, *26*(4), 289-296.

Campos-Mesa, M. C., Castañeda-Vázquez, C., DelCastillo-Andrés, Ó., & González-Campos, G. (2022). Augmented reality and the flipped classroom—a comparative analysis of university student motivation in semi-presence-based education due to COVID-19: A pilot study. *Sustainability*, *14*(4), 2319.

Cao, J., Lam, K. Y., Lee, L. H., Liu, X., Hui, P., & Su, X. (2023). Mobile augmented reality: User interfaces, frameworks, and intelligence. *ACM Computing Surveys*, *55*(9), 1-36.

Carbonell Carrera, C., & Bermejo Asensio, L. A. (2017). Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. *Cartography and geographic information science*, *44*(3), 259-270.

Ceciliani, A. (2018). Dall'Embodied Cognition all'Embodied Education nelle scienze dell'attività motoria e sportiva. *Encyclopaideia*, *22*(51), 11-24.

Çetin, H. (2022). A systematic review of studies on augmented reality based applications in Primary Education. *International Journal of Education and Literacy Studies*, *10*(2), 110-121.

Chang, C. T., Chao, W. H., Yang, C. Y., & Semwaiko, G. S. (2025). Evaluating the Impact of Augmented Reality on Learning Outcomes in K-12 Special Education: A Systematic Review. *European Journal of Educational Research*, *14*(4), 1167-1182.

Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. *Innovations in smart learning*, 13-18.

Chiang, T. H., Yang, S. J., & Hwang, G. J. (2014). Students' online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities. *Computers & Education*, *78*, 97-108.

Cicconi, S., & Marchese, M. (2019). Augmented learning: an e-learning environment in augmented reality for older adults. In *INTED2019 proceedings* (pp. 3652-3662). IATED.

Cicconi, S., & Marchese, M. (2019). Augmented learning: an e-learning environment in augmented reality for older adults. In *INTED2019 proceedings* (pp. 3652-3662). IATED.

Clark, A. (2010). *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*. Oxford University Press.

Cook, A. V., Jones, R., Raghavan, A., & Saif, I. (2018). Digital reality: The focus shifts from technology to opportunity. *Tech Trends*.

Cottini, L., & Morganti, A. (2015). *Evidence-Based Education e pedagogia speciale* (pp. 1-348). Carocci.

De Martino, D., & Dicataldo, M. C. (2023). Cosa vuol dire essere "immersi" nell'apprendimento? Il rapporto tra esperienze immersive e apprendimento efficace. *IUL Research*, 4(7), 204-218.

Decraene, E., Montero Perez, M., & Van Keer, H. (2025). Vocabulary instruction during interactive book reading with emergent bilinguals. In

EARLI 2025: Realising Potentials through Education: Shaping the Minds and Brains for the Future.

Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, *323*(5910), 66-69.

Demircioglu, T., Karakus, M., & Ucar, S. (2023). Developing students' critical thinking skills and argumentation abilities through augmented reality–based argumentation activities in science classes. *Science & Education*, *32*(4), 1165-1195.

Di Martino, V., & Longo, L. (2019). Augmented reality to promote inclusive learning. *Form@ re-Open Journal per la formazione in rete*, *19*(1), 179-194.

Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & education*, *68*, 586-596.

Dunleavy, M., & Dede, C. (2013). Augmented reality teaching and learning. *Handbook of research on educational communications and technology*, 735-745.

Dunleavy, M., & Dede, C. (2013). Augmented reality teaching and learning. *Handbook of research on educational communications and technology*, 735-745.

Erbas, C., & Demirer, V. (2019). The effects of augmented reality on students' academic achievement and motivation in a biology course. *Journal of Computer Assisted Learning*, *35*(3), 450-458.

European Commission (2020). *Digital Education Action Plan 2021–2027. Resetting education and training for the digital age*. Bruxelles: Commissione Europea.

Fan, M., Antle, A. N., & Warren, J. L. (2020). Augmented reality for early language learning: A systematic review of augmented reality application design, instructional strategies, and evaluation outcomes. *Journal of Educational Computing Research*, *58*(6), 1059-1100.

Fearn, W., & Hook, J. (2024). Augmented reality (AR)–innovative uses in primary education. In *Teaching and Learning with Technologies in the Primary School* (pp. 224-235). Routledge.

Febyliana, E., Attolok, T. Z. A., Aditya, D., Ramadlonia, R. A., Ismail, T., & Al Amin, M. Z. (2025). Enhancing Conceptual Understanding of the Solar

System Through 3D Augmented Reality in Primary Education. *Journal of Computing and Smart Ecosystems*, *1*(1).

Fernandez M., Realtà virtuale aumentata: come migliorare i sistemi educativi, *Higher Learning Research Communications*, 7(1) (2017)

Ferrer-Torregrosa, J., Jiménez-Rodríguez, M. Á., Torralba-Estelles, J., Garzón-Farinós, F., Pérez-Bermejo, M., & Fernández-Ehrling, N. (2016). Distance learning ects and flipped classroom in the anatomy learning: comparative study of the use of augmented reality, video and notes. *BMC medical education*, *16*(1), 230.

Fornasari, A. (2023). Formazione dei futuri insegnanti e tecnologie immersive nella pratica didattica: un'indagine esplorativa sui bisogni formativi degli iscritti al corso di specializzazione per il sostegno. *IUL RESEARCH*, *4*, 29-47.

Fotaris, P., Pellas, N., Kazanidis, I., & Smith, P. (2017, October). A systematic review of Augmented Reality game-based applications in primary education. In *Memorias del xi congreso europeo en aprendizaje basado en el juego graz* (pp. 181-191).

Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy?. *British journal of educational technology*, *46*(2), 412-422.

Francesconi, D., & Tarozzi, M. (2012). Embodied Education: A Convergence of Phenomenological Pedagogy and Embodiment. *Studia phaenomenologica*, *12*.

Gao, F., Qiu, J., Chen, L., Li, L., Ji, M., & Zhang, R. (2023). Effects of virtual reality simulation on medical students' learning and motivation in human parasitology instruction: A quasi-experimental study.

Gao, X., Wu, X., Ho, S., Misu, T., & Akash, K. (2022). Effects of augmented-reality-based assisting interfaces on drivers' object-wise situational awareness in highly autonomous vehicles. In *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 563-572). IEEE.

Gardner, H., & Sosio, L. (2010). *Formae mentis: saggio sulla pluralità dell'intelligenza*. Feltrinelli.

Garzón, J., & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. Educational Research Review, 27, 244-260.

Garzón, J., Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on

education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, *31*, 100334.

Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual reality*, *23*(4), 447-459.

Gibson J.J (1997), The theory of affordances, *Hilldale*, 1(2), 67-82.

Gil Parga, S., Singh, U., Gutierrez, J., & Marks, S. (2024). Pedagogical design in education using augmented reality: a systematic review. *Interactive Learning Environments*, *32*(8), 4219-4236

Goldin-Meadow, S. (2011). Learning through gesture. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *2*(6), 595-607.

Gomez Paloma, F., Ascione, A., & Tafuri, D. (2016). Embodied Cognition: il ruolo del corpo nella didattica. *Formazione & insegnamento*, *14*, 75-87.

Gómez-García, G., Hinojo-Lucena, F. J., Alonso-García, S., & Romero-Rodríguez, J. M. (2021). Mobile learning in pre-service teacher education: perceived usefulness of AR technology in primary education. *Education Sciences*, *11*(6), 275.

Guglielmi, G. (2017). Il Legionario "aumentato" –Un esercizio di lessico latino in "realtà aumentata". *Bricks. SIe-L-Società Italiana di e-Learning*, *1*, 40-50.

Guglielmi, G. (2017). Il Legionario "aumentato"–Un esercizio di lessico latino in "realtà aumentata". *Bricks. SIe-L-Società Italiana di e-Learning*, *1*, 40-50.

Gulbay, E., Di Martino, V., De Franches, G. R., Leone, A., & Pitrella, V. (2025). Integrazione dell'Intelligenza Artificiale e della Realtà Aumentata nel Corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria: prospettive e applicazioni. *Quaderni del GLIA*, *4*(4).

Hamdiyati, Y., & Nuraeni, E. (2025). Development of E-VIRA (e-module virus integrated reality-augmented): Enhance mental models and problem-solving skills. *Indonesian Journal of Educational Development (IJED)*, *6*(2), 351-366

Henne, A., Syskowski, S., Krug, M., Möhrke, P., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2024). How to Evaluate Augmented Reality Embedded in Lesson Planning in Teacher Education. *Education Sciences*, *14*(3), 264.

Herz, J. C. (1997). *Joystick nation: How videogames ate our quarters, won our hearts, and rewired our minds*. Atlantic/Little, Brown.

Huang, K. T., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J., & Fordham, J. (2019). Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *22*(2), 105-110.

Hussein, Z. A., & Al Ali, S. S. M. (2025). Augmented reality as a tool for improving perception of authenticity of the built heritage site. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*.

Hutto, D. D., & Myin, E. (2014). Neural representations not needed-no more pleas, please. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, *13*(2), 241-256.

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, *123*, 109-123.

Ibili, E., Çat, M., Resnyansky, D., Şahin, S., & Billinghurst, M. (2020). An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance students' 3D geometry thinking skills. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, *51*(2), 224-246.

Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active learning augmented reality for STEAM education—A case study. *Education Sciences*, *10*(8), 198.

Johnson-Glenberg, M. C., Birchfield, D. A., Tolentino, L., & Koziupa, T. (2014). Collaborative embodied learning in mixed reality motion-capture environments: Two science studies. *Journal of educational psychology*, *106*(1), 86.

Johnson-Glenberg, M.C., & Megowan-Romanowicz, C. (2017). Embodied science and mixed reality: How gesture and motion capture affect physics education. *Cognitive research: principles and implications*, *2*(1), 24.

Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., ... & Anbarjafari, G. (2023). Augmented reality: Current and new trends in education. Electronics, 12(16), 3531.

Kaufmann, H. (2004). *Geometry education with augmented reality* (Doctoral dissertation, Technische Universität Wien).

Keller, J. M. (1987). Strategies for stimulating the motivation to learn. *Performance and instruction*, *26*(8), 1-7.

Khairiree, K. (2019). Augmented Reality and Blended Learning: Engaging Students Learn Word Problems with Bar Model and the Geometer's Sketchpad. In *Proceeding of the 24th Asian Technology Conference in Mathematics*.

Khan, T., Johnston, K., & Ophoff, J. (2019). The impact of an augmented reality application on learning motivation of students. *Advances in Human-Computer Interaction*, *2019*(1), 7208494.

Khatoony, S., Mall-Amiri, B., & Kolahi, S. (2025). Developing a New Augmented Reality Mobile Application to Improve School-Age EFL Learners' Vocabulary Acquisition. *Technology Assisted Language Education*, *3*(2), 120-143.

Kim, Y., & Curry, K. (2020). Integrating augmented reality for learning: Working with pre-service teachers. *International Journal of Smart Technology and Learning*, *2*(2-3), 217-233.

Kim, Y., & Curry, K. (2020). Integrating augmented reality for learning: Working with pre-service teachers. *International Journal of Smart Technology and Learning*, *2*(2-3), 217-233.

Klopfer, E., & Sheldon, J. (2010). Augmenting your own reality: Student authoring of science-based augmented reality games. *New directions for youth development*, *2010*(128), 85-94.

Korenova, L., Guncaga, J., Zilkova, K., & Totkovicova, M. (2024, October). Augmented Reality for Exploring Solids: A Study on Improving Pre-Service Teachers. In *European Conference on e-Learning* (pp. 187-196). Academic Conferences International Limited.

Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11(1), 2.

Krug, M., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2023). Augmented reality in the science classroom—Implementing pre-service teacher training in the competency area of simulation and modeling according to the DiKoLAN framework. *Education Sciences*, *13*(10), 1016.

Krüger, J. M., & Bodemer, D. (2022). Application and investigation of multimedia design principles in augmented reality learning environments. *Information*, *13*(2), 74.

Lampropoulos, G., & Evangelidis, G. (2025). Learning analytics and educational data mining in augmented reality, virtual reality, and the metaverse: A systematic literature review, content analysis, and bibliometric analysis. *Applied Sciences*, *15*(2), 971.

Lampropoulos, G., Keramopoulos, E., Diamantaras, K., & Evangelidis, G. (2023). Integrating augmented reality, gamification, and serious games in computer science education. *Education Sciences*, *13*(6), 618

Lee, K. (2012). The Future of Learning and Training in Augmented Reality. *InSight: A Journal of Scholarly Teaching*, *7*, 31-42.

Li, M., & Liu, L. (2023). Students' perceptions of augmented reality integrated into a mobile learning environment. *Library Hi Tech*, *41*(5), 1498-1523.

Liu, P. H. E., & Tsai, M. K. (2013). Using augmented-reality-based mobile learning material in EFL English composition: An exploratory case study. *British journal of educational technology*, *44*(1), E1-E4.

Liu, R., Wang, L., Lei, J., Wang, Q., & Ren, Y. (2020). Effects of an immersive virtual reality-based classroom on students' learning performance in science lessons. *British Journal of Educational Technology,* 51(6), 2034-2049.

Liu, T. Y., Tan, T. H., & Chu, Y. L. (2008). QR code and augmented reality-supported mobile English learning system. In *Workshop of mobile multimedia processing* (pp. 37-52). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

López-Belmonte, J., Moreno-Guerrero, A. J., López-Núñez, J. A., & Hinojo-Lucena, F. J. (2023). Augmented reality in education. A scientific mapping in Web of Science. *Interactive learning environments*, *31*(4), 1860-1874.

Makransky, G., & Mayer, R. E. (2022). Benefits of taking a virtual field trip in immersive virtual reality: Evidence for the immersion principle in multimedia learning. *Educational Psychology Review*, *34*(3), 1771-1798

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational psychology review*, *33*(3), 937-958.

Marín-Marín, J. A., López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., & Moreno-Guerrero, A. J. (2023). Attitudes towards the development of good practices

with augmented reality in secondary education teachers in Spain. *Technology, Knowledge and Learning*, *28*(4), 1443-1459.

Mayer, R. E. (2024). The past, present, and future of the cognitive theory of multimedia learning. Educational Psychology Review, 36(1), 8.

Medina Herrera, L., Castro Pérez, J., & Juárez Ordóñez, S. (2019). Developing spatial mathematical skills through 3D tools: augmented reality, virtual environments and 3D printing. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *13*(4), 1385-1399.

Melchiorri C., Teleoperazione robotica, in Encyclopedia of Systems and Control, *Springer International Publishing*, (2021)

Merleau-Ponty, M. (1962). Phenomenology of perception. (translated by Colin Smith, Ed.). *London: Routelage Classics*.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, *77*(12), 1321-1329.

Milrad, M., Herodotou, C., Grizioti, M., Lincke, A., Girvan, C., Papavlasopoulou, S., ... & Zhang, F. (2023, July). Combining design thinking with emerging technologies in k-12 education. In *International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Techhnology Enhanced Learning* (pp. 15-27). Cham: Springer Nature Switzerland.

MIM (2022). *Linee di attuazione del PNSD nell'ambito del PNRR*. Ministero dell'Istruzione e del Merito.

Mirza, T., Dutta, R., Tuli, N., & Mantri, A. (2025). Leveraging augmented reality in education involving new pedagogies with emerging societal relevance. *Discover Sustainability*, *6*(1), 1-15.

MIUR (2015, 2025). *Piano Nazionale Scuola Digitale*. Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca.

Murray J. H (2017), *Hamlet on the holodeck: The future of narrative in cyberspace*, MIT press, Massachusetts

Nguyen, D. J., & Larson, J. B. (2015). Don't forget about the body: Exploring the curricular possibilities of embodied pedagogy. *Innovative Higher Education*, *40*(4), 331-344.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2021). Towards a teachers' augmented reality competencies (TARC) framework. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning* (pp. 203-212). Cham: Springer International Publishing.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024). Exploring teachers' competences to integrate augmented reality in education: Results from an international study. *TechTrends*, *68*(6), 1208-1221.

Osman, S., Phon, D. N. E., Kasim, S., & Ernawan, F. (2020). The effect of augmented reality application toward student's learning performance in PC Assembly. *International Journal*, *9*(1.4).

Özcan, S., Kukul, V., & Karataş, S. E. R. Ç. İ. N. (2016, May). Dijital hikayeler için dereceli değerlendirme ölçeği. In *10th International Computer and Instructional Technologies Symposium. Rize* (pp. 118-128).

Ozdemır, M., Sahın, C., Arcagok, S., & Demır, M. K. (2018). The effect of augmented reality applications in the learning process: A meta-analysis study. *Eurasian Journal of Educational Research*, *18*(74), 165-186.

Palamar, S. P., Bielienka, G. V., Ponomarenko, T. O., Kozak, L. V., Nezhyva, L., & Voznyak, A. V. (2021). Formation of readiness of future teachers to use augmented reality in the educational process of preschool and primary education. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021) Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021* (Vol. 2898, pp. 334-350). CEUR Workshop Proceedings.

Panciroli, C., Macauda, A., & Russo, V. (2018). Educating about art by augmented reality: new didactic mediation perspectives at school and in museums. In *Proceedings* (Vol. 60, No. 1). MDPI.

Pande, P., Thit, A., Sørensen, A. E., Mojsoska, B., Moeller, M. E., & Jepsen, P. M. (2021). Long-Term Effectiveness of Immersive VR Simulations in Undergraduate Science Learning: Lessons from a Media-Comparison Study. *Research in Learning Technology*, *29*.

Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of educational psychology*, *110*(6), 785

Pelletier, P. (2023). *Artificial intelligence in science: diffusion and impact* (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg).

Poupard, M., Larrue, F., Sauzéon, H., & Tricot, A. (2025). A systematic review of immersive technologies for education: effects of cognitive load and curiosity state on learning performance. *British Journal of Educational Technology*, *56*(1), 5-41.

Putri, R. N., & Nurafni, N. (2025). E-book development to improve spatial literacy in elementary geometry learning. *Mathline: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, *10*(3), 861-872.

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & education*, *147*, 103778.

Radu, I., & Schneider, B. (2019). What can we learn from augmented reality (AR)? Benefits and drawbacks of AR for inquiry-based learning of physics. In *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-12).

Rani, S., Mazumdar, S., & Gupta, M. (2023, December). Marker-Based Augmented Reality Application in Education Domain. In *International Conference on Machine Learning, Image Processing, Network Security and Data Sciences* (pp. 98-109). Cham: Springer Nature Switzerland.

Ranieri, M., Luzzi, D., & Cuomo, S. (2022). *Il video a 360° nella didattica universitaria: Modelli ed esperienze* (p. 164). Firenze University Press.

Rebollo, C., Remolar, I., Rossano, V., & Lanzilotti, R. (2022). Multimedia augmented reality game for learning math. *Multimedia Tools and Applications*, *81*(11), 14851-14868.

Ripsam, M., & Nerdel, C. (2024, January). Teachers' attitudes and self-efficacy toward augmented reality in chemistry education. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1293571). Frontiers Media SA.

Robertson, S. S., & Johnson, S. L. (2009). Embodied infant attention. *Developmental science*, *12*(2), 297-304.

Rokhsaritalemi, S., Sadeghi-Niaraki, A., & Choi, S. M. (2020). A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects. *Applied Sciences*, *10*(2), 636.

Rolla, G., Vasconcelos, G., & Figueiredo, N. M. (2022). Virtual reality, embodiment, and allusion: An ecological-enactive approach. *Philosophy & Technology*, *35*(4), 95.

Rossi, M., Ciletti, M., Scarinci, A., & Toto, G. A. (2023). Apprendere attraverso il metaverso e la realtà immersiva: nuove prospettive inclusive. *IUL RESEARCH*, *4*, 165-177.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, *25*(1), 54-67.

Sáez-López, J. M., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., & Gómez Carrasco, C. J. (2020). Augmented reality in higher education: An

evaluation program in initial teacher training. *Education Sciences*, *10*(2), 26.

Sahin, D., & Yilmaz, R. M. (2020). The effect of Augmented Reality Technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education. *Computers & Education*, *144*, 103710.

Salmaini, S., Sartono, S., Handrianto, C., & Nor-Azhar, N. F. (2025). Augmented reality competencies and integration challenges among primary school teacher education students: a mixed-methods study. *Перспективы науки и образования*, (1 (73)), 651-664.

Santos, M. E. C., Lübke, A. I. W., Taketomi, T., Yamamoto, G., Rodrigo, M. M. T., Sandor, C., & Kato, H. (2016). Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, *11*(1), 4.

Schott, C., & Marshall, S. (2018). Virtual reality and situated experiential education: A conceptualization and exploratory trial. *Journal of computer assisted learning*, *34*(6), 843-852.

Silva-Díaz, F., Carrrillo-Rosúa, J., Fernández-Ferrer, G., Marfil-Carmona, R., & Narváez, R. (2023). *Valoración de tecnologías inmersivas y enfoque STEM en la formación inicial del profesorado*.

Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. Cognitive research: principles and implications, 3(1), 6.

Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence connect*, *3*(3), 1-5.

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, *6*(6), 603-616.

Soccini, A. M., Cuccurullo, S. A. G., & Cena, F. (2020, October). Virtual reality experiential training for individuals with autism: The airport scenario. In *International conference on virtual reality and augmented reality* (pp. 234-239). Cham: Springer International Publishing.

Sofianidis, A. (2022). Why do students prefer augmented reality: A mixed-method study on preschool teacher students' perceptions on self-assessment AR quizzes in science education. *Education sciences*, *12*(5), 329.

Trujillo Torres, J. M., Rodríguez García, A. M., & Romero Rodríguez, J. M. (2018). *Bring Your Own Device To The Classroom: Uses Of The Mobile Phone For The University Training*.

Udeozor, C., Chan, P., Russo Abegão, F., & Glassey, J. (2023). Game-based assessment framework for virtual reality, augmented reality and digital game-based learning. *International journal of educational technology in higher education*, *20*(1), 36.

Uymaz, P., & Uymaz, A. O. (2022). Assessing acceptance of augmented reality in nursing education. *PloS one*, *17*(2), e0263937.

Vasilevski, N., & Birt, J. (2020). Analysing construction student experiences of mobile mixed reality enhanced learning in virtual and augmented reality environments. *Research in Learning Technology*, *28*.

Vázquez-Cano, E., Marín-Díaz, V., Oyarvide, W. R. V., & López-Meneses, E. (2020). Use of augmented reality to improve specific and transversal competencies in students. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, *19*(8), 393-408.

Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K., & Peña-Rios, A. (2018**).** *Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 9(5), 1391–1402.

Wang, Q., & Li, Y. (2024). How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, *40*(3), 1276-1294.

Wang, Y., & Gao, X. (2025). The impact of augmented reality technology on students' innovation ability: Evidence from a meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, *7*(3), 225-240.

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, *62*, 41-49.

Wu, J., Jiang, H., Long, L., & Zhang, X. (2024). Effects of AR mathematical picture books on primary school students' geometric thinking, cognitive load and flow experience. *Education and Information Technologies*, *29*(18), 24627-24652.

Wyss, C., & Bäuerlein, K. (2024). Augmented reality in the classroom—Mentor teachers' attitudes and technology use. In *Virtual Worlds* (Vol. 3, No. 4, pp. 572-585). MDPI.

Wyss, C., Bührer, W., Furrer, F., Degonda, A., & Hiss, J. A. (2021). Innovative teacher education with the augmented reality device Microsoft Hololens—results of an exploratory study and pedagogical considerations. *Multimodal Technologies and Interaction*, *5*(8), 45.

Yiannoutsou, N., Johnson, R., & Price, S. (2021). Non visual virtual reality. *Educational Technology & Society*, *24*(2), 151-163.

Yulianti, L., Trimurtini, T., Subali, B., & Ellianawati, E. (2025). Research Trends in Digital Media Development for Mathematics Subjects in Primary Schools Between 2015-2025. *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, *6*(3), 1482-1504.

Zhang, J., Li, G., Huang, Q., Feng, Q., & Luo, H. (2022). Augmented reality in K–12 education: A systematic review and meta-analysis of the literature from 2000 to 2020. *Sustainability*, *14*(15), 9725.

Capitolo II

La Realtà Aumentata nei percorsi di formazione insegnanti: *una revisione sistematica della letteratura*

Introduzione

Negli ultimi anni, da parte della comunità scientifica si è registrato un incremento dell'interesse per l'utilizzo della realtà aumentata (*Augmented Reality*, AR) in ambito educativo, con particolare attenzione al suo impatto nei processi di insegnamento e apprendimento.

Nonostante l'ampio interesse per le potenzialità didattiche dell'AR, la letteratura presenta una lacuna rilevante, in quanto tende a privilegiare l'analisi degli effetti sugli studenti, mettendo in secondo piano la dimensione formativa degli insegnanti, sia in formazione iniziale che in servizio (Wang & Li, 2024; Avila-Garzon et al., 2021; Üral et al., 2025). Una delle metanalisi più influenti nel campo, ovvero quella condotta da Garzón et al. (2020), evidenzia il grande potenziale dell'AR nel supportare i processi di apprendimento e insegnamento, ma pone in essere, al contempo, la carenza di una solida riflessione sistematica sugli approcci pedagogici che ne guidano l'integrazione nei contesti educativi, fondamentali per garantire l'efficacia dell'implementazione. L'approccio pedagogico-didattico, infatti, determina il modo in cui gli insegnanti strutturano, modellano e contestualizzano l'esperienza didattica e, pertanto, rappresenta un fattore determinante per il successo dell'integrazione tecnologica in chiave innovativa (Liu et al., 2008; Garzón et al., 2020).

Nonostante ciò, numerosi insegnanti continuano a segnalare difficoltà significative nell'adottare strumenti digitali, indicando tra i principali ostacoli la mancanza di una formazione adeguata, il limitato supporto tecnico e operativo e la carenza di risorse disponibili (Bonnet, 2025). In particolare, diversi studi precedenti hanno evidenziato come l'assenza di un'adeguata preparazione rappresenti un fattore critico per l'integrazione

delle tecnologie nelle pratiche didattiche, soprattutto quelle innovative come la realtà aumentata (Wu et al., 2013).

Al contrario, è stato dimostrato che i programmi di formazione efficacemente progettati, se orientati all'integrazione delle tecnologie digitali in connubio con le strategie di apprendimento attivo, contribuiscono al miglioramento delle pratiche di insegnamento (Nikou et al., 2024a).

La letteratura più recente suggerisce l'importanza di un approccio integrato alla formazione degli insegnanti, che tenga conto sia delle competenze tecniche da sviluppare, che della capacità di integrare tali tecnologie in modo didatticamente efficace (Korenova et al., 2024). In tale prospettiva, il framework TPACK, proposto da Kohler e Mishra (2006), rappresenta un solido riferimento teorico, in quanto mette in evidenza come l'uso efficace delle tecnologie in ambito educativo richieda un'integrazione equilibrata e sinergica tra le conoscenze tecnologiche, pedagogiche e disciplinari.

Alla luce di tali considerazioni, la presente revisione sistematica si propone di colmare la lacuna individuata, esaminando e sintetizzando il corpus di studi pubblicati tra il 2012 e il 2025, relativi alla formazione degli insegnanti per l'impiego dell'AR, sia in formazione iniziale che in servizio.

La revisione è stata guidata da quattro *Research Questions* (RQ), formulate per identificare, selezionare e valutare criticamente gli studi.

La revisione ha voluto rispondere alle seguenti domande di ricerca:

I. Quali sono gli obiettivi dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata per gli insegnanti?
II. Quali approcci formativi vengono utilizzati per preparare gli insegnanti all'uso della realtà aumentata in campo educativo?
III. Quali tecnologie di realtà aumentata vengono utilizzate nei percorsi formativi rivolti agli insegnanti?
IV. Quali outcomes emergono in seguito all'adozione di programmi di formazione degli insegnanti all'uso dell'AR?

2.1 Metodologia

Questo studio di revisione sistematica è stato condotto seguendo le linee guida PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*), al fine di garantire completezza, trasparenza e riproducibilità dei risultati ottenuti (Liberati et al., 2009; Page et al., 2021).

2.1.1 Strategia e criteri di ricerca

La ricerca bibliografica è stata condotta tra la fine del 2024 e l'inizio del 2025, mediante l'utilizzo di due database ad ampio spettro disciplinare: *Scopus e Web of Science*. Per rispondere in maniera esaustiva alle domande di ricerca e per garantire massima precisione nella raccolta dei dati, è stata utilizzata una combinazione di parole chiave e operatori booleani (AND, OR). La stringa di ricerca alla quale si è giunti è la seguente:

"teacher training" OR "teacher education" OR "teacher professional development"
AND ("augmented reality" OR "AR technology" OR "AR in education")
AND "skills development" OR "competency" OR "training program".

Successivamente, sono stati definiti i criteri di inclusione e di esclusione, finalizzati a selezionare gli studi coerenti con le domande di ricerca. I criteri di inclusione adottati sono stati i seguenti:

- *Temporalità*. È stato scelto un arco temporale di pubblicazione compreso tra il 2012 e il 2025. La scelta trova una giustificazione nella progressiva evoluzione delle tecnologie immersive in ambito educativo e nelle conseguenti implicazioni che ne derivano, a partire dal 2012, che hanno interessato l'integrazione dell'AR da parte degli insegnanti (Wu et al., 2013);
- *Accessibilità*. Sono stati inclusi solo gli articoli ad accesso aperto per garantire la possibilità di consultazione integrale;
- *Lingua di pubblicazione*. Sono stati considerati solo studi condotti in inglese e in spagnolo, per motivi di competenza linguistica e affidabilità interpretativa;

- *Tipologia di pubblicazione*. Sono stati inseriti articoli in riviste *peer-reviewed* e contributi riconducibili alla letteratura grigia, purché pertinenti con le domande di ricerca e fondati su dati empirici;
- *Pertinenza tematica*. Sono stati inclusi esclusivamente studi che descrivono interventi di formazione rivolti agli insegnanti (pre-servizio o in servizio) per l'uso dell'AR in ambito didattico. In particolare, sono stati considerati rilevanti i contributi che descrivono esperienze, approcci metodologici e programmi formativi orientati allo sviluppo di competenze sia tecniche che didattiche, fondamentali per un uso consapevole ed efficace dell'AR nella prassi didattica.

L'elenco dei riferimenti è stato ampliato, includendo anche articoli pertinenti provenienti da fonti complementari, utilizzando la tecnica dello *snowballing*. Questi articoli sono stati sottoposti agli stessi criteri della revisione sistematica.

Sono stati esclusi dalla revisione gli studi focalizzati esclusivamente sugli effetti dell'AR sull'apprendimento degli studenti, i contributi di natura puramente teorica e descrittiva e gli studi non conformi ai criteri metodologici definiti in fase preliminare.

2.1.2 Identificazione degli studi rilevati

Dopo l'esportazione dei riferimenti bibliografici dai database sopracitati, gli studi sono stati gestiti mediante la piattaforma *JabRef* (5.9), un software open-source per l'organizzazione e l'analisi dei dati bibliometrici.

Sono stati identificati inizialmente un totale di 36 articoli, ai quali sono stati rimossi 5 duplicati, per un totale di 31 studi. La prima fase di *screening* è stata condotta in modo indipendente da due ricercatori sulla base del titolo e dell'abstract degli studi identificati, determinando l'esclusione di altri 8 studi non coerenti con i criteri di eleggibilità. I rimanenti 23 articoli sono stati analizzati nella loro interezza. In quest'ultima fase sono stati eliminati 9 articoli poiché non pertinenti rispetto alle domande di ricerca. Alla fine del processo di selezione, sono stati inclusi 14 articoli. A questi sono stati aggiunti ulteriori 8 articoli individuati mediante la tecnica dello

snowballing e anch'essi sottoposti agli stessi criteri di eleggibilità e analizzati con la medesima metodologia.

Complessivamente, la revisione sistematica ha preso in esame un totale di 22 studi.

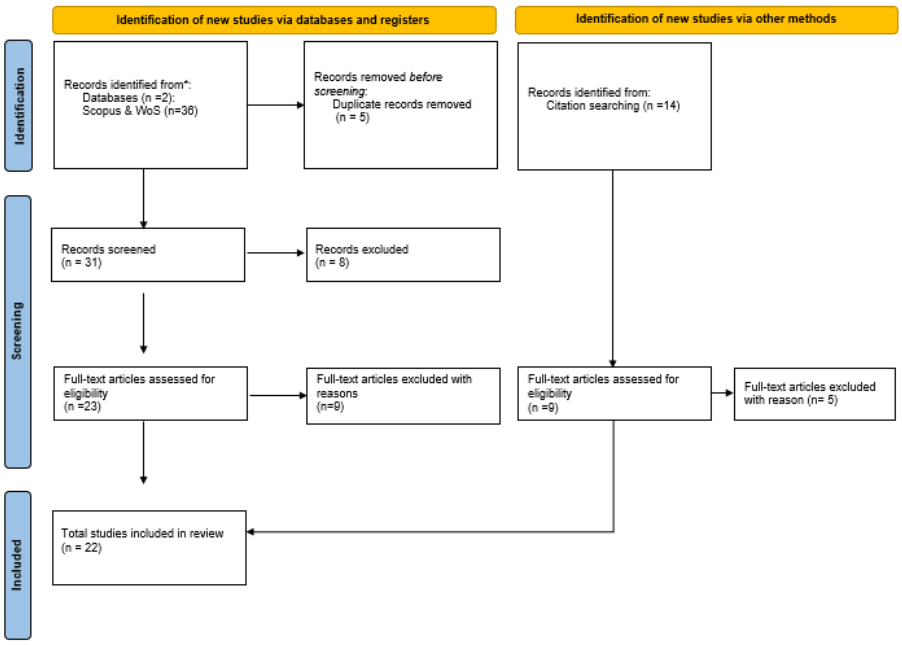


Figura 2.2 -PRISMA Flow Diagram

Per l'estrazione e la sistematizzazione dei dati, è stato eseguito un processo di codifica mediante un database Excel, finalizzato ad organizzare le informazioni in funzione delle domande di ricerca.

È stata condotta un'analisi descrittiva degli studi, che ha preso in esame l'anno di pubblicazione, il paese di riferimento, la popolazione oggetto dello studio (*pre-service o in-service teachers*), gli obiettivi della formazione, il *setting* formativo adottato, la durata degli interventi, i modelli teorici di riferimento dichiarati, le metodologie didattiche attive integrate a supporto della formazione, gli strumenti utilizzati per la valutazione dell'impatto e gli esiti formativi raggiunti in seguito all'implementazione dei programmi.

La Tabella 2.1 presenta in dettaglio gli studi inclusi nella revisione.

ID	Citation	Title	Country
1	Belda-Medina, 2022	Using Augmented Reality (Ar) As An Authoring Tool In Efl Through Mobile Computer-Supported Collaborative Learning	Spagna
2	Belda-Medina et al., 2022	Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework	Spagna
3	Buchner & Zumbach, 2022	Augmented reality in teacher education.A framework to support teachers' technological pedagogical content knowledge	Germania
4	Cabero-Almenara et al., 2021	Innovation in the university classroom through augmented reality. Analysis from the perspective of the Spanish and Latin American students	Spagna; Ecuador
5	Gómez-García et al., 2021	Mobile learning in pre-service teacher education: perceived usefulness of AR technology in primary education	Spagna
6	Guncaga et al., 2024	Enhancing STEAM Education with AR: A Primary Education Teacher Training Study	Slovacchia
7	Henne et al., 2024	How to Evaluate Augmented Reality Embedded in Lesson Planning in Teacher Education	Germania
8	Jwaifell, 2019	In-Service Science Teachers' Readiness of Integrating Augmented Reality. *Journal of Curriculum and Teaching*, *8*(2),	Giordania
9	Kim & Curry, 2020	Integrating augmented reality for learning: Working with pre-service teachers	Stati Uniti
10	Korenova et al., 2024	Augmented Reality for Exploring Solids: A Study on Improving Pre-Service Teachers	Slovacchia

11	Krug et al., 2023	Augmented Reality in the Science Classroom—Implementing Pre-Service Teacher Training in the Competency Area of Simulation and Modeling According to the DiKoLAN Framework	Germania
12	Mei & Yang, 2021	Chinese Pre-service Music Teachers' Perceptions of Augmented Reality-Assisted Musical Instrument Learning	Cina
13	Meletiou-Mavrotheris et al., 2020	Teacher training for 'augmented reading': The living book approach and initial results	Cipro, Estonia, Romania, Portogallo
14	Milrad et al., 2023	Combining Design Thinking with Emerging Technologies in K-12 Education	Svezia
15	Oberdörfer et al., 2021	Mutual Benefits: Interdisciplinary Education of Pre-Service Teachers and HCI Students in VR/AR Learning Environment Design	Germania
16	Palamar et al., 2021	Formation of readiness of future teachers to use augmented reality in the educational process of preschool and primary education.	Ucraina
17	Pérez et al., 2022	Activating Teacher Competencies Through Designing Gamified Stories With Augmentative Reality.	Spagna
18	Ripsam & Nerdel, 2023	Teachers' attitudes and self-efficacy toward augmented reality in chemistry education	Germania
19	Sáez-López et al., 2020	Augmented reality in higher education: An evaluation program in initial teacher training	Spagna
20	Sat et al., 2023	Comparison and evaluation of augmented reality technologies for designing interactive materials	Germania
21	Silva Díaz et al., 2024	Valoración de tecnologías inmersivas y enfoque STEM en la formación inicial del profesorado	Spagna

22	Taggart et al., 2023	Virtual and augmented reality and pre-service teachers: Makers from muggles?	Irlanda

Tabella 2.1 – Studi inclusi nel processo di revisione

2.1.3 Caratteristiche descrittive degli studi inclusi

L'analisi cronologica degli studi inclusi nella revisione (Tab. 2.1) evidenzia una significativa concentrazione di pubblicazioni a partire dal 2020 (n=3), con un incremento nel 2021 (n=5) e nel 2023 (n=5), con una cospicua produzione anche nel 2022 (n=4). Questo andamento riflette la crescente importanza attribuita alla realtà aumentata come tecnologia emergente dal forte impatto trasformativo e innovativo in ambito educativo. L'introduzione delle tecnologie immersive, infatti, ha posto in essere nuove sfide per gli insegnanti, rendendo sempre più necessaria l'acquisizione di competenze digitali avanzate e la capacità di integrare in modo efficace e critico la realtà aumentata nella progettazione didattica.

In questo contesto, numerosi studi evidenziano la necessità di adeguare la formazione degli insegnanti alle nuove pratiche innovative, al fine di rispondere efficacemente e consapevolmente ai cambiamenti imposti dalla transizione digitale (Barroso-Osuna et al., 2019; Cabero-Almenara et al., 2018).

La distribuzione geografica degli studi evidenzia una marcata concentrazione nei Paesi Europei, con una netta prevalenza della Spagna (n=7) e della Germania (n=6). A seguire, gli Stati Uniti (n=1) e la Slovacchia (n=2). Il forte contributo della letteratura iberica e tedesca può essere ricondotto alle politiche educative nazionali che, negli ultimi anni, hanno incentivato l'adozione di tecnologie innovative come l'AR.

Gli studi presi in esame offrono indicazioni in merito alla tipologia dei destinatari coinvolti nei percorsi formativi. La maggior parte si rivolgono ad insegnanti in formazione iniziale (n=17), frequentanti principalmente il Corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria e, in misura minore, ad insegnanti in servizio (n=5), coinvolti in attività di aggiornamento professionale o in sperimentazioni didattiche innovative. Questo dato riflette una crescente attenzione verso la preparazione dei futuri insegnanti,

sottolineando l'esigenza di intervenire precocemente nella costruzione delle competenze (Tab. 2.2).

Popolazione Campione	**ID** [2]
Insegnanti in Formazione	1, 2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,15,16,17,19,20,21
Insegnanti in Servizio	11, 13, 14, 18, 22

Tabella 2.2 – Distribuzione degli studi in base alla popolazione coinvolta

2.2 Risultati

La sezione che segue presenta e discute gli esiti emersi dall'analisi della letteratura e dei contributi empirici relativi alla formazione degli insegnanti all'uso della realtà aumentata in ambito educativo. In particolare, i risultati sono articolati in funzione delle domande di ricerca che hanno guidato il lavoro. Verranno, quindi, approfonditi gli obiettivi che caratterizzano i programmi di formazione, gli approcci didattici e metodologici adottati per preparare gli insegnati all'integrazione della realtà aumentata nelle pratiche didattiche, le principali tecnologie e strumenti AR impiegati nei percorsi formativi e, infine, gli esiti osservati in termini di competenze acquisite, cambiamenti nella pratica professionale e percezioni rispetto al potenziale educativo dell'AR. Ciascun sottoparagrafo offrirà una sintesi critica dei risultati, mettendo in evidenza convergenze, differenze e implicazioni per lo sviluppo di future iniziative formative.

2.2.1 Obiettivi dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata per gli insegnanti

Per analizzare gli obiettivi formativi perseguiti dai programmi di formazione sull'uso dell'AR rivolti agli insegnanti e rispondere alla prima domanda di ricerca - *Quali sono gli obiettivi dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata per gli insegnanti?* – è stata condotta un'analisi tematica sui 22 studi inclusi nella revisione, dalla quale sono emerse quattro macrocategorie concettuali ricorrenti.

[2] I riferimenti numerici si riferiscono all'ID della Tabella 1 – Studi inclusi nella revisione

Tali categorie sintetizzano le principali tendenze emergenti nella formazione degli insegnanti in relazione all'uso dell'AR: (1) sviluppo di competenze digitali e tecnologiche per l'utilizzo dell'AR; (2) sviluppo di competenze pedagogiche per l'integrazione didattica dell'AR; (3) sviluppo di competenze trasversali e soft skills; (4) capacità di progettazione di attività didattiche in AR (Tab. 2.3).

Aree di competenza sviluppate	**Descrizione sintetica dell'obiettivo**	**Riferimenti ID** [3]
Competenze digitali e tecnologiche	Potenziare la competenza tecnica nell'utilizzo autonomo dell'AR	1,2,3,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22
Competenze pedagogico-didattiche	Promuovere l'integrazione dell'AR nella didattica attraverso metodologie attive	1,2,3,6, 11,13, 14,16,17,18,19
Competenze trasversali e soft skills	Rafforzare abilità come la collaborazione tra pari, il problem solving, il pensiero critico, la creatività	1,2,3,4.5,7,9,10,13,14,15,17,20,21,22
Progettazione didattica in AR	Sviluppare la capacità di ideare e strutturare attività didattiche con l'ausilio dell'AR	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22

Tabella 2.3 – Obiettivi della Formazione

La prima area identificata nei programmi di formazione riguarda il consolidamento e il potenziamento delle competenze digitali e tecnologiche, con particolare riferimento alla padronanza autonoma degli strumenti di realtà aumentata. In tutti e 22 gli studi presenti all'interno della revisione, (cfr. Tab.2.1), emerge questo obiettivo funzionale a promuovere l'autonomia

[3] I riferimenti numerici si riferiscono all'ID della Tabella 1 – Studi inclusi nella revisione

nell'utilizzo e nell'adozione consapevole degli strumenti in AR nella pratica didattica.

La seconda area riguarda lo sviluppo di competenze pedagogico-didattiche, indispensabili per favorire l'integrazione metodologica dell'AR nella progettazione didattica. Come sottolineano Buchner & Zumbach (2022), l'aumento della disponibilità di innovazioni tecnologiche, ha reso più urgente anche la necessità di riflessioni critiche su come integrare le tecnologie nei contesti educativi. La mancanza di conoscenze pedagogiche, oltre che tecnologiche, rappresenta un grande ostacolo per l'implementazione dell'AR da parte degli insegnanti (Silva-Diaz et al., 2023). Mishra & Kohler (2006) hanno precedentemente messo in discussione il tradizionale orientamento della formazione degli insegnanti, incentrato prevalentemente sugli aspetti tecnici della tecnologia (Buchner & Zumbach, 2022). In linea con queste riflessioni, undici studi inclusi nella revisione (ID 1,2,3,6,11,13,14,17,18,19) affrontano esplicitamente la dimensione pedagogico-didattica nella formazione all'uso dell'AR, mettendo in luce l'importanza dei percorsi che non si limitano alla solo acquisizione di competenze tecniche. Al contrario, in questi studi, emerge la presenza di attività formative orientate a favorire un'integrazione consapevole e didatticamente fondata dell'AR, promuovendone un utilizzo coerente con i principi pedagogici e gli obiettivi educativi. Ad esempio Krug et al. (2023) integrano l'AR all'interno del framework DiKoLAN (*Digital Competencies for Teaching in Science Education)*, con l'obiettivo di fornire ai futuri insegnanti competenze metodologiche già in fase di formazione iniziale, affinché siano in grado di utilizzare la tecnologia in modo efficace e in coerenza con i presupposti pedagogici. Analogamente, gli studi di Guncaga et al. (2024), Ripsam & Nerdel (2023) e Belda Medina (2022) e Belda Medina et al. (2022) insistono sul potenziale trasformativo dell'AR, quando viene adottata all'interno di un quadro ben strutturato di pratiche didattiche. In queste ricerche si insiste sull'importanza della riflessione pedagogica come componente necessaria e non accessoria della formazione. Un percorso strutturato di formazione, affinché possa supportare una visione integrata dell'AR nel curriculum scolastico, deve sostenere una

transizione dall'uso puramente tecnico a quello didattico consapevole. Gli altri studi inclusi nella revisione, tuttavia, benché non mostrino in modo diretto l'intento di sviluppare questa tipologia di competenze, presentano esiti formativi che lasciano presumere una certa attenzione a questa dimensione. In questi casi, appare verosimile che dimensione pedagogica sia stata integrata nel disegno formativo, sebbene non tematizzata in modo esplicito.

La terza area individuata si riferisce, invece, allo sviluppo delle competenze trasversali e delle *soft skills*, con particolare attenzione alla collaborazione tra pari, al pensiero critico, alla creatività e al *problem solving*. Queste competenze, sebbene non rientrino tra gli obiettivi primari della formazione, tuttavia, emergono con chiarezza in alcuni degli studi analizzati (ID 1,2,3,4.5,7,9,10,13,14,15,17,20,21,22). In più di uno studio, si fa leva sullo sviluppo di competenze collaborative tra gli insegnanti e futuri tali, nell'ottica di una progettazione didattica in AR e nella costruzione di esperienze e significati condivisi (Taggart et al., 2023; Pérez et al., 2022; Belda-Medina et al., 2022; Cabero-Almenara et al., 2021). Inoltre, viene sottolineato, come un intervento formativo ben strutturato debba mettere gli insegnanti nelle condizioni di sviluppare la creatività mediante l'ausilio di strumenti in AR, così come incentivare la riflessione critica (Taggart et al., 2023; Pérez et al., 2022) e il *problem solving*, per adeguare la tecnologia alla progettazione didattica (Gómez-García et al., 2021). Inoltre, in diversi casi, la dimensione delle soft skills viene potenziata proprio dalla natura laboratoriale e interdisciplinare dei percorsi formativi in AR. Nello studio di Oberdörfer et al., (2021) lo scambio avvenuto tra futuri insegnanti e studenti di HCI ha favorito un apprendimento reciproco, basato sul dialogo tra competenze e conoscenze differenti, che ha permesso lo sviluppo di capacità comunicative e collaborative. Nello studio di Milrad et al. (2023) l'utilizzo del *design thinking* ha stimolato negli insegnanti capacità progettuali e creative, competenze ritenute fondamentali in contesti educativi innovativi.

L'ultima area tematica riguarda lo sviluppo di competenze connesse alla progettazione didattica, intesa come la capacità di ideare, strutturare,

valutare e contestualizzare attività educative che integrino la realtà aumentata. Tale dimensione emerge come trasversale in tutti gli studi presi in esame (ID 1-22). L'insegnante, dunque, secondo questa prospettiva, assume il ruolo di co-costruttore di significati e di esperienze di apprendimento, superando una visione passiva di mero fruitore, poiché acquisisce le competenze per integrare l'AR nei curricoli scolastici in modo intenzionale e didatticamente orientato. Diversi studi pongono la progettazione come nucleo centrale della formazione (Milrad et al., 2023; Pérez et al., 2022; Belda-Medina, 2022; Sat et al., 2023). In alcuni di questi studi vengono proposti approcci ispirati al *design thinking* e al *learning by design*, grazie ai quali gli insegnanti sono guidati alla creazione di contenuti aumentati partendo da bisogni educativi concreti. Inoltre, viene posta enfasi sul fatto che la progettazione di materiali didattici in AR consente di mettere alla prova le competenze acquisite e di adattare le tecnologie AR ai contesti e agli obiettivi educativi. In Krug et al. (2023), la progettazione didattica è guidata dal framework DiKoLAN, il quale fornisce una struttura teorico-operativa per integrare le competenze digitali nella formazione scientifica. In questo contesto, la realtà aumentata viene impiegata come strumento per supportare processi di modellizzazione disciplinare, con particolare riferimento alle materie STEM, promuovendo un apprendimento concettualmente fondato e tecnologicamente mediato. Lo studio di Henne et al. (2024), in particolare, offre un contributo rilevante poiché propone criteri e strumenti per la valutazione della qualità progettuale degli artefatti in AR. Dunque, la progettazione didattica è intesa come una competenza cardine nella formazione dei futuri insegnanti e degli insegnanti in servizio, poiché consente a questi ultimi di esercitare la propria *agency* professionale e di contestualizzare e trasformare le risorse in realtà aumentata in chiave educativa.

Nel complesso, le quattro aree formative individuate delineano la tendenza orientata verso un modello formativo integrato che ingloba più dimensioni, volto a supportare l'alfabetizzazione degli insegnanti non solo dal punto di vista tecnico, ma anche rispetto all'implementazione dell'AR sul piano pedagogico, didattico e progettuale.

2.2.2 La preparazione degli insegnanti all'uso dell'AR

Per rispondere alla seconda domanda di ricerca - *Quali approcci formativi vengono utilizzati per preparare gli insegnanti all'uso della Realtà Aumentata in campo educativo?* -, sono stati analizzati sia gli approcci teorici che fanno da cornice agli studi e che hanno orientato lo sviluppo dell'intervento formativo (framework e modelli pedagogici), sia le modalità di erogazione con cui tali percorsi sono stati realizzati.

2.2.2.1 Approcci formativi

Il framework più ricorrente è il modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) di Mishra & Koehler (2006). Questo modello è stato sviluppato come quadro epistemico per descrivere la conoscenza degli insegnanti rispetto all'integrazione delle tecnologie nella prassi didattica. Il TPACK si basa su tre componenti fondamentali e analizza come queste si intersechino e si influenzino reciprocamente nel processo di progettazione didattica. Le tre componenti si riferiscono rispettivamente alla: conoscenza dei contenuti tecnologici (TCK), conoscenza pedagogica e tecnologica (TPK) e conoscenza dei contenuti pedagogici (PCK) (Tan et al., 2023). Questo framework è stato impiegato, in maniera esplicita, in 5 studi (Belda-Medina et al., 2022; Jwaifell, 2019; Kim & Curry, 2020; Ripsam & Nerdel; 2023).

Buchner & Zumbarch (2022) adottano l'approccio *Learning Technology by Design*, fondato sul modello TPACK, che valorizza un apprendimento attivo e orientato alla pratica. Nel dettaglio, la formazione è stata strutturata seguendo il modello KIOSK (*Konfrontation, Information, Organisation, Selbstgesteuertes Lernen, Kontrolle*) di Teml & Teml (2006). Questo approccio è volto a promuovere una sequenza di apprendimento che parte dalla riflessione critica sulle pratiche esistenti, prosegue con l'integrazione di contenuti teorici e tecnici e termina con attività di progettazione autonoma a cui fa seguito una valutazione (Buchner & Zumbarch, 2022).

Milrad et al. (2023) propongono un ulteriore modello, ovvero il *Design Thinking Activity Plan Template* (DTAPT), un approccio di natura progettuale-operativa, incentrato sulla pianificazione didattica. Il modello

rappresenta una particolare declinazione del *Design Thinking* tradizionale e ha come obiettivo quello di guidare gli insegnanti nella progettazione intenzionale di esperienze di apprendimento aumentato e di stimolare, al contempo, una riflessione approfondita circa gli obiettivi didattici e le esigenze degli studenti.

Infine, nello studio di Henne et al. (2024) e in quello di Krug et al. (2023) emerge l'adozione del framework DikoLAN (*Digital Competencies for Teaching in Science Education)* (Becker et al., 2020). Questo quadro, che ha come base il DigComEdu, il TPACK e il modello DPACK, funge come linea guida per la formazione di futuri insegnanti in ambito scientifico e include sette aree principali di competenza digitale, racchiuse in quattro aree generali (*Documentazione, Presentazione, Comunicazione/Collaborazione e Ricerca e Valutazione delle informazioni*) e tre aree più specifiche per materia (*Acquisizione Dati, Elaborazione Dati e Simulazione e Modellizzazione*) (Krug et al., 2023). Il framework si distingue per la sua capacità di integrare le competenze digitali generali con pratiche didattiche disciplinari, promuovendo un uso consapevole e contestualizzato delle tecnologie nei percorsi educativi.

2.2.2.2 Modalità di erogazione

Un aspetto che è emerso dalla revisione riguarda le modalità di erogazione degli interventi formativi. La tabella 2.4 sintetizza i risultati emersi.

Modalità di erogazione	**ID**
Seminario Universitario	3, 11, 7, 18, 21, 4, 15, 20
Integrazione curricolare nei corsi universitari	1, 2, 19, 16, 6, 14, 21
Laboratorio	10, 9, 1, 14, 17, 22, 13, 21, 11
Workshop (brevi o intensi)	17, 22, 8, 13, 2, 20, 18, 5

Tabella 2.4- Modalità di erogazione della formazione

Le esperienze analizzate mostrano una prevalente articolazione attraverso seminari, laboratori, workshop e percorsi strutturati all'interno di corsi universitari. Ben 8 studi (Buchner & Zumbach, 2022; Krug et al.,

2023; Henne et al., 2024; Ripsam & Nerdel, 2023; Silva-Díaz et al., 2024; Cabero-Almenara et al., 2021; Oberdörfer et al., 2021; Sat et al., 2023) erogano l'intervento formativo mediante modalità seminariale che, generalmente, è concepita e strutturata come uno spazio per l'approfondimento teorico e la riflessione critica. In questi casi, la formazione si articola in sessioni frontali, momenti di confronto tra pari e attività pratiche di progettazione o simulazione.

In 7 studi (Belda-Medina; 2022; Belda-Medina et al., 2022; Sáez-López et al., 2020; Palamar et al., 2021; Guncaga et al., 2024; Milrad et al., 2023; Silva-Díaz et al., 2024) l'intervento è strutturato all'interno di un corso universitario curricolare. In questo contesto, la formazione in AR si configura come un modulo o un'unità formativa, perfettamente integrata all'interno del curriculum accademico, con la possibilità di acquisire competenze relative all'AR in un percorso didattico più esteso e progressivo.

Un ulteriore gruppo di studi (n=9) (Korenova et al., 2024; Kim & Curry, 2020; Belda-Medina, 2022; Milrad et al., 2023; Pérez et al., 2022; Taggart et al., 2023; Meletiou-Mavrotheris et al., 2020; Silva-Díaz et al., 2024; Krug et al., 2023) fa riferimento alla modalità laboratoriale, che privilegia l'apprendimento di tipo esperienziale, situato e collaborativo.

Infine, un'ultima modalità ricorrente è quella del workshop, di media o lunga durata, che ritroviamo in 9 studi (Pérez et al., 2022; Taggart et al., 2023; Jwaifell, 2019; Meletiou-Mavrotheris et al., 2020; Belda-Medina et al., 2022; Sat et al., 2023; Ripsam & Nerdel, 2023; Silva-Díaz et al., 2024; Gomez-Garcia et al., 2021). Questi interventi forniscono agli insegnanti un'introduzione pratica alle tecnologie AR, supportata da attività guidate orientate alla progettazione.

Alcuni studi utilizzano modalità ibride di formazione. Nonostante la diversità del format, tuttavia, si evince che vengono predilette esperienze che tendono a combinare dimensioni teoriche, pratiche e riflessive, mediante approcci integrati che favoriscono l'apprendimento consapevole delle tecnologie e il loro uso didatticamente orientato.

2.2.3 Tecnologie in AR impiegate nei percorsi di formazione

Per rispondere alla terza domanda di ricerca - *Quali tecnologie di realtà aumentata vengono utilizzate nei percorsi formativi rivolti agli insegnanti?* - l'analisi degli studi inclusi ha permesso di individuare una pluralità di tecnologie in AR impiegate nei percorsi formativi.

In particolare, tali soluzioni sono ricondotte a tre principali categorie: *Marker-Based*, *Markless*, *Head-Mounted AR/VR*. È segnalata, inoltre, la presenza di dispositivi ibridi e di piattaforme di creazione di modelli tridimensionali (Tabella 2.5).

Tipologia di tecnologia AR	**Strumenti**	**Riferimenti**
Marker-Based AR	HP Reveal, Quiver, AR Flashcards, Chromville, AR Ruler, AR Polyedres Augmentes, AR GeoGebra, AR Simply Piano, JigSpace,	2, 3, 4, 7, 13, 6, 8, 10, 12, 17
Markless AR	SorBET su Exten DT2, Wikitude, geolocalizzazione, sensori di movimento, Metaverse	1, 14, 20, 5, 6, 17
Head-Mounted AR/VR	Oculus Quest 2, occhiali AR	21,15
Dispositivi fisici ibridi	Merge Cube	17
Piattaforme di creazione AR	CoSpaces Edu, ZapWorks, Tinkercad, Zappar, Fectar, Blippar, Unity, Vuforia, SteamVR, UniteAR, Aumentaty Author	20, 11, 22, 15, 2, 9, 19, 21

Tabella 2.5. Tipi di tecnologie AR

Le tecnologie *Marker-Based* risultano le più diffuse. Esse si basano sull'utilizzo di un marcatore visivo fisico (come un codice QR o un'immagine specifica) per attivare la sovrapposizione di contenuti digitali AR in un ambiente reale, tramite la fotocamera di uno smartphone o di un tablet. Diversi studi impiegano applicazioni quali *HP Reveal, Quiver, AR Flashcards, Chromville, AR Ruler, AR Polyedres Augmentes, AR*

GeoGebra, AR Simply Piano, JigSpace (Belda-Medina et al., 2022; Buchner & Zumbach, 2022; Cabero-Almenara et al., 2021; Henne et al., 2024; Meletiou-Mavrotheris et al., 2020; Guncaga et al., 2024; Jwaifell. 2019; Korenova et al., 2024; Mei & Yang, 2021; Pérez et al., 2022).

Le tecnologie *Markless AR* o *location-based* o *spatial AR*, non richiedono un marcatore fisico per attivare l'esperienza aumentata, poiché sono sufficienti i sensori già presenti nel dispositivo, come il GPS, per determinare la posizione e l'orientamento dello spazio fisico in cui sovrapporre elementi digitali (Belda-Medina, 2022; Milrad et al., 2023; Sat et al., 2023; Gómez-García et al., 2021; Guncaga et al., 2024; Pérez et al., 2022).

Numerosi studi menzionano piattaforme di creazione di oggetti e modelli in AR, come *Cospaces Edu, ZapWorks, Thinkercad, Zappar, Unity, Vuforia, Blippar, SteamVR, Fectar, UniteAR, Aumentaty Author*. Queste piattaforme permettono di progettare e personalizzare esperienze di apprendimento in realtà aumentata, più o meno complesse (Sat et al., 2023; Krug et al., 2023; Taggart et al., 2023; Oberdörfer et al., 2021; Belda-Medina et al., 2022; Kim & Curry, 2020; Sáez-López et al., 2020; Silva-Díaz et al., 2024).

In alcuni studi - come, ad esempio, quello di Palamar et al. (2021) - non viene fatto esplicito riferimento al tipo di tecnologia utilizzata, ma ci si riferisce genericamente ad un utilizzo di app fruibile tramite dispositivo mobile.

Un elemento rilevante che emerge dalla revisione è la scarsa presenza di utilizzo di visori o occhiali AR, citati solo in 2 studi (Silva-Díaz et al., 2024; Oberdörfer et al., 2021). La maggior parte degli studi, infatti, privilegia l'adozione di tecnologie mobili, quali smartphone o tablet. Tale scelta potrebbe avere una giustificazione di tipo economico-logistico, ovvero legata al fatto che i visori non sono facilmente accessibili nei contesti educativi tradizionali. Inoltre, le tecnologie mobili risultano più gestibili e sostenibili per gli insegnanti, poiché si adattano e si integrano con maggiore naturalezza con le loro pratiche didattiche, facilitando l'adattamento metodologico e l'uso nei contesti educativi (Gómez-García et al., 2021).

2.2.4 Esiti dei programmi di formazione all'uso della realtà aumentata

La quarta domanda di ricerca - *Quali outcomes emergono in seguito all'adozione di programmi di formazione degli insegnanti all'uso dell'AR?* - ha sintetizzato i risultati emersi dai programmi di formazione rivolti agli insegnanti in pre-servizio o in servizio sull'uso della realtà aumentata. Per offrire una lettura sintetica dei risultati emersi, si è proceduto ad una classificazione tematica degli *outcomes* formativi, che riflettono gli effetti dichiarati in seguito agli interventi implementati (Tabella 2.6).

Outcomes	**N. Studi**
Competenze Digitali, Tecnologiche e didattiche	**n= 17**
Autoefficacia e Intenzionalità D'uso	**n= 11**
Motivazione e Atteggiamento Positivo	**n= 15**
Competenze Progettuali e Creative	**n= 11**
Capacità Riflessiva e Pensiero Critico	**n= 8**
Collaborazione e Comunità Di Pratica	**n= 4**
Accessibilità E Inclusione	**n= 1**

Tabella 2.6. Categorie emerse dall'analisi degli outcomes formativi

L'esito più frequentemente citato si riferisce allo sviluppo delle competenze digitali, tecnologiche e didattiche, presente in 17 studi. Questo conferma come uno degli obiettivi principali dei percorsi di formazione sia proprio quello di promuovere una solida padronanza tecnica della realtà aumentata e, al tempo stesso, di fornire le competenze per integrare questa conoscenza con la dimensione pedagogica e didattica. Tra gli studi che evidenziano questo risultato, si annoverano, a titolo esemplificativo: Belda-Medina et al. (2022), Buchner & Zumbach (2022), Cabero-Almenara et al. (2021), Guncaga et al. (2024), Kim & Curry (2020); Meletiou-Mavrotheris et al. (2020), Pérez et al. (2022).

L'esito relativo all'aumento della motivazione e dell'atteggiamento positivo verso l'utilizzo dell'AR è emerso in 15 studi. Questo aspetto pone in rilievo l'importanza dell'*engagement* e della predisposizione positiva degli

insegnanti nei confronti della tecnologia innovativa. Come sottolineato da Keller (2010) la motivazione è una dimensione umana fondamentale che chiarisce perché un individuo si sforza di perseguire un obiettivo e lavora attivamente per raggiungerlo. Pertanto, in questo contesto, l'incremento della motivazione evidenzia un rafforzamento del coinvolgimento emotivo e cognitivo da parte degli insegnanti, che si traduce in un'apertura verso l'adozione di strumenti innovativi nella pratica didattica. Tra gli studi che evidenziano questa dimensione post-formazione, si annoverano, a titolo esemplificativo: Buchner & Zumbach (2022), Cabero-Almenara et al. (2021), Guncaga et al. (2024), Kim & Curry (2020), Oberdörfer et al. (2021).

In 11 studi sono stati riscontrati due *outcomes* strettamente connessi, ovvero l'aumento dell'autoefficacia nell'utilizzo della tecnologia e dell'intenzionalità d'uso. Come sottolinea Bandura (1977, 2018) la *Self-Efficacy* si riferisce alla fiducia nelle proprie capacità di organizzare ed eseguire le azioni necessarie per raggiungere determinati risultati. Le attitudini, le abilità e capacità cognitive vengono a costituire parte dei fondamenti di ciò che è noto come autostima (La Marca & Di Martino, 2021, p. 58). In questo senso, l'aumento della percezione di autoefficacia negli insegnanti riguarda la loro capacità di organizzare ed eseguire le azioni necessarie per ottenere i risultati desiderati (La Marca & Di Martino, 2021, p.58). Ciò emerge in seguito al percorso formativo implementato nei vari studi e corrisponde alla fiducia nelle proprie capacità di utilizzare l'AR nelle progettazioni didattiche, unito all'intenzionalità di adottare tale tecnologia nella didattica futura. Tra gli studi che pongono in evidenza questo dato, troviamo Sáez-López et al. (2020), Silva Díaz et al. (2024), Krug et al. (2023), Kim & Curry (2020), Jwaifell (2019).

Parimenti, in 11 studi emerge il potenziamento delle competenze progettuali e creative per poter utilizzare in modo autonomo la realtà aumentata. Questo esito si riferisce alla capacità degli insegnanti di ideare, strutturare e implementare attività didattiche innovative, sfruttando il potenziale dell'AR, in modo autonomo. Gli studi evidenziano come la formazione promuova un approccio attivo e personalizzato dei processi di insegnamento-apprendimento, grazie al quale gli insegnanti non si limitano

a fruire passivamente dei contenuti digitali, ma assumono un ruolo di co-produttori e co-progettisti di materiali didattici. In diversi studi - tra cui Meletiou-Mavrotheris et al. (2020), Milrad et al. (2023), Pérez et al. (2022) - gli insegnanti hanno progettato storie gamificate, simulazioni scientifiche o ambienti in AR, facendo emergere sia una buona padronanza nell'utilizzo delle piattaforme tecniche, ma, soprattutto, nella progettazione educativa coerente con gli obiettivi formativi e curricolari.

Sebbene in misura minore rispetto alle altre categorie, emergono ulteriori esiti formativi, quali lo sviluppo della capacità riflessiva e del pensiero critico (n=8), della collaborazione e creazione di comunità di pratica (n=4) e, infine, l'acquisizione di competenze legate all'accessibilità e all'inclusione (n=1). In particolare, l'incremento della riflessività e del pensiero critico va ad indicare come la formazione all'uso dell'AR stimoli negli insegnanti delle riflessioni profonde sulla commistione tra innovazione tecnologica, realtà aumentata e uso consapevole delle tecnologie in classe (Belda-Medina et al., 2022; Buchner & Zumbach, 2022; Cabero-Almenara et al., 2021; Henne et al., 2024; Meletiou-Mavrotheris et al., 2020; Pérez et al., 2022; Sáez-López et al., 2020).

Emerge, in 4 studi, come sia stata incentivata la collaborazione tra insegnanti e futuri tali, proiettata allo sviluppo di comunità di pratica, ovvero di spazi dove poter condividere idee, strumenti e pratiche per la crescita professionale. Questa dinamica collaborativa funge da supporto reciproco, facilitando l'apprendimento tra pari (Belda-Medina et al., 2022; Kim & Curry, 2020; Palamar et al., 2021; Taggart et al., 2023).

Infine, in un solo studio viene esplicitamente menzionato l'esito legato all'accessibilità e all'inclusione, inteso come sviluppo delle capacità e delle competenze degli insegnanti e futuri tali per utilizzare l'AR per valorizzare le differenze e rispondere ai bisogni di tutti gli studenti, in linea con i principi dell'*Universal Design for Learning* (Meletiou-Mavrotheris et al., 2020).

In sintesi, gli *outcomes* formativi emersi mostrano come la formazione all'uso della realtà aumentata agisca in maniera trasversale, incidendo non

solo sulle competenze tecniche e progettuali, ma anche sulle dimensioni attitudinali e riflessive degli insegnanti.

2.3 Discussione

Il presente studio ha posto in evidenza tendenze e risultati significativi nell'applicazione di programmi formativi rivolti agli insegnanti per l'utilizzo dell'AR, con un focus rispetto alle competenze sviluppate, alle modalità di erogazione e alle tecnologie utilizzate.

L'analisi dei 22 studi ha rivelato una relativa insufficienza di letteratura dedicata all'analisi di percorsi appositamente strutturati per lo sviluppo delle competenze tecniche, didattiche e progettuali per implementare l'AR in classe, confermando che la formazione degli insegnanti alle tecnologie immersive è un'area da esplorare. Tuttavia, emerge una significativa quantità di studi che analizza le percezioni e l'atteggiamento degli insegnanti - in pre o in servizio - rispetto all'uso delle tecnologie immersive e, in particolare, della realtà aumentata (Marín-Marín et al., 2023; Marques & Pombo, 2021; Huang et al., 2019). In letteratura, infatti, sono stati identificati alcuni fattori predittivi rispetto alla volontà da parte degli insegnanti di integrare l'AR, tra cui la conoscenza pregressa, la motivazione e gli atteggiamenti positivi (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022).

Gli studi emersi permettono di giungere a considerazioni rilevanti che contribuiscono a sottolineare il ruolo della formazione nella promozione di una didattica innovativa, che ripone negli insegnanti la chiave per un'efficace implementazione.

Rispetto all'anno di pubblicazione, l'incremento tra il 2021 e il 2024 riflette la crescente importanza attribuita all'AR e la conseguente necessità di avviare formazioni rivolte specificatamente agli attori principali di questo nuovo cambio di paradigma educativo, volte a migliorare le pratiche di insegnamento mediante l'ausilio di strumenti digitali innovativi.

La concentrazione degli studi in Spagna e Germania può essere ricondotta alle rispettive politiche educative nazionali che, negli ultimi anni, hanno incentivato l'adozione di tecnologie innovative come la realtà aumentata e l'adozione di piani strategici per la digitalizzazione scolastica e

gli investimenti in progetti di ricerca e sviluppo (OECD, 2022). Tuttavia, ciò non esclude la cospicua presenza di ricerche condotte in altri Paesi, che potrebbero non essere emerse nella presente revisione a causa della specificità della stringa di ricerca adottata. Tale osservazione sottolinea l'importanza di ampliare i criteri di selezione nelle future ricerche sistematiche, per includere una più ampia varietà geografica.

Dall'analisi delle caratteristiche descrittive iniziali degli studi, emerge un dato significativo, ovvero la predominanza di studi rivolti ad insegnanti in formazione iniziale, in particolare frequentanti il corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria. Questo riflette una crescente attenzione alla preparazione dei futuri insegnanti e, al contempo, la crescente necessità di programmi di aggiornamento e di alfabetizzazione digitale per gli insegnanti in servizio. Come evidenziato da Köroğlu (2024), in seguito ad uno studio condotto sulle valutazioni educative supportate da AR e VR, c'è una sostanziale differenza nelle percezioni e nell'intenzionalità d'uso percepita per l'adozione di queste tecnologie innovative tra le due tipologie di insegnanti. Mentre, infatti, gli insegnanti in pre-servizio attribuiscono principalmente importanza all'usabilità e al piacere, gli insegnanti in servizio, invece, si concentrano sull'integrazione pragmatica e sui benefici nelle pratiche didattiche esistenti Köroğlu (2024). Queste evidenze pongono le basi per successive azioni formative che abbiano come base la differenziazione delle strategie formative.

Rispetto alla prima domanda di ricerca, la revisione ha inteso analizzare gli obiettivi dei programmi di formazione selezionati (RQ1). L'analisi degli studi ha messo in rilievo il fatto che ci sono degli aspetti ricorrenti nei programmi di formazione legati, in maniera particolare, alle dimensioni dello sviluppo della competenza tecnica nell'uso dell'AR e della formazione pedagogico-didattica (Buchner & Zumbach, 2022; Krug et al., 2023; Belda-Medina, 2022). Questo dato suggerisce che, oltre ad una buona conoscenza tecnologica, è necessario che gli insegnanti siano in grado di declinare queste competenze nella loro prassi didattica (Garzón et al., 2020). Inoltre, a questo si aggiunge un ulteriore aspetto trasversale della formazione, ovvero il fatto che si devono predisporre attività pratiche che permettano

agli insegnanti di creare artefatti e contenuti didattici con l'ausilio della realtà aumentata. La creazione di storie gamificate in AR (Pérez et al., 2022) o di un intervento educativo basato sull'uso di applicazioni per esplorazione delle caratteristiche dei solidi geometrici (Korenova et al., 2024) o, ancora, di esperienze di lettura aumentate (Meletiou-Mavrotheris et al., 2020) non solo permettono agli insegnanti di testare l'efficacia di un artefatto o di un intervento educativo, ma anche di applicare le competenze in contesti educativi reali. Tutto questo, inoltre, permette agli insegnanti di diventare progettisti attivi dell'innovazione didattica, dotati di *agency* e di autonomia. È fondamentale, anche, che agli insegnanti venga data l'opportunità di sperimentare vari strumenti digitali e riflettere sulle proprie esperienze. La pratica riflessiva, infatti, consente agli stessi di valutare criticamente il proprio utilizzo della tecnologia e di migliorare continuamente le proprie strategie di insegnamento (Korenova et al., 2024, p.199).

Rispetto alla seconda domanda di ricerca, tesa ad indagare quali approcci formativi vengono implementati all'interno dei programmi di formazione, è emersa una generale tendenza a superare il modello trasmissivo tradizionale, a favore di un approccio di tipo costruttivista ed esperienziale. Uno dei framework che ricorre maggiormente è il TPACK di Mishra & Koehler (2006), volto a fungere da modello per valorizzare la commistione tra conoscenza tecnologica, pedagogica e contenutistica, al fine di giungere ad una formazione integrata sull'AR che sposti l'attenzione dalla mera padronanza dello strumento tecnologico alla riflessione critico-didattica (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022). Alcuni studi presi in esame, si ispirano ad approcci più operativi, come il *Learning Technology by Design* (Buchner & Zumbach, 2022) e il *Design Thinking Activity Plan Template* (Milrad et al., 2023). Inoltre, il modello KIOSK (Teml & Teml, 2006) e il framework DiKoLAN (Krug et al., 2023; Henne et al., 2024) strutturano percorsi di apprendimento tesi a collegare conoscenza teorica, riflessione critica, attività pratiche e valutazione, in modo da sviluppare competenze professionali avanzate. È interessante notare che, per quanto riguarda le modalità di erogazione, ci sia una certa varietà nei format, spesso combinati in modalità ibride. La modalità del seminario e del laboratorio è stata

riscontata rispettivamente in otto e in nove studi, cosa che testimonia la tendenza ad una riflessione guidata volta all'azione e alla progettazione, unita al confronto tra pari per favorire la costruzione collaborativa del sapere. Il ricorso ai moduli curriculari per l'erogazione della formazione suggerisce un'integrazione sistematica all'interno dei corsi universitari, orientati all'innovazione didattica, garantendo in questo modo una continuità formativa (Belda-Medina, 2022; Belda-Medina et al., 2022; Sáez-López et al., 2020). Infine, la predilezione per i workshop risponde alla necessità di fornire spazi consoni alla progettazione e sperimentazione, dove gli insegnanti possono trovare mementi di confornto e dove si sviluppano attività riflessive (Pérez et al., 2022; Taggart et al., 2023).

C'è un'eterogeneità significativa nell'uso delle tecnologie in AR all'interno dei percorsi di formazione (RQ.3). La prevalenza per le soluzioni *Marker-Based* potrebbe indicare la disponibilità e l'accessibilità di tali strumenti nelle scuole, a differenza di sistemi più avanzati potrebbero ostacolare l'implementazione dal punto di vista logistico strutturale. Queste soluzioni, invece, sono più semplici e intuitive e permettono facilmente la fruizione di elementi interattivi e aumentati. Al contrario, le tecnologie *Markless* e *Head-Mounted Display* sono meno presenti negli studi analizzati. Il loro scarso impiego può essere determinato dalla complessità dei sistemi. Sono, invece, molto utilizzate le piattaforme di *authoring* e modellazione 3D (es. *Cospaces, ZapWorks, Unity, Vuforia*). Questo suggerisce e conferma il passaggio degli insegnanti da semplici fruitori a co-progettisti di contenuti, con una considerevole padronanza della realtà aumentata.

Infine, rispetto all'ultima domanda di ricerca (RQ.4) inerente agli esiti della formazione, la sintesi degli studi analizzati mette in luce un quadro abbastanza articolato. Gli esiti osservati non si limitano solo all'acquisizione delle competenze tecniche, elemento molto importante, ma coinvolgono la dimensione cognitiva, progettuale, motivazionale e riflessiva. Viene sottolineato il potenziamento della capacità progettuale e dell'*agency* professionale degli insegnanti (Belda-Medina et al., 2022; Kim & Curry, 2020) e, al contempo, l'aumento della motivazione, dell'autoefficacia e dell'intenzionalità d'uso della realtà aumentata. Quest'ultimo aspetto è

abbastanza cruciale quando ci si riferisce alla formazione alle tecnologie digitali, poiché spesso uno dei principali ostacoli riguarda la sfera psicologica o attitudinale (Bandura, 1977; Keller, 2010). È interessante osservare come in diversi studi vengano evidenziati, tra gli *outcomes,* lo sviluppo della creatività e delle capacità progettuali e, seppur meno ricorrente, lo sviluppo del pensiero critico e riflessivo, che rappresentano valori aggiunti importanti per promuovere una trasformazione profonda dell'insegnante. In conclusione, i programmi di formazione all'uso dell'AR mettono in luce come si possa sviluppare e potenziare le competenze, le attitudini e i comportamenti professionali degli insegnanti, operando trasversalmente su più dimensioni.

2.4 Riflessioni conclusive

Questo lavoro di revisione ha rilevato un quadro strutturato e aggiornato sullo stato dell'arte della formazione all'uso della realtà aumentata nei percorsi rivolti agli insegnanti, sia in formazione che in servizio.

È emersa la complessità che caratterizza questo tema e le sfide, ancora presenti, nella progettazione di interventi formativi efficaci, che tengano conto delle molteplici dimensioni coinvolte. Gli studi analizzati hanno mostrato il valore aggiunto nel dotare gli insegnanti di competenze tecniche, pedagogiche, didattiche, riflessive e progettuali. Tuttavia, ci sono ancora ostacoli rilevanti da fronteggiare, come l'accessibilità economica delle tecnologie più avanzate e del supporto constante e continuo agli insegnanti, che necessariamente richiedono ulteriori approfondimenti. Inoltre, per avviare un percorso di formazione si devono considerare anche i bisogni formativi degli inseganti e il contesto scolastico in cui essi operano.

È necessario sottolineare l'importanza di interventi formativi che non siano limitati ad interventi episodici, ma si configurino come processi continui e strutturati nel tempo. È auspicabile, inoltre, avviare nuove ricerche che esplorino ulteriori strumenti in AR, al fine di arricchire e potenziare la qualità della formazione e che favoriscano un'efficace implementazione nelle pratiche didattiche.

Un limite evidente è costituito dalla rappresentatività geografica degli studi inclusi. Ciò può essere attribuito alla specificità della stringa di ricerca adottata, che potrebbe aver limitato l'ampiezza della letteratura esplorata.

In conclusione, la revisione conferma che la formazione degli insegnanti all'uso dell'AR rappresenta un ambito di ricerca in continua evoluzione, che richiede approcci integrati e metodologicamente fondati e coerenti con le esigenze della scuola contemporanea. Affinché la realtà aumentata diventi un vero strumento trasformativo e non soltanto innovativo, è fondamentale che nei percorsi di formazione vengano coniugati diversi fattori, tra cui l'aspetto teorico, la sperimentazione pratica ma anche la riflessione pedagogica.

Questa ricerca ha fornito le basi per individuare le principali lacune presenti nella letteratura esistente, offrendo spunti significativi per la progettazione di un intervento formativo che trae origine dalle evidenze emerse per strutturare un percorso formativo mirato per preparare i futuri insegnanti ad un uso consapevole, pedagogicamente mirato ed efficace della realtà aumentata in classe.

Riferimenti Bibliografici

Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Duarte, J., & Betancourt, J. (2021). Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research. *Contemporary Educational Technology*, *13*(3).

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, *84*(2), 191.

Barroso-Osuna, J., Gutiérrez-Castillo, J. J., Llorente-Cejudo, M. C., & Ortiz, R. V. (2019). Difficulties in the incorporation of augmented reality in university education: Visions from the experts. *Journal of new approaches in educational research*, *8*(2), 126-141.

Belda-Medina, J. (2022). Using augmented reality (AR) as an authoring tool in EFL through mobile computer-supported collaborative learning. *Teaching English with Technology*, *22*(2), 115-135.

Belda-Medina, J., & Calvo-Ferrer, J. R. (2022). Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework. *Education and Information Technologies*, *27*(9), 12123-12146.

BONNET, O. (2025). Augmented Reality For Stem Education: Visualizing Complex Concepts Through Interactive Learning.

Buchner, J., & Zumbach, J. (2020). Augmented Reality In Teacher Education. A Framework To Support Teachers'technological Pedagogical Content KNOWLEDGE. *Italian Journal of Educational Technology*, *28*(2), 106-120.

Cabero-Almenara, J., Vázquez-Cano, E., Villota-Oyarvide, W. R., & López-Meneses, E. (2021). Innovation in the university classroom through augmented reality. Analysis from the perspective of the Spanish and Latin American students. *Revista Electronica Educare*, *25*(3), 1-17.

Garzón, J., Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on

education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, *31*, 100334.

Gómez-García, G., Hinojo-Lucena, F. J., Alonso-García, S., & Romero-Rodríguez, J. M. (2021). Mobile learning in pre-service teacher education: perceived usefulness of AR technology in primary education. *Education Sciences*, *11*(6), 275.

Guncaga, J., Korenova, L., & Severini, E. (2024, October). Enhancing STEAM Education with AR: A Primary Education Teacher Training Study. In *European Conference on e-Learning* (pp. 114-121). Academic Conferences International Limited.

Henne, A., Syskowski, S., Krug, M., Möhrke, P., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2024). How to Evaluate Augmented Reality Embedded in Lesson Planning in Teacher Education. *Education Sciences*, *14*(3), 264.

Huang, K. T., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J., & Fordham, J. (2019). Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *22*(2), 105-110.

Jwaifell, M. (2019). In-Service Science Teachers' Readiness of Integrating Augmented Reality. *Journal of Curriculum and Teaching*, *8*(2), 43-53.

Kim, Y., & Curry, K. (2020). Integrating augmented reality for learning: Working with pre-service teachers. *International Journal of Smart Technology and Learning*, *2*(2-3), 217-233.

Korenova, L., Guncaga, J., Zilkova, K., & Totkovicova, M. (2024). Augmented Reality for Exploring Solids: A Study on Improving Pre-Service Teachers. In *European Conference on e-Learning* (pp. 187-196). Academic Conferences International Limited.

Köroğlu, M. (2025). Pioneering virtual assessments: Augmented reality and

virtual reality adoption among teachers. *Education and Information Technologies*, *30*(8), 9901-9948.

Krug, M., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2023). Augmented reality in the science classroom—Implementing pre-service teacher training in the competency area of simulation and modeling according to the DiKoLAN framework. *Education Sciences*, *13*(10), 1016.

La Marca, A., Di Martino, V., & Gülbay, E. (2021). La Self-Efficacy del Docente Universitario in Situazione di Emergenza Covid-19. *Excellence and Innovation in Learning and Teaching-Open Access*, *6*(1).

Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., ... & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *Bmj*, *339*.

Liu, T. Y., Tan, T. H., & Chu, Y. L. (2008, December). QR code and augmented reality-supported mobile English learning system. In *Workshop of mobile multmedia processing* (pp. 37-52). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Marques, M. M., & Pombo, L. (2021). The impact of teacher training using mobile augmented reality games on their professional development. *Education Sciences*, *11*(8), 404.

Mei, B., & Yang, S. (2021). Chinese pre-service music teachers' perceptions of augmented reality-assisted musical instrument learning. *Frontiers in Psychology*, *12*, 609028.

Meletiou-Mavrotheris, M., Carrilho, A. R., Charalambous, C., Mavrou, K., & Christou, C. (2020). Teacher training for 'augmented reading': The living book approach and initial results. *Education Sciences*, *10*(5), 144.

Milrad, M., Herodotou, C., Grizioti, M., Lincke, A., Girvan, C., Papavlasopoulou, S., ... & Zhang, F. (2023, July). Combining design thinking with emerging technologies in k-12 education. In *International*

Conference in Methodologies and intelligent Systems for Techhnology Enhanced Learning (pp. 15-27). Cham: Springer Nature Switzerland.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, *108*(6), 1017-1054.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024). Exploring teachers' competences to integrate augmented reality in education: Results from an international study. *TechTrends*, *68*(6), 1208-1221.

Oberdörfer, S., Birnstiel, S., Latoschik, M. E., & Grafe, S. (2021, June). Mutual benefits: Interdisciplinary education of pre-service teachers and hci students in vr/ar learning environment design. In *Frontiers in Education* (Vol. 6, p. 693012). Frontiers Media SA.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022). *Education at a glance 2022: OECD indicators*.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, *372*.

Palamar, S. P., Bielienka, G. V., Ponomarenko, T. O., Kozak, L. V., Nezhyva, L., & Voznyak, A. V. (2021). Formation of readiness of future teachers to use augmented reality in the educational process of preschool and primary education. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021) Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021* (Vol. 2898, pp. 334-350). CEUR Workshop Proceedings.

Pérez, M. E. D. M., López-Bouzas, N., & Fernández, J. C. (2023). Activating Teacher Competencies Through Designing Gamified Stories With Augmentative Reality. In *Handbook of Research on Establishing Digital Competencies in the Pursuit of Online Learning* (pp. 230-252). IGI Global.

Ripsam, M., & Nerdel, C. (2024, January). Teachers' attitudes and self-efficacy toward augmented reality in chemistry education. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1293571). Frontiers Media SA.

Sáez-López, J. M., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., & Gómez Carrasco, C. J. (2020). Augmented reality in higher education: An evaluation program in initial teacher training. *Education Sciences*, *10*(2), 26.

Sat, M., Ilhan, F., & Yukselturk, E. (2023). Comparison and evaluation of augmented reality technologies for designing interactive materials. *Education and Information Technologies*, *28*(9), 11545-11567.

Silva-Díaz, F., Carrrillo-Rosúa, J., Fernández-Ferrer, G., Marfil-Carmona, R., & Narváez, R. (2023). Valoración de tecnologías inmersivas y enfoque STEM en la formación inicial del profesorado.

Taggart, S., Roulston, S., Brown, M., Donlon, E., Cowan, P., Farrell, R., & Campbell, A. (2023). Virtual and augmented reality and pre-service teachers: Makers from muggles?. *Australasian Journal of Educational Technology*, *39*(3), 1-16.

Tan, L., Thomson, R., Koh, J. H. L., & Chik, A. (2023). Teaching multimodal literacies with digital technologies and augmented reality: a cluster analysis of Australian teachers' TPACK. *Sustainability*, *15*(13), 10190.

Teml, H., & Teml, H. (2006). Erfolgreiche Unterrichtsgestaltung. Wege zu einer persönlichen Didaktik. Innsbruck, Wien, AT: Studienverlag

Üral, Y., Yalçin, S. A., & Yalçin, P. (2025). Compilation of Augmented Reality Studies Conducted with Teacher Candidates. *e-mentor*, *108*(1).

Wang, Q., & Li, Y. (2024). How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, *40*(3), 1276-1294.

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, *62*, 41-49.

Capitolo III

Casi di studio sull'integrazione della Realtà Aumentata nella didattica universitaria: valutazione dell'esperienza immersiva e del coinvolgimento

Alla luce delle riflessioni teoriche esposte nel capitolo precedente, il presente capitolo presenta due casi di studio relativi all'integrazione della realtà aumentata (*Augmented Reality*, AR) nella formazione universitaria dei futuri insegnanti. L'obiettivo è quello di esplorare concretamente l'implementazione di questa tecnologia nei contesti didattici accademici e di valutarne l'impatto sia sul piano percettivo, in termini di esperienza immersiva e coinvolgimento, sia su quello strettamente didattico. Gli studi di caso, a carattere esplorativo, hanno consentito di raccogliere dati ed evidenze significative, volte a comprendere come gli studenti reagiscono dinanzi all'uso delle tecnologie immersive e quali dimensioni risultano maggiormente influenzate dall'uso della realtà aumentata, in termini di partecipazione, motivazione e costruzione dell'esperienza di apprendimento.

I casi di studio qui presentati, sono stati condotti durante gli anni accademici 2022/23 e 2023/24 con studenti del CdLM a Ciclo Unico in *Scienze della Formazione Primaria* (LM 85-bis) e con studenti del CdL in *Scienze Pedagogiche* (LM85). In particolare, è stato sperimentato l'uso dei visori di ultima generazione *Hololens Microsoft* che, integrati con un software appositamente progettato, ha reso possibile un'esperienza di apprendimento immersiva e innovativa, durante la quale gli studenti hanno interagito con contenuti dinamici e aumentati nello spazio circostante. Il fine ultimo di queste indagini esplorative è stato quello di valutare i livelli di presenza, *agency*, coinvolgimento e immersione percepiti dagli studenti durante l'attività didattica con visori in AR, con l'intento di comprendere in che misura tali dimensioni contribuiscano a definire la qualità dell'esperienza formativa.

Di seguito una panoramica degli studi di caso inclusi:

- *La didattica Immersiva: la nuova frontiera della didattica*[4]. Lo studio ha coinvolto un totale di 160 studenti, di cui 100 iscritti al CdLM in Scienze della Formazione Primaria e frequentanti l'insegnamento di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia* e 60 iscritti al CdL in Scienze Pedagogiche, nell'ambito dell'insegnamento di *Metodologia Didattica*. L'obiettivo è stato quello di esplorare come la realtà aumentata possa favorire l'attivazione di processi di apprendimento esperienziale e significativo, promuovendo una partecipazione attiva dello studente

[4] Cfr. La Marca, A., Leone A., (2023). La didattica immersiva: la nuova frontiera della didattica. *Nuova Secondaria*, 2(41), pp. 210-222.

all'interno di un ambiente di apprendimento aumentato. In particolare, l'esperienza ha inteso valutare in che misura l'uso della didattica immersiva sia in grado di stimolare il coinvolgimento e la motivazione in modo analogo ad esperienze che si attivano durante un apprendimento di tipo situato e basato sull'esperienza diretta.

- *Apprendimento con realtà aumentata in Università: evidenze percettive e criticità emergenti*[5]. Lo studio ha coinvolto un campione di 116 studenti, iscritti al CdLM in Scienze della Formazione Primaria e frequentanti l'insegnamento di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia*, nell'anno accademico 2022/2023. L'indagine si propone di esplorare le percezioni degli studenti, in seguito all'uso dell'AR e di valutare l'efficacia dell'esperienza di apprendimento immersivo, con particolare attenzione alle dimensioni dell'immersione e del coinvolgimento percepiti.

In entrambi i casi è stato somministrato uno strumento validato e adattato, il *Presence Questionnaire* (Witmer & Singer, 1998), nella versione adattata dal *Cyberpsichology Lab dell'Université du Québec* (Robillard et al, 2003). Il questionario, specificatamente progettato per rilevare il grado di coinvolgimento e di immersione dei soggetti coinvolti in un'esperienza di apprendimento con AR, è focalizzato su aspetti legati all'esperienza senso-motoria. Lo strumento è composto da 24 item, valutati su una scala Likert da 1 a 7 (dove 1 corrisponde a "per niente" e 7 a "completamente") e include le seguenti dimensioni: *realism* (similarità tra l'ambiente virtuale e quello reale); *affondance to act* (abilità di esplorare attivamente e manipolare l'ambiente virtuale); *quality of interface* (relativa alla qualità tecnica dell'interfaccia, in termini di latenza o difficoltà legate al software); *affordance to examine* (abilità di avvicinarsi agli oggetti virtuali ed esaminarli da angolazioni diverse); *self-assessment of performance* (riflette il senso di competenza nello svolgere compiti all'interno dell'ambiente virtuale) (Robillard et al., 2003).

L'adozione di questo strumento ha consentito di raccogliere dati sistematici e affidabili sulla qualità percepita dell'esperienza immersiva, offrendo una base empirica per valutarne l'impatto non solo sul piano tecnologico, ma, soprattutto, in termini di efficacia formativa e potenzialità di integrazione dell'AR nei contesti educativi.

[5] Cfr. Di Martino, V., & Leone, A. (2024). Apprendimento con Realtà Aumentata in Università: percezioni, sfide e opportunità. In *A cosa serve la ricerca educativa? Il dato e il suo valore sociale* (pp. 242-250). Pensa MultiMedia.

3.1 La didattica Immersiva: la nuova frontiera della didattica: campione e finalità della ricerca

Il primo intervento esplorativo ha coinvolto complessivamente 160 studenti, provenienti da due distinti percorsi accademici, ovvero 100 iscritti al CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria e frequentanti l'insegnamento di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia* e 60 iscritti al CdL in Scienze Pedagogiche, nell'ambito dell'insegnamento di *Metodologia Didattica*.

Il campione risulta composto in larga parte da donne (98.7%), con un'età media di 22.4 anni (SD=1.9). L'obiettivo dell'intervento è stato quello di esplorare in che modo l'integrazione della realtà aumentata, attraverso la creazione di ambienti immersivi, possa favorire lo sviluppo di processi di apprendimento esperienziali e significativi, stimolando al contempo il coinvolgimento attivo degli studenti e la percezione di sé in quanto agenti attivi all'interno del processo formativo.

In particolare, le dimensioni del coinvolgimento e dell'immersione sono state considerate variabili chiave in quanto strettamente associate alla qualità dell'esperienza di apprendimento. Esse forniscono una prospettiva interpretativa utile per comprendere l'efficacia educativa dell'AR dal punto di vista degli studenti.

3.1.1 Descrizione dell'intervento

L'attività didattica è stata articolata in quattro incontri e ha previsto, in fase preliminare, la creazione di un sistema interattivo in grado di consentire agli studenti di interagire con lo spazio e manipolare gli oggetti 3D posizionati all'interno dell'ambiente reale.

L'intervento ha inteso valorizzare il potenziale didattico della tecnologia in AR, ancora parzialmente inesplorato, ponendo al centro dell'esperienza i concetti cardine dell'immersione, quali la *presenza* e l'*agency*. Tali dimensioni sono state attivate e sperimentate attraverso l'utilizzo di dispositivi indossabili, che hanno permesso un movimento più naturale e fluido nell'ambiente immersivo.

La progettazione dell'attività è stata basata su un approccio esperienziale e orientato all'azione. Dopo un'introduzione teorica, che ha previsto la presentazione della tecnologia immersiva, delle sue potenzialità e dei vantaggi che apporta ai processi di insegnamento e apprendimento, ha fatto seguito una fase operativa, durante la quale gli studenti hanno partecipato attivamente, sperimentando in prima persona, le attività esplorative e manipolative connesse ai contenuti aumentati.

L'intervento didattico ha favorito un progressivo avvicinamento degli studenti all'AR e all' esperienza immersiva supportata e mediata dai dispositivi indossabili. Al tempo stesso, ha contribuito allo sviluppo di competenze trasversali, quali la capacità di collaborare in gruppo, di comunicare e di analizzare criticamente l'efficacia degli strumenti sperimentati. Agli studenti sono state fornite risorse mirate per poter

partecipare attivamente, in modo da favorire un approccio più autonomo e responsabile alla costruzione delle conoscenze.

Nel dettaglio, l'intervento ha previsto quattro incontri della durata di tre ore ciascuno, per un totale di sedici ore di attività (Tabella 3.1).

Incontri	Attività	Obiettivo
Primo	Fase introduttiva	Rilevare le percezioni concettuali iniziali degli studenti rispetto alla realtà aumentata
	Introduzione Teorica	Fornire agli studenti un quadro teorico di riferimento sull'uso didattico dell'AR, con particolare attenzione ai processi di apprendimento esperienziale e significativo
Secondo	Creazione dell'ambiente virtuale	Consentire agli studenti di partecipare alla creazione di un ambiente virtuale, mediante il supporto di un software specifico
Terzo	Esperienza immersiva in AR	Attivare l'immersione in un ambiente aumentato mediante il supporto dei dispositivi indossabili
Quarto	Valutazione dell'esperienza	Rilevare i livelli percepiti di immersione, coinvolgimento e agency e senso di efficacia esperienziale mediante somministrazione di un questionario

Tabella 3.1 – Struttura dell'intervento didattico

3.1.2 Primo incontro – Fase Introduttiva e Approccio Teorico

Nella fase introduttiva dell'intervento è stata proposta un'attività esplorativa, volta a rilevare le percezioni spontanee degli studenti rispetto ai concetti di didattica immersiva e realtà aumentata. Mediante l'applicativo *Mentimeter* è stata somministrata la seguente domanda aperta: "*Cosa ti viene in mente quando senti parlare di didattica immersiva e, in particolare, di realtà aumentata*?".

Questa rilevazione, benché sia limitata ad un unico item, ha permesso di far emergere le prime associazioni concettuali degli studenti, offrendo un quadro di riferimento utile per interpretare i dati successivi. Inoltre, l'essenzialità dello stimolo, circoscritto ad un'unica domanda, ha ridotto il rischio di sovrastrutture interpretative, contribuendo a far emergere rappresentazioni autentiche dei concetti proposti. Questa modalità è tipica delle indagini qualitative, in cui anche un singolo quesito, se ben formulato, può fornire informazioni significative sul campione (Creswell & Plano Clark, 2017).

Le risposte aperte sono state analizzate mediante un approccio lessicale ed esplorativo. In particolare, è stata condotta un'analisi di frequenza delle parole più ricorrenti, successivamente rappresentata attraverso una *word cloud* (Heimerl et al., 2014). Questo approccio ha permesso di evidenziare visivamente le associazioni concettuali più forti. L'analisi è stata, inoltre, accompagnata dalla quantificazione delle occorrenze, in modo da rafforzare l'interpretazione qualitativa con un supporto descrittivo di tipo quantitativo (Tabella 3.2).

Parola/Concetto	Frequenza (%)
Tecnologico	42.5
Innovazione	34.3
Videogioco	29.3
Futuro	25.0
Visore	22.5
Virtuale	21.2
3D	19.3
Esperienza	18.1
Coinvolgente	16.8
Immersione	12.5
Metaverso	9.3
Fantasia	7.5
Difficoltà	5.0
Confusione	5.0

Tabella 3.2 – Frequenze percentuali delle parole associate a "Didattica Immersiva" e "realtà aumentata"

L'analisi esplorativa delle risposte ha restituito le varie associazioni che gli studenti hanno posto rispetto ai concetti indagati. In netta prevalenza è stato associato il concetto di tecnologia (42.5%) e innovazione (34.3%). Un dato interessante riguarda anche l'associazione con il dominio del gioco (29.3%), campo in cui probabilmente molti studenti hanno sperimentato l'AR prima dell'attività in classe o guidato, semplicemente, dall'associazione nell'immaginario comune con l'intrattenimento digitale.

Altri termini ricorrenti rimandano ad una visione futuristica e avanguardistica dell'AR (Futuro: 25%) e Metaverso (9.3%), così come Fantasia (7.5%). Emergono, inoltre, riferimenti ai concetti pedagogici di Esperienza (18.1%) e Coinvolgimento (16.8%). Parallelamente, alcuni studenti hanno manifestato associazioni critiche o dubbiose (Difficoltà e Confusione: 5%), a dimostrazione della presenza di barriere percettive e di una conoscenza ancora parziale delle potenzialità educative dell'AR.

Nel complesso, la distribuzione lessicale ha fornito un quadro iniziale sulle rappresentazioni prima dell'avvio dell'intervento.

A questa prima fase introduttiva, ha fatto seguito la presentazione teorica della realtà aumentata, collocata all'interno di un quadro di riferimento pedagogico. In questa fase si è cercato di offrire agli studenti una visione complessiva della tecnologia e delle sue applicazioni in campo educativo. L'approccio adottato è stato basato sui principi dell'apprendimento di tipo esperienziale e significativo, evidenziando come la realtà aumentata, attraverso la sovrapposizione di contenuti digitali al mondo reale, contribuisca a stimolare processi cognitivi complessi e a favorire una partecipazione attiva degli studenti.

L'introduzione teorica, da un lato, ha voluto sensibilizzare gli studenti sulle potenzialità didattiche dell'AR e, dall'altro, ha inteso fornire agli stessi gli strumenti concettuali necessari per interpretare l'esperienza pratica realizzata negli incontri successivi.

3.1.3 Secondo Incontro - Creazione dell'ambiente virtuale

Il secondo incontro è stato dedicato alla progettazione e creazione di un ambiente virtuale, attraverso l'impiego di un software appositamente sviluppato. È stata realizzata una stanza digitale immersiva, arricchita con oggetti tridimensionali in alta definizione, selezionati in modo da garantire un'esperienza significativa e didatticamente rilevante. Per una migliore esperienza e per rendere maggiormente performante la fruizione dell'AR, sono stati selezionati oggetti di anatomia umana e di biologia cellulare. La possibilità di manipolare oggetti non visibili ad occhio nudo (come un cuore o una molecola di DNA) permette di apprezzare maggiormente l'esperienza e, al contempo, di avere un maggior coinvolgimento, unito alla curiosità di fare esperienza "dell'ignoto". Questa possibilità ha stimolato la curiosità degli studenti e l'interesse nel processo operativo. Un aspetto rilevante di questa fase è stato proprio il coinvolgimento attivo degli studenti nel processo progettuale, poiché c'è stata una partecipazione da parte degli stessi nella definizione dei contenuti da sperimentare, in un secondo momento, mediante i visori.

3.1.4 Terzo Incontro – Esperienza immersiva in AR

Alla fase progettuale ha fatto seguito la sperimentazione diretta dell'ambiente virtuale progettato, attraverso l'impiego dei visori *Holens Microsoft*, che ha permesso di proiettare i contenuti nello spazio reale, aumentando la percezione dello stesso, trasformando la lezione in un'esperienza immersiva. L'uso dei visori ha reso possibile la creazione di un *Hybride Learning Space* (spazio di apprendimento ibrido), in cui elementi fisici e digitali coesistono, consentendo allo studente di interagire con gli oggetti aumentati all'interno dell'ambiente reale. La possibilità di muoversi liberamente e di manipolare i contenuti digitali tramite gesti naturali – senza l'uso di joystick -, ha favorito un coinvolgimento diretto e corporeo nell'esperienza formativa. Tale configurazione ha contribuito a ricreare un ambiente di apprendimento coinvolgente, personalizzato, esperienziale e significativo, all'interno del quale è stato possibile attivare processi di autoapprendimento.

3.1.5 Valutazione dell'esperienza

La fase conclusiva ha previsto la valutazione dell'esperienza immersiva, al fine di rilevare il grado di coinvolgimento e di immersione percepito dagli studenti durante questo primo approccio con un ambiente in realtà aumentata. A tal proposito, è stato somministrato il *Presence Questionnaire* di Witmer & Singer (1998), nella versione rivista e adattata dal *Cyberpsychology Lab dell'Université du Québec* (Robillard et al., 2003).

Il questionario si fonda sui concetti teorici del coinvolgimento e dell'immersione, ritenuti fondamentali per creare un adeguato senso di presenza.

Il coinvolgimento è uno stato psicologico vissuto come conseguenza del concentrare l'attenzione e l'energia su un insieme coerente di stimoli o di attività. Esso dipende dal livello di significato che l'individuo associa agli stimoli, alle attività, agli eventi. In generale, più un utente concentra la propria attenzione sugli stimoli dell'ambiente virtuale, più diventa coinvolto nell'esperienza virtuale, e ciò contribuisce ad aumentare il senso di presenza nello stesso. Un ambiente virtuale che produce un maggior senso di immersione produrrà livelli più alti di presenza (Chiesa et al., 2020).



Figura 3.1- Le dimensioni del coinvolgimento e dell'immersione nell'apprendimento

3.1.6 Risultati

L'analisi descrittiva, condotta mediante il software statistico Jamovi (2.3), evidenzia nel complesso un impatto positivo dell'esperienza immersiva. In particolare, la dimensione che fa riferimento alle caratteristiche dell'ambiente sperimentato, ha registrato valori medi abbastanza elevati. Gli studenti, infatti, hanno valutato come molto coinvolgente l'aspetto visivo (M= 6.30, SD = 1.1) e hanno avvertito molta naturalezza nell'interazione con l'ambiente aumentato (M=5.45, SD = 1.2). Anche la dimensione legata alla possibilità di analizzare oggetti da più punti di vista ha ottenuto un buon riscontro tra gli studenti (M= 4.52, SD= 1.3), a conferma della percezione di un ambiente realistico e coerente con le esperienze reali (M=4.40, SD= 1.1).

Per quanto riguarda il rapporto con gli stimoli visivi, fondamentali per gli ambienti immersivi, i dati indicano che i suoni integrati nell'ambiente hanno contribuito a rafforzare la sensazione di immersione (M=5.02, SD= 1.3).

Risultati, altresì, significativi si evidenziano per l'area dell'interazione senso-motoria. Gli studenti, infatti, hanno evidenziato un'elevata naturalezza nei movimenti e nella manipolazione degli oggetti virtuali (M=5.50, SD= 1.3), percependo un forte senso di agency e di controllo sulle azioni svolte nello spazio immersivo (M=5.80, SD=1.0). La possibilità di muoversi liberamente senza l'ausilio di joystick e sfruttando i movimenti naturali delle mani, ha fornito un valore aggiunto all'esperienza.

Infine, gli item relativi alla dimensione della qualità dell'interfaccia durante l'esperienza hanno mostrato punteggi leggermente inferiori ma comunque positivi: la qualità visiva (M = 3.80, SD = 1.9) e la stabilità dei dispositivi di controllo (M = 3.75, SD = 2.0) sono state indicate come aree migliorabili, ma non hanno compromesso la globalità dell'esperienza.

I dati complessivamente confermano che l'attività con AR ha suscitato alti livelli di coinvolgimento e immersione, preludio fondamentale per sortire efficaci risultati per l'apprendimento con realtà aumentata.

È utile sottolineare come l'AR stimoli processi di apprendimento attivo e metacognitivo, oltre a configurarsi anche come uno strumento inclusivo, in grado di rispondere ai principi dell'Universal *Design for Learning* (Straniero, 2023), offrendo a ciascuno studente percorsi di apprendimento personalizzati e differenziati (La Marca & Leone, 2023). La motivazione e la curiosità manifestata dagli studenti rispetto all'implementazione didattica dell'AR in questa esperienza pilota, conferma quanto emerso in letteratura sul ruolo dell'AR nel promuovere coinvolgimento, agency e senso di efficacia (Radianti et al., 2020).

Le prime evidenze emerse da questo studio confermano quanto questa tecnologia immersiva possegga le caratteristiche per configurarsi come una metodologia didattica innovativa, in grado di integrare aspetti cognitivi, motivazionali e inclusivi, contribuendo al rinnovamento dei processi formativi (La Marca & Leone, 2023).

3.2 Apprendimento con Realtà Aumentata in Università: evidenze percettive e criticità emergenti: campione e finalità della ricerca

È stato condotto un secondo caso di studio, volto ad approfondire ulteriormente le potenzialità educative della realtà aumentata nei contesti universitari. In questo secondo caso, il focus è stato orientato sia sulle percezioni degli studenti rispetto all'esperienza immersiva vissuta, sia sull'emersione di eventuali criticità legate all'uso della tecnologia. L'obiettivo, da un lato, è stato volto a verificare la coerenza dei risultati positivi emersi nella prima sperimentazione, dall'altro di individuare ostacoli o criticità riscontrabili in un nuovo campione, così da fornire un quadro più realistico delle condizioni necessarie per un'integrazione efficace della tecnologia nella prassi universitaria.

Lo studio ha coinvolto un campione di 116 studenti, iscritti al CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria e frequentanti l'insegnamento di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia*, nell'anno accademico 2022/2023, composto in prevalenza da donne (97.9%), con un'età media di 22.1 anni (SD= 1.8).

Rispetto al primo intervento esplorativo, basato unicamente sull'utilizzo di visori e sulla costruzione di ambienti in AR mediante software, questo secondo studio ha privilegiato un approccio più diffuso e accessibile,

contemplando la presenza di applicazioni per dispositivi mobili. Questa scelta metodologica ha permesso di esplorare un diverso livello di applicabilità dell'AR in ambito educativo.

Anche in questo caso, per la raccolta dei dati è stato utilizzato il *Presence Questionnaire* sviluppato da Witmer & Singer (1998), nella versione di Robillard et al. (2003).

3.2.1 Descrizione dell'intervento

L'intervento è stato strutturato con un'attività finalizzata a sperimentare l'utilizzo dell'AR attraverso l'impiego di applicazioni per dispositivi mobili, sia di tecnologie indossabili.

Gli studenti sono stati guidati nella scoperta e nell'utilizzo dei visori e del software per la progettazione di ambienti aumentati, così come nell'utilizzo di specifiche applicazioni educative che consentono di visualizzare, manipolare ed esplorare oggetti tridimensionali, nonché di creare semplici artefatti didattici in AR. Sono state previste sia attività in gruppo, che fasi di esplorazione individuale, con l'obiettivo di stimolare e supportare un apprendimento esperienziale e collaborativo.

Dal punto di vista metodologico, l'intervento si è basato su un'esperienza didattica più mirata, atta direttamente alla simulazione di scenari d'uso realistici e immediatamente applicabili nella pratica didattica. L'obiettivo è stato orientato, in particolare, all'esplorazione delle criticità che possono ostacolare la piena realizzazione dell'AR in ambito educativo. In particolare, ci si è soffermati su tre dimensioni critiche:

- *La qualità visiva dei contenuti tridimensionali riprodotti*, fruiti sia mediante l'uso dei visori che delle applicazioni per dispositivi mobili;
- *La stabilità dell'interfaccia*, la cui instabilità può compromettere l'esperienza;
- *Il grado di agency percepito*, ovvero la sensazione di controllo e possibilità di interazione dell'utente, fortemente condizionata dalle opportunità offerte dal sistema di manipolazione tridimensionale.

Questi aspetti, analizzati attraverso la somministrazione del *Presence Questionnaire* (cfr. 2.1.6), hanno permesso di valutare in che misura ciascuna di queste variabili incide sulla percezione di immersione, coinvolgimento ed efficacia formativa dell'ambiente aumentato. Questo secondo studio rappresenta, dunque, un passaggio metodologicamente e concettualmente indispensabile per la costruzione futura di linee guida per l'adozione della realtà aumentata nella formazione universitaria e scolastica.

3.2.2 Risultati

I dati raccolti sono stati analizzati tramite statistiche descrittive (medie e deviazioni standard), con il supporto del software Jamovi (2.3). Tale approccio ha consentito di restituire un quadro sintetico ma accurato delle

percezioni degli studenti rispetto all'esperienza in AR, individuando punti di forza e criticità dell'intervento.

Come evidenziato dalla Tabella 3.3, gli studenti hanno avuto delle percezioni complessivamente positive rispetto all'esperienza avuta con le tecnologie immersive, con particolare enfasi sul coinvolgimento visivo, la naturalezza dell'interazione e la possibilità di esplorare oggetti tridimensionali da diverse prospettive. Inoltre, è stata rilevata una buona coerenza tra l'esperienza in AR e le esperienze nel mondo reale, elemento cruciale per sostenere processi di apprendimento ti tipo autentico.

Item	N	Mean	SD
1.Quanto sei riuscito a controllare gli eventi?	116	5.09	1.09
2.Quanto è stato reattivo l'ambiente alle azioni che hai avviato (o eseguito)?	116	5.34	1.24
3. Quanto ti sono sembrate naturali le tue interazioni con l'ambiente sperimentato?	116	5.39	1.39
4. Quanto ti ha coinvolto l'aspetto visivo dell'ambiente?	116	6.31	1.19
5. Quanto era naturale il meccanismo che controllava il movimento attraverso l'ambiente?	116	5.05	1.18
6. Quanto è stato convincente il tuo senso degli oggetti che si muovono nello spazio?	116	5.56	1.07
7. Quanto le tue esperienze nell'ambiente virtuale sono sembrate coerenti con le tue esperienze nel mondo reale?	116	5.34	1.31
8. Sei stato in grado di anticipare cosa sarebbe successo dopo in risposta alle azioni che hai compiuto?	116	5.14	1.30
9. In che misura sei stato in grado di esaminare attivamente l'ambiente utilizzando la visione?	116	5.41	1.05
10. Quanto è stata convincente la tua sensazione di muoverti all'interno dell'ambiente virtuale?	116	6.10	1.06
11. Quanto sei stato in grado di esaminare da vicino gli oggetti?	116	5.59	1.08
12. Quanto bene si possono esaminare gli oggetti da più punti di vista?	116	6.23	1.17
13. Quanto sei stato coinvolto nell'esperienza dell'ambiente virtuale?	116	6.01	1.06
14. Quanto ritardo hai riscontrato tra le tue azioni e i risultati attesi?	116	4.02	2.04
15. Quanto velocemente ti sei adattato all'esperienza dell'ambiente virtuale?	116	5.27	1.29
16. Quanto ti sei sentito abile nel muoverti e interagire con l'ambiente virtuale alla fine dell'esperienza?	116	5.23	1.24
17. In che misura la qualità della visualizzazione visiva ha interferito o distratto dall'esecuzione dei compiti assegnati o delle attività richieste?	116	3.59	2.07
18. Quanto i dispositivi di controllo hanno interferito con lo svolgimento dei compiti assegnati o con altre attività?	116	3.57	2.17
19. Quanto sei riuscito a concentrarti sui compiti assegnati o sulle attività richieste piuttosto che sui meccanismi utilizzati per svolgere tali compiti o attività?	116	5.24	1.50
20. Quanto ti hanno coinvolto gli aspetti uditivi dell'ambiente?	116	5.15	2.02
21. Quanto sei riuscito a identificare i suoni?	116	5.33	1.53
22. Quanto sei riuscito a localizzare i suoni?	116	5.24	1.48
23. Quanto sei riuscito a sondare o cercare attivamente nell'ambiente virtuale usando il tocco?	116	5.19	1.36
24. Quanto sei bravo a muovere o manipolare oggetti nell'ambiente virtuale?	116	5.35	1.45

Tabella 3.3 – Statistiche descrittive relative alle risposte del *Presence Questionnaire (*Robillard et al., 2003)

Nel dettaglio, per quanto riguarda le percezioni derivanti dall'ambiente immersivo sperimentato durante l'esperienza didattica emergono valori elevati in relazione al coinvolgimento visivo (item 4), con un valore medio pari a 6.31 che suggerisce quanto sia impattante questa componente sull'esperienza, così come rispetto alla naturalezza delle azioni nell'ambiente sperimentato (M=5.39, item 3). Segue la possibilità di

esaminare gli oggetti da più punti di vista (M=6.23, item 12). Altre tendenze interessanti emerse sono quelle che si riferiscono al controllo e alla reattività dell'ambiente (M=5.34, item 2): gli studenti sembrano sentirsi abbastanza abili nel controllare gli eventi in AR e nella percezione di reattività dell'ambiente immersivo (M= 5.05, item 5). Un indicatore di autenticità nell'approccio ai contenuti della realtà aumentata è quello derivante dall'item 7, che indica quanto le esperienze in AR sono sembrate coerenti con le esperienze del mondo reale (M=5.34), dato fondamentale per analizzare quanto l'AR avvii forme di apprendimento autentico e significativo. Gli studenti hanno, altresì, segnalato di essere in grado di concentrarsi sui compiti assegnati o sulle attività richieste, piuttosto che sui meccanismi utilizzati per svolgerli (M=5.2, item 19). È interessante notare come gli studenti abbiano risposto positivamente rispetto al coinvolgimento nell'esperienza virtuale (M=6.01, item 13), così come riguardo alla velocità con la quale si sono adattati all'esperienza in AR (M=5.27, item 15).

Tuttavia, nonostante i riscontri generalmente positivi, l'analisi ha evidenziato alcune criticità, soprattutto in riferimento alla qualità della visualizzazione (M=3.59, item 17), che si è rilevata inferiore alle aspettative. Tale aspetto è risultato particolarmente delicato, poiché interferisce con l'efficacia dell'esecuzione dei compiti proposti e, in casi estremi, può anche generare frustrazione negli studenti. Infatti, durante un momento di discussione aperta post sperimentazione, sono emerse numerose segnalazioni da parte degli studenti, riguardanti immagini poco nitide, la scarsa risoluzione dei contenuti tridimensionali e la difficoltà nel mantenere l'attenzione visiva. Le cause sono da annoverare principalmente a fattori di tipo tecnico, come la qualità della connessione internet. Infatti, tra gli elementi fondamentali per la buona riuscita di un'esperienza in AR, vi è proprio la qualità e la stabilità della rete, poiché una connessione inadeguata compromette il caricamento delle scene aumentate e la definizione degli oggetti, nonché l'interattività in generale.

3.3 Riflessioni Conclusive

Gli studi di caso qui presentati, pur differenziandosi per struttura metodologica e per l'ampliamento delle tecnologie impiegate nel secondo caso, offrono una visione complessiva e articolata delle potenzialità e dei limiti dell'AR nella formazione universitaria.

In entrambe le esperienze è stato evidenziato come l'AR sia percepita dagli studenti come una tecnologia coinvolgente, innovativa e fortemente immersiva, in grado di attivare processi di apprendimento esperienziale e situato. Sono state riscontrate evidenze positive sia nei contesti più strutturati e graduali – come nel primo studio, con l'utilizzo di visori – che in quelli più accessibili e simulativi – come nel secondo studio, con l'impiego di visori e di applicazioni per dispositivi mobili -.

Le analisi condotte mediante il *Presence Questionnaire* hanno confermato un'elevata percezione di presenza, agency e di coinvolgimento,

aspetti considerati fondamentali nella letteratura di riferimento, per garantire l'efficacia delle esperienze immersive (cfr. Di Martino & Leone, 2024).

Tuttavia, è altresì necessario segnalare alcune criticità ricorrenti, come la qualità della visualizzazione e la stabilità dei sistemi che hanno effettivamente rappresentato degli ostacoli, specialmente nel secondo studio. Infatti, in più occasioni, gli studenti hanno riportato difficoltà legate ad immagini poco nitide, lentezza nel caricamento o interferenze visive.

Queste evidenze suggeriscono una riflessione più ampia che abbraccia tre livelli:

- *Tecnologico*. È necessario definire le condizioni minime per assicurare esperienze in AR stabili e qualitativamente adeguate (infrastruttura, dispositivi, connettività);
- *Metodologico*. La progettazione dell'apprendimento con l'uso dell'AR non può presupporre soltanto figure tecniche. Bisogna, infatti, avviare percorsi di formazione specifici e orientati per gli insegnanti – in formazione e in servizio -, per poter sviluppare competenze legate alla gestione delle risorse in AR correlate agli obiettivi educativi;
- *Formativo- culturale*. I dati analizzati confermano l'interesse degli studenti verso la realtà aumentata, ma anche la presenza di criticità legata alla mancanza di supporti tecnici e formativi. Per cui, è fondamentale coinvolgere attivamente gli studenti anche nella fase di progettazione delle esperienze, in modo da rafforzare le loro competenze digitali, al fine di renderli protagonisti consapevoli dell'innovazione didattica.

In sintesi, i due casi di studio analizzati fungono da prodromi per l'integrazione della tecnologia immersiva nel contesto universitario, permettendo di ripensare la didattica universitaria, in un'ottica innovativa, stimolando nuove forme di apprendimento orientate verso le sfide di una scuola sempre più digitale.

Partendo da queste considerazioni, nel capitolo successivo, verranno presentati alcuni casi di studio che ampliano il campo di ricerca, indagando gli atteggiamenti e le percezioni rispetto all'adozione dell'AR nella prassi didattica da parte degli insegnanti in formazione.

Riferimenti Bibliografici

Chiesa, M., Tomatis, C., & Romaniello, S. (2020). La Realtà Virtuale a scuola: le parole dei ragazzi. *DigitCult-Scientific Journal on Digital Cultures*, *5*(1), 77-95.

Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage publications.

Di Martino, V., & Leone, A. (2024). Apprendimento con Realtà Aumentata in Università: percezioni, sfide e opportunità. In *A cosa serve la ricerca educativa? Il dato e il suo valore sociale* (pp. 242-250). Pensa MultiMedia.

Heimerl, F., Lohmann, S., Lange, S., & Ertl, T. (2014, January). Word cloud explorer: Text analytics based on word clouds. In *2014 47th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 1833-1842). IEEE.

La Marca, A., & Leone, A. (2023). La didattica immersiva: la nuova frontiera della didattica. *NUOVA SECONDARIA*, *2*, 210-222.

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & education*, *147*, 103778.

Robillard, G., Bouchard, S., Fournier, T., & Renaud, P. (2003). Anxiety and presence during VR immersion: A comparative study of the reactions of phobic and non-phobic participants in therapeutic virtual environments derived from computer games. *CyberPsychology & Behavior*, *6*(5), 467-476.

Straniero, A. (2023). L'Universal design for learning come sfida didattica e organizzativa per un'università accessibile. *Italian Journal of Special Education For Inclusion,* 11(2), 056-064.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, *7*(3), 225-240.

Capitolo IV

Casi di studio sulle percezioni e sugli atteggiamenti degli insegnanti verso l'uso della Realtà aumentata

Introduzione

Affinché l'integrazione della realtà aumentata (*Augmented Reality*, AR) nei contesti educativi risulti efficace, è fondamentale riflettere sul ruolo fondamentale degli insegnanti. In particolare, l'atteggiamento e la predisposizione degli stessi nei confronti dell'AR sono aspetti indispensabili per lo sviluppo di buone pratiche formative per avviare una didattica immersiva di qualità (Marín-Marín, López-Belmonte et al., 2023).

Sebbene numerosi studi abbiano evidenziato l'impatto positivo dell'AR sull'apprendimento degli studenti, l'efficacia della sua applicazione in aula dipende in larga misura dalla disponibilità e dalla competenza degli insegnanti nel gestire tali strumenti in classe (Marín-Marín et al., 2023). Uno studio condotto da Lasica et al. (2020) sullo sviluppo professionale degli insegnanti all'uso della realtà aumentata evidenzia che, nonostante ci sia una diffusa consapevolezza circa i benefici dell'AR e, in generale, delle tecnologie innovative, molti insegnanti manifestano ancora perplessità rispetto alla loro integrazione nelle pratiche didattiche. Tali difficoltà sono spesso legate alla carenza di competenze pratiche o alla mancanza di conoscenze specifiche necessarie per un impegno efficace e consapevole di questi strumenti.

Alla luce di queste considerazioni, in questo capitolo verranno presentati tre casi di studio che prevedono l'adozione *dell'Augmented Reality Application Attitude Scale* (ARAAS), uno strumento validato da Küçük et al. (2014) e successivamente adattato da Hervás-Gómez et al. (2017), progettato per rilevare gli atteggiamenti degli insegnanti nei confronti dell'adozione dell'AR nelle pratiche educative. Attraverso questo strumento, sono state indagate la percezione degli insegnanti rispetto a tre dimensioni chiave dell'esperienza con l'AR nella prassi didattica, ovvero *Rilevanza, Soddisfazione e Affidabilità*.

Le tre indagini, pur rivolgendosi a campioni e contesti differenti, convergono nell'esplorazione del valore percepito dell'AR come risorsa per l'innovazione didattica.

Nello specifico, gli studi inclusi sono stati condotti durante l'anno accademico 2023/2024, presso l'Università degli Studi di Palermo, e hanno interessato due campioni di studenti del CdLM a Ciclo Unico in *Scienze della Formazione Primaria* (LM 85-bis), oltre ad un campione di corsisti iscritti all'VIII ciclo del *Tirocinio Formativo Attivo per il Sostegno*. L'approccio metodologico ha previsto l'impiego di visori Hololens Microsoft, che ha consentito di visualizzare e manipolare oggetti tridimensionali nello spazio fisico circostante. Tale configurazione

tecnologica ha reso possibile un'esperienza immersiva e altamente innovativa, grazie alla quale gli studenti hanno interagito dinamicamente con i contenuti aumentati, sperimentando forme di apprendimento attivo ed esperienziale. Le evidenze raccolte attraverso queste indagini hanno consentito di individuare i bisogni formativi del campione coinvolto, fornendo le basi per la definizione di un framework di formazione rivolto ai futuri insegnanti, orientato ad un uso consapevole ed efficace della realtà aumentata nella pratica didattica.

Di seguito, una panoramica degli studi inclusi:

- *Realtà aumentata per l'apprendimento: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti*. Lo studio ha coinvolto 170 studenti del primo anno, iscritti al CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo e frequentanti l'insegnamento di *Didattica Generale*. L'obiettivo è stato quello di esplorare le percezioni e gli atteggiamenti degli studenti, futuri insegnanti, in formazione iniziale, nei confronti della realtà aumentata[6];
- *Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEAM*[7]. L'esperienza ha coinvolto un campione di 244 studenti iscritti al primo anno, frequentanti l'insegnamento di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio* del CdL in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo. Lo studio esplora l'integrazione dell'AR nella formazione universitaria dei futuri insegnanti, con l'obiettivo di introdurre un approccio innovativo all'insegnamento della geometria.
- *Le Tecnologie Immersive come strumento di formazione: la Realtà Aumentata per didattica inclusiva*[8]. Lo studio ha coinvolto 563 corsisti iscritti all'VIII ciclo del corso TFA Sostegno, dell'Università degli Studi di Palermo. La finalità è stata quella di esplorare le

[6] Cfr. Leone, A. (2025). Realtà aumentata per l'apprendimento: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti. In A. Bartolini, F. Batini, M. De Santis, M. Milella, P. Malavasi, A. Morganti, A. Rosati, R. Salvato, A. Signorelli, & M. Sannipoli (a cura di), *La formazione iniziale e continua degli insegnanti: Relazioni, comunicazione, metodi. Atti della Junior Conference SIPED* (pp. 187–193). Pensa MultiMedia.

[7] Cfr. La Marca, A., Gulbay, E., & Leone, A. (2025). *Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEAM nel Corso di Laurea Magistrale in Scienze della Formazione Primaria*. In B. Di Paola & E. Spada (Eds.), *Quaderni di Ricerca in Didattica*, Special issue 15, 39–50. G.R.I.M., Dipartimento di Matematica e Informatica, Università degli Studi di Palermo.

[8] Cfr. Leone, A. (2024). Le tecnologie immersive come strumento di formazione: la realtà aumentata per la pratica didattica in università. In G. Benvenuto, E. Gülbay, A. La Marca, G. Moretti & A. Morini (a cura di), *La ricerca educativa e didattica nelle scuole di dottorato in Italia – 8/2024* (pp. 197–210). Pensa MultiMedia. ISBN 9791255683063. Cfr. Leone (2025). Realtà Aumentata e formazione inclusiva: percezioni dei futuri insegnanti di sostegno, Nuova Secondaria, [In press].

percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti di sostegno verso l'integrazione dell'AR come supporto alla didattica inclusiva.

4.1 Realtà aumentata per l'apprendimento: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti

Il primo caso di studio è stato condotto con un campione di 244 studenti iscritti al primo anno del Corso di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio* LM85bis in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo. Il campione è composto in prevalenza da donne (91,1%), con un'età media di 23,98 anni (SD =5,7). Lo studio, di tipo esplorativo, indaga le percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti circa l'impiego della realtà aumentata nella prassi didattica. L'obiettivo è quello di integrare in modo efficace la realtà aumentata nei contesti educativi, utilizzando le percezioni raccolte come guida per la progettazione e l'implementazione di futuri programmi di formazione, nonché per fornire agli insegnanti le competenze e le risorse necessarie per lo sviluppo di buone pratiche con l'ausilio della realtà aumentata. Inoltre, si intende approfondire l'analisi dei fattori che influenzano gli atteggiamenti degli insegnanti in formazione, al fine di orientare la progettazione di percorsi formativi mirati.

4.1.1 Descrizione dell'intervento

L'attività ha previsto una sperimentazione trasversale finalizzata all'esplorazione delle potenzialità didattiche offerte dalla realtà aumentata, attraverso l'impiego dei visori *Microsoft Hololens*. Gli studenti, in modalità laboratoriale, hanno interagito con contenuti tridimensionali immersi nello spazio reale, mediante manipolazione diretta e osservando i contenuti da diverse prospettive. I contenuti proposti non erano vincolati ad una singola area disciplinare, poiché l'intento è stato quello di stimolare una riflessione pedagogico-didattica profonda sull'uso dell'AR come strumento trasversale, in grado di favorire l'apprendimento attivo, esperienziale e significativo, nonché la collaborazione e il coinvolgimento cognitivo ed emotivo.

4.1.2 Strumenti di rilevazione dei dati

Per valutare le percezioni dei futuri insegnanti sono stati impiegati i seguenti strumenti:

• *Feedback Informale*. Durante e al termine dell'esperienza con l'AR, gli studenti sono stati incoraggiati a fornire feedback in forma libera e spontanea. Questo ha permesso loro di esprimere opinioni personali, evidenziare eventuali criticità riscontrate e proporre suggerimenti utili per il miglioramento dell'attività. Tale approccio ha restituito una panoramica immediata e autentica delle loro percezioni e opinioni sull'esperienza vissuta;

•*Gruppi di Discussione*. Sono state organizzate sessioni di gruppo strutturate per consentire agli studenti di discutere in modo più approfondito rispetto alla loro esperienza. Questo ha fornito una comprensione più ricca delle percezioni, consentendo agli studenti di condividere opinioni e punti di vista.

•*Osservazione diretta*. Durante l'attività è stata condotta un'osservazione sistematica del comportamento degli studenti, durante l'utilizzo dei visori. Per la rilevazione è stata utilizzata la *Griglia di Osservazione Sistematica per la Realtà Aumentata* (GOS-AR), appositamente strutturata per rilevare i comportamenti osservabili durante l'esperienza immersiva, in termini di coinvolgimento, interesse, partecipazione attiva e autonomia operativa.

•*Rilevazione degli atteggiamenti mediante somministrazione di un questionario*. Al termine dell'esperienza con la realtà aumentata, agli studenti è stato somministrato un questionario tramite l'applicativo Google Moduli. Lo strumento utilizzato è *l'Augmented Reality Application Attitude Scale* (ARAAS), nella versione adattata di Hervás-Gómez et al. (2017). Il questionario ARAAS è stato specificatamente progettato per rilevare l'atteggiamento degli insegnanti nei confronti dell'utilizzo della realtà aumentata nelle pratiche formative con l'AR (Marín-Marín, 2023).

4.1.3 Risultati qualitativi dell'esperienza

I dati qualitativi raccolti hanno permesso di cogliere in modo immediato e approfondito le percezioni degli studenti rispetto all'esperienza vissuta. Le evidenze emerse offrono una panoramica significativa del livello di coinvolgimento, dell'efficacia percepita e delle eventuali criticità affrontate.

Feedback informale

Durante e al termine dell'esperienza con i visori, sono stati raccolti i feedback spontanei da parte dei partecipanti, mediante la piattaforma *Wooclap*. L'analisi qualitativa delle risposte ha evidenziato che la maggior parte degli studenti (87%) ha espresso una percezione positiva rispetto all'attività sperimentata, apprezzandone il carattere innovativo e le potenzialità nello stimolare l'attenzione e la creatività. Inoltre, il 73% ha dichiarato che l'interazione con l'oggetto in 3D ha contribuito a rendere più chiari e comprensibili i concetti astratti, mentre il 68% ha segnalato un incremento della motivazione rispetto alle attività didattiche tradizionali. Solo il 12% degli studenti ha evidenziato alcune criticità, legate più che altro alla gestione dei visori e alla qualità visiva delle immagini tridimensionali, probabilmente dovute ad un iniziale momento transitorio, durante il quale alcuni studenti hanno riscontrato alcune difficoltà nel regolare il dispositivo indossabile.

Gruppi di discussione

Le sessioni di discussione in gruppo hanno permesso di approfondire ulteriormente le percezioni emerse, promuovendo un momento di confronto critico e offrendo una lettura più rappresentativa delle impressioni e delle aspettative degli studenti.

Dalle analisi tematiche, condotte sulle trascrizioni verbali provenienti dai gruppi, sono emerse tre macrocategorie ricorrenti:

- *Coinvolgimento e partecipazione attiva*. La quasi totalità degli studenti (85%) ha descritto l'esperienza come altamente coinvolgente, sottolineando quanto la didattica che si avvale dell'AR possa di fatto coinvolgere e rendere lo studente protagonista attivo del processo di apprendimento;
- *Apprendimento significativo*. Il 77 % degli studenti ha evidenziato che la visualizzazione tridimensionale dei contenuti teorici ha facilitato una comprensione più profonda e duratura dei concetti, rendendo l'esperienza più concreta ed esperienziale, utile alla costruzione personale del significato;
- *Riflessione didattica*. Una buona percentuale di studenti (65%) ha messo in luce le implicazioni didattiche che subentrano nell'implementazione dell'AR, confermandone le potenzialità a livello didattico. Tuttavia, è stata posta in risalto la necessità di una formazione specifica sull'uso pedagogico e consapevole della tecnologia.

Osservazione diretta

Durante la fase di sperimentazione dell'AR mediante visori, sono state condotte osservazioni sistematiche finalizzate a documentare il comportamento e il livello di partecipazione degli studenti. È stata utilizzata una *Griglia di osservazione sistematica per la realtà aumentata* (*GOS -AR)* (La Marca & Leone, 2024), appositamente strutturata per rilevare i comportamenti osservabili, in modo coerente e replicabile, garantendo una successiva triangolazione efficace con i dati qualitativi e quantitativi raccolti (Cohen et al., 2018) (Tabella 4.1).

Area di osservazione	Indicatore specifico	Descrittori osservabili	Scala di rilevazione (1–5)
Coinvolgimento e partecipazione	Attenzione e concentrazione	Mantiene lo sguardo sull'attività; segue le istruzioni; evita distrazioni	1 = molto bassa 5 = molto alta
	Interazione attiva	Manipola gli oggetti virtuali, esplora spontaneamente, fa domande o commenti pertinenti	1–5
	Collaborazione con i pari	Condivide l'esperienza con i colleghi, offre aiuto, comunica strategie	1–5
Competenza tecnica	Familiarizzazione con il dispositivo	Tempo e facilità di apprendimento dei comandi principali del visore	1–5
	Gestualità e coordinazione spaziale	Esegue movimenti precisi e coerenti con le richieste del software	1–5
Reazioni emotive e motivazionali	Curiosità e interesse	Mostra entusiasmo e voglia di sperimentare	1–5
	Frustrazione o ansia	Segni di difficoltà, disagio, o disinteresse (espressione facciale, rinuncia)	1–5 (invertita)
Dimensione cognitiva e riflessiva	Comprensione concettuale	Dimostra di comprendere la relazione tra oggetti virtuali e concetti didattici	1–5
	Capacità di autovalutazione	Verbalizza riflessioni sull'esperienza, riconosce errori o difficoltà	1–5

Tabella 4.1 – *Griglia di osservazione sistematica per la realtà aumentata (GOS -AR)*

Tra i risultati più significativi emersi dall'osservazione sistematica, si annovera che la quasi totalità dei partecipanti (82%) ha interagito attivamente con gli oggetti virtuali, mostrando curiosità, concentrazione rispetto al compito assegnato e collaborazione con i colleghi. Dal punto di vista tecnico, l'80% degli studenti ha, sin da subito, familiarizzato con gli strumenti, eseguendo i compiti in totale autonomia. Ciò denota una rapida capacità di adattamento e una competenza tecnologica sufficiente a gestire in modo efficace l'interfaccia immersiva.

Sono state evidenziate alcune difficoltà iniziali per una parte del campione (15%), che ha manifestato disagio ed esitazione e, in alcuni casi, anche disinteresse durante le prime fasi dell'attività. Questo atteggiamento, probabilmente, è dovuto, da un lato, ad una certa riluttanza verso l'impiego di tecnologie innovative da parte di alcuni studenti e, dall'altro, a limiti ergonomici legati all'uso dei visori. Infatti, è stato osservato che alcuni partecipanti indossavano occhiali da vista, cosa che ha comportato problemi di adattamento iniziale al dispositivo.

Anche la dimensione cognitiva e riflessiva ha fornito risultati rilevanti. Il 75% dei partecipanti ha dimostrato di comprendere in modo coerente le

relazioni tra gli oggetti virtuali proposti e i corrispondenti contenuti teorici. Ancora più significativo è che l'86% ha avviato una riflessione critica sull'esperienza, manifestando capacità di autovalutazione e consapevolezza metacognitiva.

Questi risultati suggeriscono che l'integrazione dell'AR ha supportato i processi di apprendimento in linea con i principi dell'apprendimento esperienziale (Kolb, 2014), in cui l'esperienza diretta è concepita come un'opportunità concreta per "imparare facendo".

Nel complesso, l'osservazione condotta tramite la griglia GOS-AR ha evidenziato alti livelli di coinvolgimento, partecipazione e consapevolezza cognitiva, confermando la valenza formativa e motivazionale dell'esperienza in AR come strumento efficace di apprendimento attivo.

4.1.4 Risultati Questionario ARAAS

L'Augmented Reality Application Attitude Scale (ARAAS) (Hervás-Gómez et al. et al., 2017) è composto da 23 item, strutturati su una scala Likert a 5 punti (dove 1 corrisponde a "fortemente in disaccordo" e 5 a "fortemente d'accordo"). Le dimensioni indagate, correlate all'esperienza vissuta, sono: *Rilevanza* (9 item), che misura il grado in cui gli insegnanti percepiscono che l'utilizzo dell'AR sia pertinente e significativo per migliorare le pratiche formative; *Soddisfazione* (9 item), che valuta il livello di soddisfazione degli insegnanti riguardo all'utilizzo dell'AR durante le loro attività formative; *Affidabilità* (5 item), che si riferisce alla fiducia degli insegnanti nell'AR come strumento affidabile e valido per supportare il processo educativo.

È stata integrata, inoltre, una sezione iniziale di raccolta dati anagrafici e contestuali, comprendente variabili quali genere, età, familiarità pregressa con la realtà aumentata, esperienze precedenti di utilizzo di applicazioni AR in ambito educativo e grado di interesse iniziale verso l'impiego di tale tecnologia nei contesti educativi.

L'analisi quantitativa dei dati è stata condotta utilizzando il software Jamovi (2.3), mediante statistiche descrittive. I valori medi registrati degli atteggiamenti dei futuri insegnanti in formazione iniziale nei confronti dell'AR e rispetto alle dimensioni indagate dall'ARAAS, sono illustrati nella Tab. 4.2.

Dall'analisi dei dati, emerge complessivamente una percezione moderatamente positiva nei confronti dell'utilizzo dell'AR. Sebbene la dimensione della *Rilevanza* abbia ottenuto un punteggio medio moderato (M=2,30), sia la *Soddisfazione* (M=3,68) che *l'Affidabilità* (M=3,65) mostrano valori più elevati.

FATTORI	ITEM	MEDIA
Rilevanza (2.30)	Vorrei utilizzare le applicazioni AR in altri argomenti e moduli	3.18
Soddisfazione (3.68)	Dimostrazione di oggetti 3D, video e animazioni con applicazioni AR, aumentano la mia curiosità	4.45
	Frequento con entusiasmo una lezione in cui vengono utilizzate le applicazioni in AR	4.42
	Mi piacciono le lezioni in cui vengono utilizzate le applicazioni in AR	4.35
Affidabilità (3.65)	Lavorare con l'AR mi permette di condividere le mie idee, risposte e punti di vista con il mio insegnante e i miei compagni di classe	3.79
	Questa attività con AR mi fa sviluppare altre capacità cognitive (analisi, sintesi e pensiero critico)	3.94

Tabella 4.2 – Sintesi dei risultati più significativi relativi dimensioni dell'ARAAS

Più nel dettaglio, la dimensione che ha ottenuto un valore medio più alto è stata *Soddisfazione* (M=3,68). Tuttavia, al suo interno nessun item ha raggiunto il valore massimo di 5. Gli item che hanno raggiunto valori più alti sono: "*Dimostrazione di oggetti 3D, video e animazioni con le applicazioni AR aumentano la mia curiosità*" (M=4,45); "*Frequento con entusiasmo una lezione in cui vengono utilizzate le applicazioni in AR"* (M=4,42); "*Mi piacciono le lezioni in cui vengono utilizzate le applicazioni AR"* (M=4,35). I valori registrati per questi item, mostrano una forte inclinazione degli studenti verso l'utilizzo di AR, nonché un coinvolgimento durante la fruizione.

Anche la dimensione *Affidabilità* ha ottenuto un punteggio moderatamente positivo (M=3,65). Anche in questo caso, nessun item ha raggiunto il valore massimo. Tuttavia, gli item con valori più alti sono i seguenti: "*Lavorare con l'AR mi permette di condividere le mie idee, risposte e punti di vista con il mio insegnante e i miei compagni di classe"* (M03,79) e "*Questa attività con AR mi fa sviluppare altre capacità cognitive (analisi, sintesi, pensiero critico)"* (M=3,94). I risultati rilevano come gli studenti mostrino affidabilità nei confronti dell'utilizzo dell'AR e del suo potenziale per sviluppare capacità cognitive complesse e per promuovere un apprendimento significativo e collaborativo.

La dimensione che ha ottenuto un punteggio medio più basso è stata *Rilevanza* (M=2,30). L'item che ha raggiunto un punteggio più alto (M=3,18) al suo interno è "*Vorrei utilizzare le applicazioni AR in altri argomenti e moduli*" (M=3,18). Questi valori suggeriscono che gli studenti potrebbero percepire l'utilizzo della realtà aumentata come meno significativo rispetto alle altre dimensioni indagate. Tuttavia, i valori degli

item in analisi, indicano un interesse potenziale nell'applicare la tecnologia in contesti più ampi. Questo suggerisce che, nonostante la percezione complessivamente moderata, vi sia comunque un potenziale interesse ad esplorare i vari utilizzi dell'AR.

4.2 Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEM

Questa indagine esplorativa è stata condotta con un campione di 244 studenti iscritti al primo anno frequentanti l'insegnamento di *Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio*, LM85bis in Scienze della Formazione Primaria, presso l'Università degli Studi di Palermo.

Lo studio si propone di esplorare l'integrazione della realtà aumentata nella formazione universitaria dei futuri insegnanti, con l'obiettivo di introdurre un approccio innovativo all'insegnamento delle materie STEM e, in particolare, della geometria.

Attraverso un intervento formativo, che ha previsto l'utilizzo dei visori *Hololens Microsoft*, sono state sperimentate in classe le potenzialità dell'AR per fornire ai futuri insegnanti competenze tecnologiche e didattiche per progettare lezioni efficaci, analizzando al contempo le loro percezioni riguardo ai benefici dell'AR nell'insegnamento, identificando le sfide e i limiti correlati alla sua implementazione.

I risultati dell'intervento intendono guidare la progettazione di percorsi formativi mirati, atti ad integrare efficacemente l'AR nel curriculum scolastico, con particolare attenzione all'insegnamento della geometria nella scuola primaria. In questo modo si intende valorizzare le potenzialità dell'AR per superare le difficoltà concettuali della disciplina, rendendo l'apprendimento più coinvolgente, interattivo e personalizzato.

Il campione coinvolto, composto in prevalenza da studenti di sesso femminile (95,1%), presenta un'età media di 20,3 anni e una deviazione standard di 3.40.

Gli studenti sono stati suddivisi in piccoli gruppi di lavoro, al fine di promuovere la partecipazione attiva e la collaborazione e di stimolare momenti di riflessione critica tra i membri del gruppo. Le sessioni sono state alternate da momenti teorici e da sessioni pratiche con l'ausilio di visori. Questo approccio ha permesso di integrare conoscenze teoriche con competenze operative, in modo da rafforzare la consapevolezza del potenziale educativo della realtà aumentata.

La geometria è una disciplina matematica che studia le proprietà, le relazioni e le trasformazioni delle figure nello spazio, includendo i concetti di punto, piano, angoli, superfici e solidi (Kaufmann, 2004). Questa disciplina è fondamentale nel favorire lo sviluppo cognitivo degli alunni, poiché contribuisce al potenziamento delle capacità di problem solving e trova applicazione in diversi ambiti della vita quotidiana. Nonostante la sua

importanza, l'apprendimento della geometria presenta notevoli difficoltà sia per gli alunni della scuola primaria che secondaria. Gli alunni della scuola primaria, infatti, incontrano ostacoli significativi nella comprensione dei concetti fondamentali, nel ragionamento geometrico e nella risoluzione dei problemi. Queste difficoltà nascono principalmente dal carattere astratto della disciplina, la quale richiede abilità di visualizzazione spaziale, soprattutto nella comprensione di forme solide tridimensionali (Nadzeri et al., 2024; Hartini, 2020; Merchant et al., 2013; Rossano et al., 2020).

L'apprendimento della geometria solida è spesso ostacolato dalla natura astratta dei concetti geometrici tridimensionali, che richiedono capacità avanzate di visualizzazione spaziale e di manipolazione mentale delle forme (Kaufmann, 2006). Le ricerche precedenti hanno evidenziato come gli studenti spesso incontrano difficoltà significative nella comprensione delle proprietà dei solidi, nella loro trasformazione dal piano 2D al 3D e nel riconoscimento delle loro caratteristiche da differenti prospettive (Abdul Hanid et al., 2022).

I vantaggi dell'impiego dell'AR non riguardano soltanto gli studenti, ma coinvolgono anche gli insegnanti. La realtà aumentata, infatti, offre loro strumenti innovativi per migliorare l'efficacia didattica. Come sottolineato da Sunzuma (2023), l'integrazione della realtà aumentata supporta l'organizzazione del lavoro degli insegnanti, consentendo loro di progettare lezioni interattive e coinvolgenti. Grazie alla possibilità di creare materiali didattici innovativi e personalizzabili, gli insegnanti possono adattare i contenuti ai diversi stili di apprendimento degli studenti. Inoltre, l'AR offre un valido supporto nei processi valutativi, consentendo di monitorare i progressi degli studenti in tempo reale e di restituire feedback immediati sulle loro prestazioni.

Tuttavia, l'efficacia dell'AR nell'insegnamento della geometria dipende in gran parte dalla preparazione degli insegnanti. È essenziale, dunque, fornire loro una formazione specifica, che non si limiti alle competenze tecniche necessarie, ma fornisca anche una solida cornice pedagogica per poter integrare efficacemente l'AR nella prassi didattica (Sáez-López et al., 2020).

4.2.1 Descrizione dell'intervento

L'attività è stata progettata secondo un approccio esperienziale, con l'obiettivo di promuovere un apprendimento attivo, collaborativo e significativo e per dimostrare come l'AR possa favorire la comprensione concettuale e la visualizzazione tridimensionale dei solidi geometrici.

Gli studenti, suddivisi in piccoli gruppi, hanno sperimentato un'applicazione di modellizzazione tridimensionale integrata con i visori Hololens, che ha permesso loro di costruire, manipolare e osservare i solidi geometrici in un ambiente aumentato.

L'esperienza è stata articolata in tre fasi principali:

- *Costruzione di solidi geometrici*. Gli studenti hanno realizzato modelli tridimensionali di solidi geometrici (es. cubo, parallelepipedo, prisma e piramide), che sono stati visualizzati in 3D attraverso i visori;
- *Manipolazione, trasformazioni isometriche e omotetiche*. Attraverso l'interazione diretta con le figure, mediante il visore e il movimento delle mani, gli studenti hanno applicato trasformazioni geometriche, quali traslazioni e rotazioni, modificando le dimensioni, la forma e l'orientamento dei solidi;
- *Esplorazione delle proprietà geometriche*. L'interazione diretta ha permesso agli studenti di analizzare le caratteristiche delle figure, identificando elementi come vertici, spigoli, facce e angoli diedri. Hanno, inoltre, avuto la possibilità di osservare le figure da diverse prospettive, approfondendo la comprensione visiva delle loro caratteristiche.

L'attività mirava a sviluppare la percezione e la rappresentazione spaziale, potenziare la visualizzazione tridimensionale, promuovere la capacità di manipolare e trasformare solidi geometrici e consolidare le competenze metacognitive attraverso la riflessione sull'esperienza.

4.2.2 Strumento di rilevazione

Dopo aver sperimentato la realtà aumentata, agli studenti è stato somministrato un questionario mediante l'applicativo Google Moduli. Più nel dettaglio, lo strumento somministrato è *l'Augmented Reality Application Attitude Scale (ARAAS)* (Hervás-Gómez et al. 2017). Il questionario è stato ampliato con due sezioni aggiuntive. La sezione iniziale per rilevare i dati di contesto (genere, età, esperienze pregresse con AR, uso dell'AR per lo studio delle materie STEAM). La sezione finale, invece, per indagare le percezioni degli studenti riguardo le potenzialità educative dell'AR, con particolare attenzione alla sua utilità didattica e all'efficacia di un apprendimento esperienziale con AR, comprendente domande aperte e chiuse. Questa integrazione ha permesso di ottenere un quadro più completo sia delle esperienze pregresse che delle percezioni degli studenti rispetto all'adozione dell'AR.

4.2.3 Risultati

Sebbene il 70,4% del campione abbia dichiarato di non aver mai avuto esperienze precedenti di utilizzo della realtà aumentata o di tecnologie immersive nelle attività di apprendimento, il 98,77% ritiene che l'utilizzo dell'AR possa influenzare positivamente, in termini di coinvolgimento, interesse e motivazione lo studio delle materie STEM.

L'analisi dei dati raccolti mediante *l'Augmented Reality Application Attitude Scale* (Hervás-Gómez et al., 2017), ha evidenziato impressioni moderatamente positive da parte degli studenti rispetto all'utilizzo della realtà aumentata nella prassi didattica.

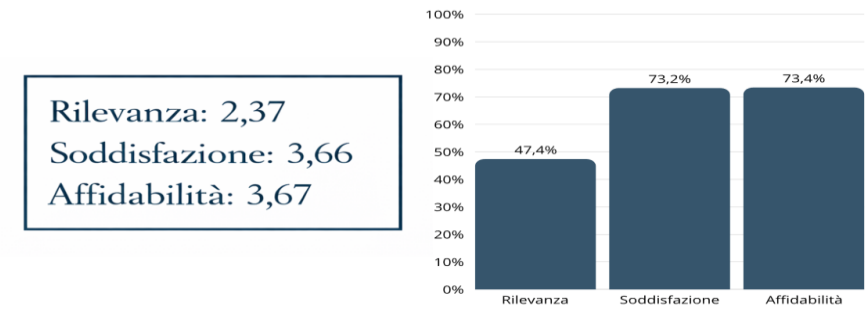


Figura 4.1 - Risultati dimensioni ARAAS (punteggi medi)

Come si evince dalla Figura 4.1, i punteggi medi relativi alle tre dimensioni, indicano una percezione moderatamente positiva sia per la *Soddisfazione*, che ha ottenuto un punteggio medio di 3,66, segnalando un generale apprezzamento per l'esperienza esperita, che per *l'Affidabilità* (M=3,67), ponendo in evidenza una percezione moderatamente positiva circa la sicurezza e l'efficacia dell'AR come strumento educativo. Al contrario, la dimensione *Rilevanza* ha ottenuto un punteggio più basso (M=2.37) suggerendo che gli studenti percepiscono l'AR come uno strumento complesso e poco significativo per il processo di apprendimento. Questa discrepanza tra le dimensioni mette in luce un'importante implicazione didattica, legata al fatto che, sebbene l'AR sia apprezzata e considerata come una tecnologia affidabile, risulta ancora poco chiara la sua effettiva utilità didattica, probabilmente a causa di una scarsa familiarità con le sue potenzialità metodologiche. Pertanto, bisogna fornire più esperienze che permettano agli studenti di prendere familiarità con la tecnologia immersiva, in modo da comprenderne appieno i benefici.

Rispetto alla domanda aperta, inclusa nella sezione finale, *"In che modo ritieni che l'utilizzo della realtà aumentata possa migliorare l'apprendimento e la comprensione della geometria?"*, le risposte degli studenti sono state analizzate attraverso un processo di codifica tematica, mediante il software MAXQDA. L'analisi ha permesso di individuare e raggruppare i contenuti ricorrenti in sette macrocategorie che riflettono i principali temi emersi (Figura 4.2).

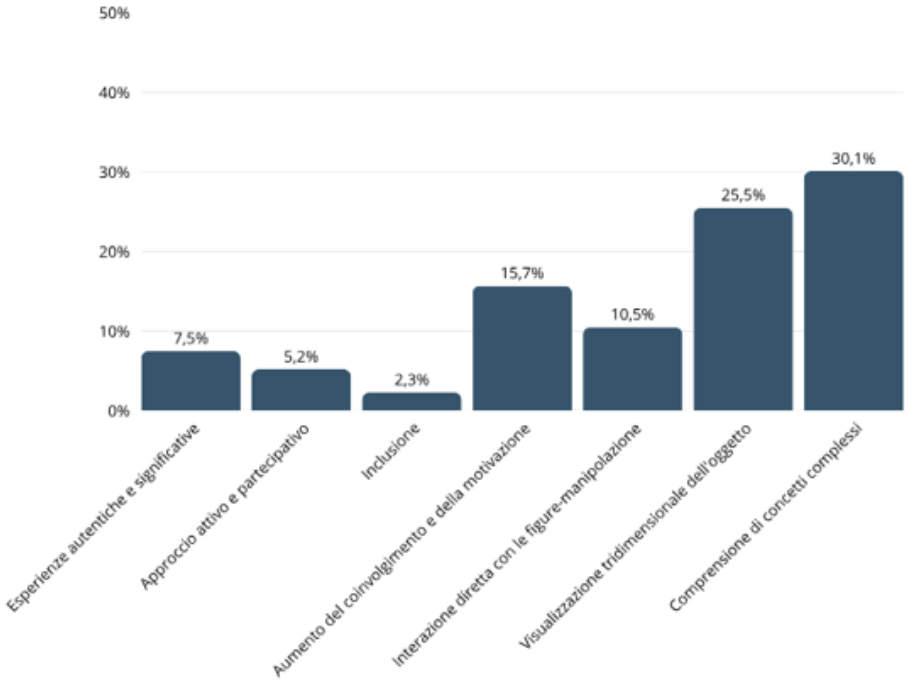


Figura 4.2 - Realtà aumentata e Geometria (valori percentuali [9])

Gli studenti hanno evidenziato come la realtà aumentata rappresenti un valido supporto per l'apprendimento di concetti geometrici complessi (30,1%), grazie alla possibilità di sfruttare le rappresentazioni tridimensionali e le interazioni dirette che semplificano la comprensione. Un aspetto correlato a questa categoria è la capacità dell'AR di rendere visibili gli oggetti di studio in maniera tridimensionale (25,5%). Gli studenti riconoscono, altresì, che l'AR favorisce il coinvolgimento e la motivazione (15,7%) nei confronti di una disciplina come la geometria, spesso percepita come astratta e difficile concettualizzazione. Un'altra caratteristica significativa riguarda l'opportunità di interagire direttamente con le figure geometriche mediante la manipolazione (10,5%), che consente di osservare le forme da diverse prospettive ed esplorarne le proprietà in modo pratico, favorendo una comprensione più concreta. Inoltre, l'AR permette di vivere esperienze autentiche e significative (7,5%), trasformando l'apprendimento teorico in un'attività immersiva e tangibile. Gli studenti sottolineano, inoltre, come questa tecnologia li renda protagonisti attivi del processo di apprendimento (5,2%), promuovendo una partecipazione consapevole e superando l'approccio passivo delle metodologie tradizionali. Sebbene con una percentuale minore, emerge il valore dell'AR nell'ambito dell'inclusione (2,3%). Questo strumento si dimostra capace di adattarsi a diversi stili e ritmi di apprendimento, offrendo supporto anche a chi incontra difficoltà nel comprendere i concetti geometrici attraverso metodi convenzionali (Cfr. Gulbay et al., 2024).

[9] Per le risposte a questa domanda, il totale non ammonta a cento poiché per ogni risposta è stato possibile rintracciare più di un nucleo concettuale

Nella sezione finale del questionario, è stato chiesto agli studenti di fornire suggerimenti per migliorare l'integrazione dell'AR nel processo di insegnamento-apprendimento della geometria. Le risposte sono state analizzate e codificate dal punto di vista tematico e raggruppate in sei macrocategorie (Figura 4.3).

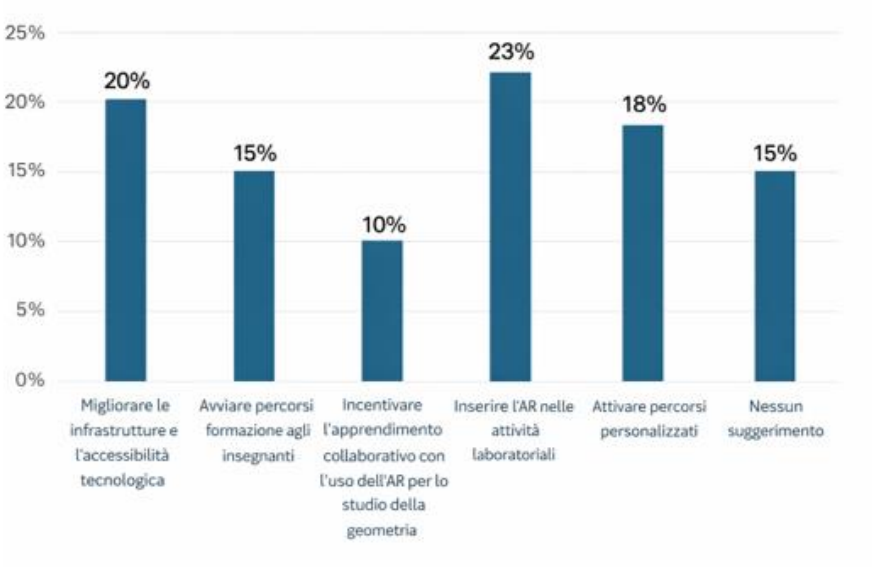


Figura 4.3 - Suggerimenti per l'integrazione efficace dell'AR [10]

Il 20% dei partecipanti ha evidenziato la necessità di migliorare l'accessibilità tecnologica delle scuole attraverso strumenti adeguati, come visori e tablet e software o app specifiche per l'insegnamento della geometria con AR, evidenziando anche la possibilità di integrare l'AR nei programmi didattici anziché relegarla ad interventi occasionali. La formazione degli insegnanti emerge come un aspetto cruciale per incentivare e rendere efficace l'adozione della realtà aumentata, in modo da acquisire le competenze per poterne sfruttare appieno le potenzialità. Viene suggerito, inoltre, di usare l'AR per incoraggiare il lavoro di gruppo, l'interazione sociale e l'immersione in contesti realistici (10%). Il 23% menziona la realtà aumentata per supportare attività laboratoriali ed esercitazioni mirate, così da permettere agli studenti di risolvere problemi geometrici o per esplorare forme tridimensionali; infine, il 18% ne valuta l'adozione per avviare percorsi personalizzati che si adeguano alle varie esigenze degli studenti.

Sono stati inclusi, inoltre, due item progettati per indagare la percezione dell'efficacia pedagogico-didattica della realtà aumentata in contesti di apprendimento immersivo. Tali item mirano a rilevare, rispettivamente,

[10] Per le risposte a questa domanda, il totale non ammonta a cento poiché per ogni risposta è stato possibile rintracciare più di un nucleo concettuale.

l'utilità percepita nel migliorare l'insegnamento della geometria rispetto ai metodi tradizionali e l'impatto dell'apprendimento esperienziale nella comprensione delle proprietà geometriche. La scelta di indagare queste dimensioni è legata al fatto che la realtà aumentata favorisce un apprendimento significativo grazie alla combinazione di interattività e visualizzazioni tridimensionali, che potenziano l'engagement degli studenti e il ragionamento spaziale (Bulut & Borromeo Ferri, 2023). È stata adottata una scala Likert a 5 punti, da 1 ("per niente utile") a 5 ("estremamente utile") (Tabella 4.3).

Item	Media	DS
In che misura ritieni che l'utilizzo della realtà aumentata possa migliorare l'insegnamento della geometria rispetto ai metodi tradizionali?	**4.24**	**0.75**
Quanto pensi che l'esplorazione e la manipolazione di forme geometriche in 3D con la realtà aumentata abbia migliorato la tua comprensione delle proprietà geometriche (es. angoli, lati, prospettive)?	**4.31**	**0.78**

Tabella 4.3 - Percezioni sull'efficacia dell'intervento

Come si evince dalla tabella 4.3, i risultati evidenziano percezioni prevalentemente positive in seguito alla sperimentazione dell'attività per la visualizzazione tridimensionale delle forme geometriche con realtà aumentata.

Nel dettaglio, il primo item che indaga in che misura l'AR possa migliorare l'insegnamento della geometria rispetto ai metodi tradizionali sinora esperiti, ha registrato una media di 4.24. Questo risultato indica una forte percezione dell'AR come strumento pedagogico innovativo, che supera i limiti dell'insegnamento tradizionale, come la difficoltà di rappresentare concetti astratti e tridimensionali attraverso strumenti bidimensionali.

Il secondo item, che misura l'impatto dell'AR nel miglioramento della comprensione dei concetti geometrici grazie alla possibilità di esplorazione e manipolazione diretta, ha ottenuto una media di 4.31. Questo dato sottolinea l'efficacia percepita di un approccio di tipo esperienziale e immersivo nel favorire la comprensione delle proprietà geometriche, come angoli e prospettive.

I risultati riflettono una chiara tendenza nel percepire la realtà aumentata non solo come un supporto innovativo, ma anche come un elemento che trasforma l'apprendimento da un'esperienza prevalentemente teorica ad un'esperienza pratica e significativa. Questo aspetto è in linea con le teorie dell'apprendimento esperienziale di Kolb, che evidenziano l'importanza della manipolazione diretta e dell'interazione attiva con gli oggetti di studio per costruire conoscenze durature (Nadzeri et al., 2024).

4.3 Le Tecnologie Immersive come strumento di formazione: la Realtà` Aumentata per la didattica inclusiva

Questo studio esplorativo ha coinvolto 563 corsisti iscritti all'VIII ciclo del Corso di Specializzazione per le Attività di Sostegno, attivato presso l'Università degli Studi di Palermo (a.a. 2023/24). L'obiettivo è stato quello di esplorare le percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti di sostegno nei confronti dell'integrazione della realtà aumentata come strumento di supporto alla didattica inclusiva, al fine di comprendere in che modo tale tecnologia possa favorire pratiche educative più accessibili, partecipative e personalizzate.

A differenza dei casi di studio precedenti, il presente studio si caratterizza per una composizione più eterogenea del campione, comprendente insegnanti di sostegno in formazione, molti dei quali già attivi nel contesto scolastico.

Nel dettaglio, il campione è composto in netta prevalenza da donne (81%). L'età media dei partecipanti è di 37,8 anni, con una deviazione standard di 8,27. Per quanto riguarda il titolo di studio, il 92,7% dei corsisti ha conseguito una laurea magistrale, il 2,3% una laurea triennale, il 3% possiede un diploma, e solo l'1,8% possiede un dottorato di ricerca. Inoltre, il 63% dei corsisti ha già maturato esperienza come insegnante o formatore in contesti scolastici. Questo ha consentito di ampliare la prospettiva di analisi, offrendo un punto di vista più consapevole e riflessivo sull'uso dell'AR come strumento di supporto alla didattica inclusiva.

4.3.1 Descrizione dell'intervento

L'attività è stata progettata in un'ottica didattica inclusiva, con l'obiettivo di esplorare il potenziale dell'AR come strumento per supportare percorsi educativi accessibili e personalizzati.

I partecipanti sono stati suddivisi in gruppi eterogenei per favorire la condivisione delle esperienze professionali e stimolare il confronto su buone pratiche inclusive. L'intervento ha previsto l'impiego di visori *Hololens Microsoft* e di un'applicazione mobile, *ARloopa*.

L'attività è stata articolata in due fasi principali:

- *Fase 1 - Esplorazione immersiva e adattamento didattico*. I corsisti hanno esplorato una selezione di contenuti AR sia tramite applicazione che visori (oggetti 3D, ambienti aumentati, simulazioni interattive), avviando delle riflessioni su come questi strumenti possano supportare alunni con BES e disabilità cognitive o sensoriali;
- *Fase 2 – Progettazione collaborativa*. Ogni gruppo ha discusso rispetto ad una possibile micro-progettazione didattica, incentrata

sull'impiego dell'AR per l'apprendimento inclusivo, tenendo conto dei principi della progettazione universale per l'apprendimento (*Universal Design for Learning*, UDL). In particolare, sono state simulate strategie di utilizzo dell'AR per favorire la comprensione concettuale, la motivazione e la partecipazione attiva di alunni con bisogni educativi differenti.

Questa esperienza ha mostrato come l'integrazione della tecnologia immersiva nella formazione degli insegnanti di sostegno richieda non solo la padronanza degli strumenti, ma anche una riflessione pedagogica e didattica strutturata, in grado di valorizzare la tecnologia come mezzo per abbattere le barriere dell'apprendimento e per costruire contesti didattici più equi, flessibili e motivanti.

4.3.2 Strumenti di rilevazione dei dati

Al fine di garantire una maggiore robustezza metodologica e la significatività dei dati raccolti, è stata adottata una metodologia mista, con l'integrazione di strumenti quantitativi e qualitativi, tra di loro complementari e coerenti, in modo da esplorare in profondità le conoscenze pregresse, le percezioni, gli atteggiamenti dei corsisti e le eventuali criticità riscontrate in relazione all'impiego della realtà aumentata.

Nello specifico, gli strumenti utilizzati per la raccolta dei dati sono stati i seguenti:

- *Questionario sulla conoscenza della realtà aumentata*. È stato appositamente elaborato uno strumento per rilevare il grado di conoscenza pregressa dell'AR, composto da 10 item, che indagano aspetti di natura cognitiva, esperienziale e motivazionale;
- *Questionario Realtà Aumentata e didattica (Q-RAD)*. Lo strumento, appositamente strutturato, è composto da 17 item, con l'obiettivo di rilevare eventuali cambiamenti nelle percezioni dei corsisti rispetto ai vantaggi e benefici didattici dell'AR. Due sono le dimensioni di cui si compone. La prima indaga i vantaggi percepiti per gli studenti (Item 1-10); la seconda rileva l'approccio pedagogico adottato nell'impiego della realtà aumentata (item 11-17);
- *Augmented Reality Application Attitude Scale – ARAAS-* (Hervás-Gómez et al., 2017). Lo strumento, descritto nei paragrafi precedenti, ha rappresentato uno degli strumenti principali di rilevazione per le dimensioni attitudinali legate all'uso dell'AR nei contesti educativi inclusivi;
- *Questionario Insegnanti e Realtà Aumentata (Q-IRA)*, strutturato appositamente per il presente studio. È finalizzato ad esplorare le implicazioni didattiche e progettuali legate al ruolo attivo e consapevole degli insegnanti in relazione all'impiego dell'AR. In particolare, analizza il ruolo dell'insegnante nel rapporto con l'AR, le percezioni rispetto alle potenzialità formative dell'AR e al suo

impatto sull'apprendimento e le barriere e gli ostacoli percepiti che possono rallentarne o limitarne l'adozione. È composto da 5 item, sia a risposta aperta che a risposta multipla.

I questionari sono stati somministrati online, mediante l'applicativo Google Moduli.

4.3.3 Risultati

In questa sezione sono presentati i risultati ottenuti dall'analisi dei dati raccolti attraverso i quattro strumenti descritti nel paragrafo precedente. I risultati sono riportati in relazione a ciascun questionario, al fine di garantire chiarezza e coerenza interpretativa.

L'analisi dei dati quantitativi è stata condotta mediante il software statistico Jamovi (2.3), mediante l'elaborazione di statistiche descrittive e inferenziali. Parallelamente, le risposte aperte sono state analizzate attraverso analisi tematica (Braun & Clarke, 2006), con il supporto del software MAXQDA. Il processo ha previsto una prima lettura esplorativa delle risposte, seguita da una fase di codifica, attraverso la quale sono state individuate e successivamente raggruppate in categorie le unità di significato ricorrenti. Le categorie tematiche sono state accompagnate dalle frequenze di occorrenza, al fine di rafforzare la validità interpretativa dei risultati.

a) Questionario sulla conoscenza della realtà aumentata

Il primo strumento somministrato al campione è stato un questionario esplorativo finalizzato a rilevare il livello di familiarità pregressa con l'AR. Il questionario, costituito da 10 item, è stato progettato per indagare sia la conoscenza del concetto, le esperienze pregresse di utilizzo dell'AR e l'interesse percepito verso l'uso dell'AR in ambito educativo.

L'analisi dei dati ha evidenziato una conoscenza pregressa parziale, ma non trascurabile. Il 69,2% dei corsisti afferma di aver sentito parlare di realtà aumentata, mentre solo il 17.3% ha avuto esperienze dirette di utilizzo o sperimentazione di applicazioni AR. Ancora più contenuto risulta l'impiego di tali strumenti per finalità didattiche: appena il 3,2% ha riferito di aver utilizzato applicazioni AR in contesti didattici, a fronte di un 96,8% che non ha mai sperimentato tale impiego.

Questi risultati mettono in chiara evidenza la differenza significativa che intercorre tra la conoscenza teorica del concetto e l'effettivo utilizzo pratico della tecnologia per scopi didattici.

Un'evidenza significativa emerge dall'item 5, in cui è stato chiesto di valutare l'interesse personale verso l'uso dell'AR a fini didattici, su una scala da 1 a 5 (1= minimo interesse, 5= massimo interesse).

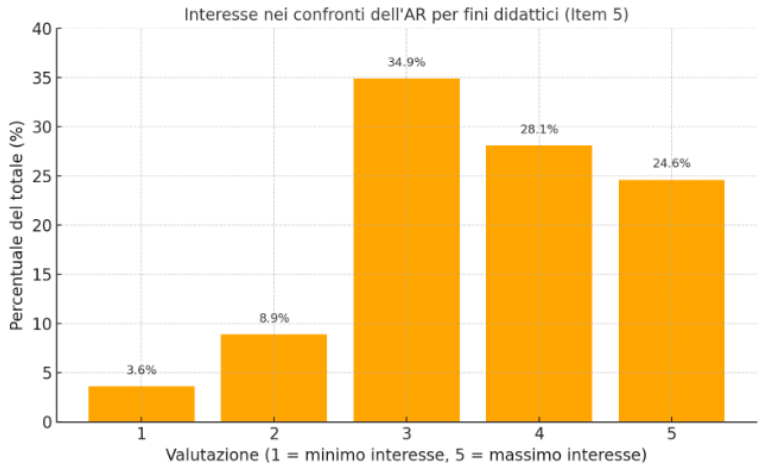


Figura 4.4 -In che misura valuteresti il tuo interesse nei confronti della Realtà Aumentata per scopi didattici?

Come si può notare dalla Fig. 4.4, la distribuzione delle risposte mostra un elevato interesse; la maggior parte dei corsisti, infatti, si è collocata nelle fasce medio-alte della scala (28,1% ha scelto il valore 4; 24,6% il valore 5), a fronte di una quota marginale di disinteresse (solo l'8,9% ha indicato 2 e il 3,6% il valore minimo di 1). Una quota significativa del campione si colloca, invece, sul valore intermedio 3 (34.9%). Questo dato, probabilmente, può essere interpretato come indicativo di un atteggiamento inizialmente incerto o neutro, verosimilmente riconducibile, in fase iniziale, alle poche conoscenze teoriche utili per poter formulare un'opinione chiara e strutturata sul potenziale didattico dell'AR.

In generale, si nota un atteggiamento aperto e positivo nei confronti dell'adozione dell'AR nella pratica didattica.

b) Questionario Realtà Aumentata e didattica (Q-RAD)

È stato somministrato uno strumento creato appositamente a partire dalla letteratura di riferimento, ovvero il *Questionario Realtà Aumentata e Didattica (Q-RAD)* (La Marca & Leone, 2023), finalizzato ad indagare le percezioni dei corsisti rispetto ai potenziali benefici avvertiti per l'apprendimento degli studenti e all'approccio pedagogico sottostante l'uso di tecnologie immersive nella prassi didattica.

Il questionario consta di 17 item, strutturati su scala Likert a 5 punti (1= per niente d'accordo, 5=Fortemente d'accordo), in modo da rilevare il grado di accordo o disaccordo rispetto ad una serie di affermazioni riguardanti l'utilizzo della realtà aumentata. Lo strumento è stato somministrato in modalità pre e post intervento formativo, in modo da confrontare e analizzare le eventuali variazioni significative nelle percezioni dei corsisti, in seguito all'esperienza formativa.

Due sono le dimensioni concettuali di cui si compone (Tabella 4.4):

- La prima dimensione (item 1-10) indaga i vantaggi che l'AR apporta ai processi di apprendimento degli studenti, esplorando aspetti che riguardano la motivazione, la comprensione di concetti, la collaborazione, l'apprendimento significativo ed esperienziale.
- La seconda dimensione (item 11-17) è focalizzata sull'approccio pedagogico che sottende l'utilizzo della realtà aumentata (Akçayır & Akçayır, 2017). In particolare, viene affrontato l'impatto dell'AR sull'autodeterminazione nello studio, sui processi inclusivi e sulla personalizzazione dei percorsi di apprendimento.

Item n.	Item	Dimensione
1	Secondo la tua opinione, quanto è efficace l'utilizzo della realtà aumentata nel migliorare l'esperienza di apprendimento, al fine di promuovere il coinvolgimento e l'interattività?	1
2	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa favorire un apprendimento significativo tale da consentire agli studenti di applicare ciò che apprendono in contesti diversi, anche al di fuori dell'ambiente scolastico?	1
3	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire l'apprendimento cooperativo, il lavoro di squadra, la comunicazione e le capacità di risoluzione dei problemi tra gli studenti?	1
4	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa favorire l'apprendimento esplorativo, così da consentire agli studenti di sperimentare idee, prendere decisioni e risolvere problemi in un ambiente sicuro e con l'utilizzo di diverse prospettive?	1
5	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata consenta agli studenti di manipolare oggetti e acquisire esperienza pratica in settori che richiedono abilità pratiche?	1
6	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa aiutare gli studenti a comprendere concetti complessi o astratti attraverso l'utilizzo di rappresentazioni visive interattive?	1
7	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa aumentare la motivazione nello studio, la partecipazione, l'interesse e la creatività degli studenti?	1
8	Sei d'accordo sul fatto che l'utilizzo della realtà aumentata all'interno di una sessione pratica abbia un impatto positivo sull'aumento dell'autoefficacia accademica dello studente?	1
9	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata sia in grado di creare ambienti divertenti per consentire agli studenti di mettere in pratica ciò che stanno imparando?	1
10	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata, grazie alla combinazione dell'esperienza tattile, visiva e spaziale, possa favorire lo sviluppo di abilità spaziali e psicomotorie?	1
11	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire la capacità di risoluzione dei problemi, favorendo il ragionamento critico?	2
12	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire una migliore memorizzazione dei contenuti di apprendimento rispetto alle modalità didattiche tradizionali?	2
13	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire la motivazione intrinseca (cioè, la motivazione derivante dalla propria volontà e interesse personale) e un senso di autodeterminazione (cioè, la capacità di studiare in modo autonomo e autogestito) nello studio?	2
14	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa contribuire al miglioramento dei processi di inclusione educativa, consentendo un apprendimento più accessibile ed efficace per tutti gli studenti?	2

15	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata, che coinvolge attività autentiche simili a situazioni reali e richiede l'applicazione di competenze pratiche, possa avviare un apprendimento più significativo per gli studenti?	2
16	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata migliori la comprensione, il richiamo, la concentrazione, l'interazione e renda gli ambienti di apprendimento più attraenti rispetto agli ambienti di apprendimento tradizionali?	2
17	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa migliorare l'esperienza di apprendimento degli studenti?	2

Tabella 4.4 - Questionario Realtà Aumentata e Didattica

È stata condotta un'analisi statistica inferenziale sui punteggi medi ottenuti nelle due dimensioni. In particolare, è stato applicato un *test t per campioni appaiati*, volto a verificare l'eventuale presenza di differenze statisticamente significative tra le medie dei punteggi pre e post intervento.

Per la prima dimensione, l'ipotesi nulla (H_0) postulava l'assenza di differenze significative tra le due misurazioni, mentre l'ipotesi alternativa (H_1) prevedeva una variazione significativa nei punteggi medi, attribuibile all'intervento.

I risultati del *test t di Student* hanno restituito un valore $t = 8{,}14$ con 562 gradi di libertà e un valore di significatività $p < .001$, nettamente inferiore alla soglia critica di 0,01. Questo ha consentito di rifiutare l'ipotesi nulla con un elevato livello di confidenza, a favore dell'ipotesi alternativa. In altre parole, l'intervento ha prodotto un effetto statisticamente significativo sulle percezioni dei corsisti riguardo ai benefici dell'AR per lo studente. La differenza media tra i punteggi post e pre è pari a 4,13, evidenziando un incremento sostanziale nelle valutazioni dopo la sperimentazione.

Il grafico nella Figura 4.5 mostra, inoltre, che la media post intervento risulta visibilmente superiore rispetto a quella pre intervento, con intervalli di confidenza che non si sovrappongono, rafforzando ulteriormente la validità dei risultati ottenuti.

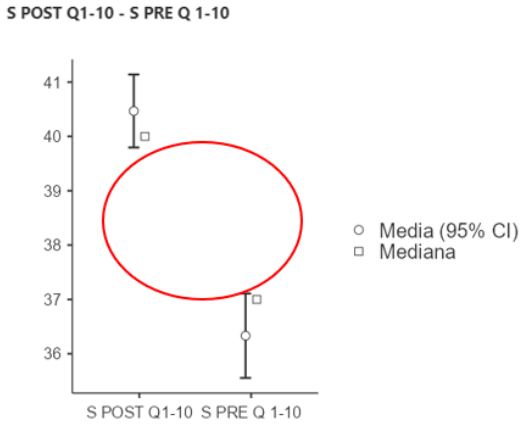


Figura 4.5 - Differenza Media Pre e Post Prima Dimensione

I dati, dunque, contribuiscono a sostenere che, per questa dimensione, l'esperienza concreta con la tecnologia immersiva, ha contribuito a modificare positivamente le percezioni dei corsisti, incrementando la

consapevolezza critica circa le potenzialità dell'AR nel favorire un apprendimento attivo, la comprensione concettuale e il coinvolgimento degli studenti.

Anche per la seconda dimensione si è proceduto con un *test t per campioni appaiati,* al fine di verificare le differenze statisticamente significative tra le due rilevazioni.

L'ipotesi nulla (H0) assumeva l'assenza di variazioni nei punteggi medi tra la fase pre e post. L'ipotesi alternativa (H1) ipotizzava, invece, un cambiamento significativo a seguito dell'esperienza con i visori AR.

I risultati del test hanno restituito un valore t = 7,65, con 562 gradi di libertà, e una significatività statistica di $p < .001$, che consente di rifiutare l'ipotesi nulla, con un livello di confidenza molto elevato. La differenza media rilevata tra le due somministrazioni è pari a 2,72 punti, evidenziando un aumento sostanziale nei punteggi post-intervento. Come emerge dal grafico in Figura 4.6, c'è una visiva discrepanza tra le medie e i rispettivi intervalli di confidenza al 95%, che non si sovrappongono, indicando con maggiore robustezza la presenza di un effetto significativo dell'intervento didattico.

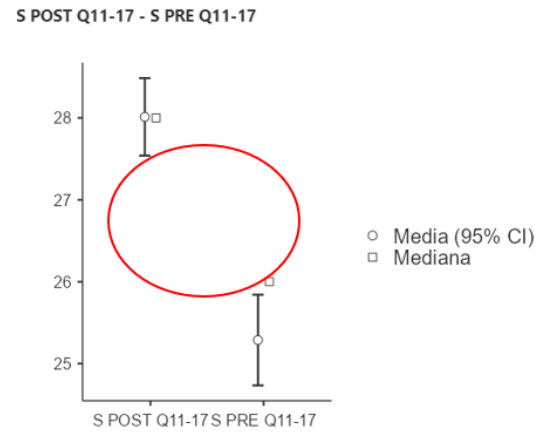


Figura 4.6 - Differenza Media Pre e Post Seconda Dimensione

I risultati, anche per questa dimensione, suggeriscono che l'intervento proposto ha rafforzato nei corsisti la consapevolezza delle potenzialità pedagogiche dell'AR.

***c)Augmented Reality Application Attitude Scale – ARAAS-* (Hervás-Gómez et al., 2017)**

Al termine dell'intervento didattico, è stato somministrato il questionario *ARAAS (Augmented Reality Application Attitude Scale)* (Hervás-Gómez et al., 2017), finalizzato a rilevare la percezione dei corsisti rispetto a tre dimensioni fondamentali dell'atteggiamento verso l'AR: *Rilevanza, Soddisfazione, Affidabilità*. L'analisi delle risposte mostra un quadro complessivamente positivo, con valori medi che indicano una generale propensione favorevole all'utilizzo dell'AR (Figura 4.7).

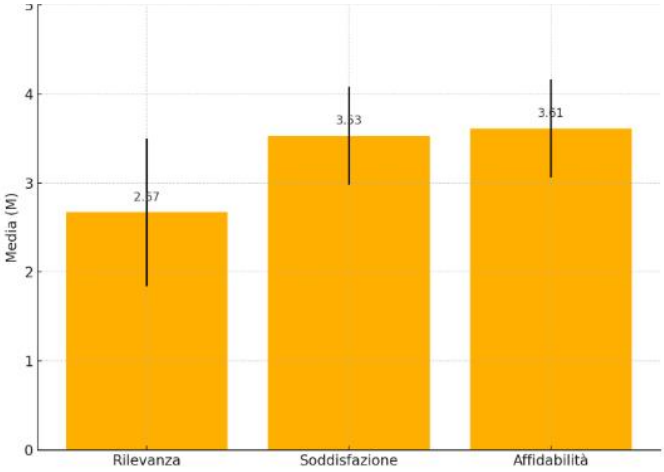


Figura 4.7 - Medie per dimensione ARAAS

La dimensione *Soddisfazione* ha registrato un punteggio medio pari a M=3.53 (SD=0.55), sottolineando come i corsisti abbiano trovato l'esperienza in AR coinvolgente e soddisfacente. Tale dato suggerisce che è stato percepito il potenziale dell'AR per generare un ambiente motivante e partecipativo.

Anche la dimensione *Affidabilità* ha ottenuto un punteggio medio alto, M=3.61 (SD=0.55), confermando che i corsisti ritengono l'AR uno strumento didattico valido e affidabile per supportare i processi educativi.

La dimensione *Rilevanza*, invece, ha registrato un punteggio medio basso, M=2.67 (SD=0.83). Questa dimensione esplora la percezione della significatività dell'AR nei contesti di apprendimento. Il risultato, inferiore rispetto alle altre due dimensioni, può essere interpretato come indice di un certo scetticismo residuale da parte dei corsisti rispetto all'effettiva applicabilità dell'AR nei contesti educativi reali, soprattutto in quelli in cui si registrano delle particolari esigenze educative. Tuttavia, è bene sottolineare, un possibile effetto legato alla formulazione inversa degli item di questa dimensione, che differisce dal resto della scala. Si può ipotizzare che alcuni rispondenti non hanno colto la direzione semantica invertita e abbiano selezionato risposte non coerenti con la loro reale percezione.

Nel complesso, i risultati indicano una percezione moderatamente positiva dell'AR come risorsa didattica, con un forte accento per quanto riguarda la soddisfazione e l'affidabilità dell'AR, ma con una percezione più cauta rispetto alla rilevanza pedagogica e contestuale dell'AR.

d)Questionario Insegnanti e Realtà Aumentata (Q-IRA)

La somministrazione finale di questo strumento ha permesso di esplorare le percezioni dei corsisti rispetto al ruolo dell'insegnante nell'uso dell'AR e alle potenzialità didattiche di questa tecnologia, nonché delle barriere percepite nell'implementazione futura in contesti educativi reali.

Il primo item del questionario ha previsto una domanda a risposta multipla non esclusiva, con la possibilità di poter selezionare più di un'opzione tra quelle proposte. Tale formulazione è stata adottata per

consentire di cogliere in profondità la complessità del fenomeno indagato. Nel dettaglio, è stato chiesto ai corsisti: *"Secondo la tua opinione, quali sono i fattori che incentivano l'applicazione dell'AR negli ambienti scolastici?"* (Figura 4.8).

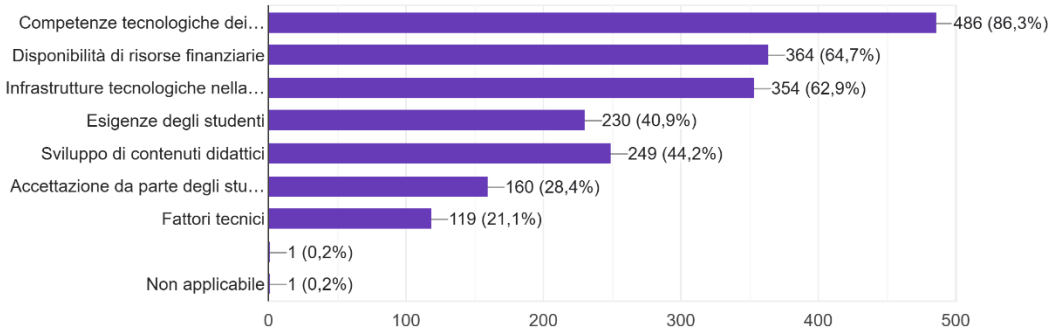


Figura 4.8 - Secondo la tua opinione, quali sono i fattori che incentivano l'applicazione dell'AR negli ambienti scolastici?[11]

L'analisi dei dati evidenziati nel grafico (Fig. 8) mostra come il fattore principale percepito, per l'impiego efficace dell'AR nei contesti educativi, sia rappresentato dal livello di competenze tecnologiche degli insegnanti (88.3%), elemento ritenuto fondamentale. A seguire, c'è la disponibilità di risorse finanziarie (64.7%) e la presenza di infrastrutture tecnologiche adeguate all'interno delle istituzioni scolastiche (62,9%) emergono come condizioni strutturali indispensabili per sostenere processi di innovazione, evidenziando una percezione diffusa secondo cui l'integrazione dell'AR deve essere supportata da investimenti e strutture adeguate. Altri fattori rilevanti riguardano la capacità di rispondere alle esigenze degli studenti (40,9%) e lo sviluppo di contenuti didattici specificamente progettati per i contesti scolastici (44,2%), che testimoniano come l'adozione della tecnologia innovativa venga percepita come significativa se integrata all'interno di una progettazione didattica coerente con le reali esigenze degli studenti. Meno determinanti, invece, risultano l'accettazione da parte degli stessi studenti coinvolti (28.4%), indicando la priorità data alla dotazione delle competenze necessarie per l'insegnante e delle infrastrutture, per poi in un secondo momento rivolgersi all'utenza finale.

Nel complesso emerge un quadro che sottolinea come l'innovazione digitale, in chiave immersiva, sia percepita come un processo sistemico, in cui la competenza professionale degli insegnanti si fonda indissolubilmente con l'adeguatezza delle risorse a disposizione. Queste sono le condizioni preliminari percepite per una reale implementazione dell'AR nel contesto didattico.

[11] Le opzioni di risposta sono le seguenti: Competenze tecnologiche degli insegnanti; Disponibilità di risorse finanziarie nelle scuole; Infrastrutture tecnologiche nelle scuole adeguate; Esigenze degli studenti; Sviluppo di contenuti didattici in AR; Accettazione da parte degli studenti coinvolti; Fattori Tecnici; Altro/Non applicabile.

Nell'item successivo, che prevedeva sempre una risposta multipla non esclusiva, è stato chiesto ai corsisti *"Quali aspetti didattico-metodologici ritieni rilevanti nella progettazione di una lezione con realtà aumentata?"* (Figura 4.9).

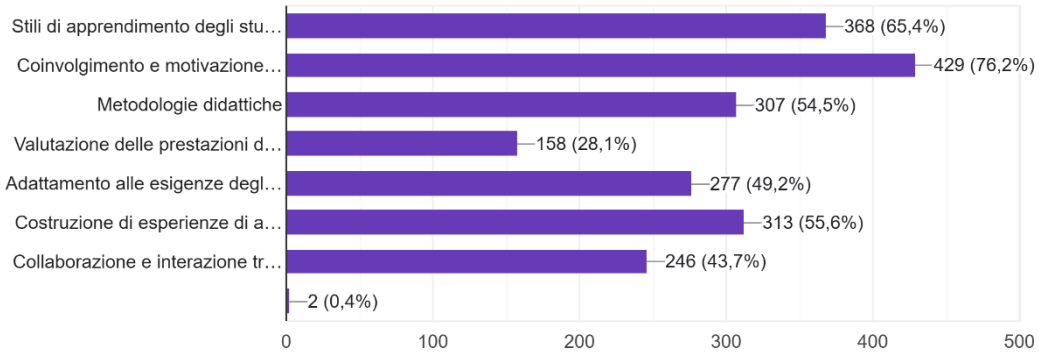


Figura 4.9 - Quali aspetti didattico-metodologici ritieni rilevanti nella progettazione di una lezione con realtà aumentata?

L'analisi delle risposte evidenzia una forte attenzione verso le dimensioni motivazionali e partecipative dell'apprendimento. Infatti, il coinvolgimento e la motivazione degli studenti vengono indicati come l'aspetto più frequentemente citato (76.2%). In linea con questa prospettiva, viene posta rilevanza agli stili di apprendimento degli studenti (65.4%), così come alla costruzione di esperienze significative (55.6%). Tali evidenze pongono in rilievo come gli insegnanti percepiscano come fondamentale, all'interno di una progettazione didattica, interpretare l'AR non soltanto come supporto tecnologico ma come dispositivo didattico in grado di promuovere pratiche didattiche centrate sugli studenti. Anche le metodologie didattiche (54,5%) e l'adattamento alle esigenze del gruppo classe (49,2%) vengono riconosciuti come elementi rilevanti, suggerendo che l'integrazione dell'AR non è percepita come un semplice inserimento tecnologico, ma come un processo che richiede una riflessione progettuale coerente e intenzionale. Inoltre, viene riconosciuto il potenziale dell'AR nell'incentivare la collaborazione e l'interazione tra gli studenti (43.7%), elemento importante per una progettazione didattica. Meno frequente risulta, invece, il riferimento alla valutazione delle prestazioni degli studenti (28,1%), aspetto che denota una possibile difficoltà nel trasferire tali esperienze immersive in strumenti valutativi sistematici e condivisi. I futuri insegnanti di sostegno attribuiscono all'AR un potenziale soprattutto metodologico e motivazionale, meno valutativo, evidenziando la necessità di ulteriori approfondimenti e supporti formativi sul piano della progettazione valutativa in ambienti aumentati.

Ai corsisti è stata posta la seguente domanda aperta: "*Qual è il ruolo che dovrebbero avere gli insegnanti nel processo di implementazione della*

realtà aumentata in classe?". Nella Tabella 5 sono sintetizzate le categorie tematiche emerse e le rispettive frequenze di occorrenza.

Categoria Tematica	**Descrizione**	**Frequenza (%)**
Assenza di rappresentazione del ruolo / Non applicabile	Il rispondente non esprime un'idea del ruolo dell'insegnante rispetto all'uso dell'AR, indicando di non sapere o non riuscire a collocare la tecnologia nel proprio agire professionale.	**62%**
Insegnante come Guida / Facilitatore dell'apprendimento	L'insegnante è visto come mediatore tra studente e tecnologia, accompagnatore del processo di apprendimento e figura che orienta e sostiene l'uso dell'AR.	**18%**
Insegnante come Promotore / Attivatore dell'innovazione	L'insegnante ha il compito di introdurre e incoraggiare l'uso dell'AR, stimolando la motivazione e il coinvolgimento degli studenti.	**8%**
Formazione e Sviluppo Professionale	Si sottolinea la necessità che l'insegnante sia adeguatamente formato e aggiornato per poter utilizzare l'AR in modo efficace.	**7%**
Progettazione Didattica e Integrazione Curricolare	L'AR è inserita nel processo di pianificazione e adattamento delle attività e dei contenuti, in coerenza con gli obiettivi formativi.	**5%**

Tabella 4.5 - Categorie Tematiche emerse dalle risposte relative al ruolo dell'insegnante nel processo di implementazione della realtà aumentata

Come si può notare dalla sintesi descrittiva (Tab. 4.5), la maggior parte dei corsisti (62%) non si esprime rispetto al ruolo che l'insegnante dovrebbe avere nel processo di implementazione dell'AR, indicando "Non applicabile" o risposte equivalenti. Questo dato riflette ancora una mancanza di familiarità con la tecnologia, tale per cui viene meno la consapevolezza professionale per poter rispondere esaustivamente alla domanda. Probabilmente, ciò è dovuto anche alla limitata esperienza pratica e alla carenza di percorsi formativi mirati.

Tra le risposte che esprimono, invece, una rappresentazione definita del ruolo dell'insegnante, troviamo quella della guida o facilitatore dell'apprendimento (18%), che si configura come un mediatore tra studente e tecnologia e che accompagna gli studenti nell'uso consapevole dell'AR. Il 18% dei corsisti riconosce il ruolo di promotore dell'innovazione, responsabile di favorire l'adozione dell'AR nella pratica didattica e di stimolare la partecipazione attiva degli studenti. Emerge, inoltre, un dato interessante legato al bisogno di formazione (7%). Nonostante le risposte non siano direttamente correlate alla domanda, tuttavia fanno riflettere sull'associazione spontanea che ne segue. Infatti, questo dato suggerisce che l'adozione dell'AR è percepita come possibile solo se accompagnata da un adeguato sviluppo delle competenze professionali. Infine, una parte più

contenuta (5%) colloca il ruolo dell'insegnante nel campo della progettazione didattica, evidenziando la necessità di integrare l'AR nella pianificazione curricolare in modo intenzionale e coerente.

Nel complesso, i risultati offrono diversi spunti di riflessione, utili per sviluppi futuri della ricerca. Infatti, pongono in luce le potenzialità percepite ma non ancora pienamente realizzate, in cui l'insegnante è percepito come una figura centrale nel processo di implementazione dell'AR, purché dotato delle competenze necessarie per poterla integrare efficacemente nella prassi didattica.

Nella successiva domanda aperta è stato chiesto: "*Quali dimensioni delle competenze digitali ritieni che un insegnante debba potenziare per integrare in modo efficace l'AR nella didattica?"* (Tabella 4.6).

Categoria Tematica	**Descrizione**	**Frequenza (%)**
Assenza di rappresentazione / Non applicabile	Il rispondente non identifica quali competenze digitali debbano essere sviluppate oppure dichiara di non sapere. Indica una scarsa familiarità con l'AR e con le sue richieste operative.	58%
Formazione e aggiornamento professionale	Si richiede la partecipazione a corsi specifici, aggiornamenti continui, formazione strutturata e occasioni di sperimentazione guidata.	20%
Competenze tecniche e operative su software/hardware AR	Necessità di saper utilizzare piattaforme AR, app, dispositivi, strumenti di creazione contenuti o aule virtuali.	12%
Competenze digitali di base / alfabetizzazione digitale	Padronanza delle tecnologie digitali generali, navigazione applicativi, uso consapevole dell'AR, capacità di risoluzione di problemi tecnici.	7%
Progettazione e integrazione didattica della tecnologia	Capacità di integrare l'AR nel curricolo, progettare attività significative e adattare contenuti in ottica pedagogica.	3%

Tabella 4.6 - Categorie Tematiche emerse dalle risposte relative alle competenze percepite come necessarie per integrare l'AR nella prassi didattica

L'analisi tematica delle risposte evidenzia che la maggior parte dei rispondenti (58%), anche in questo caso, non è ancora in grado di individuare con precisione quali competenze siano necessarie per un uso efficace dell'AR. Ciò suggerisce che l'intervento didattico proposto, pur avendo introdotto concetti e strumenti di base, non è stato sufficiente a colmare le lacune. Di conseguenza, gli insegnanti non dispongono ancora di un quadro chiaro e strutturato delle competenze digitali richieste per integrare in modo consapevole e intenzionale l'AR nelle pratiche educative.

Tra le categorie significative emerse, il tema prevalente è quello della formazione e aggiornamento professionale (20%), inteso come prerequisito fondamentale per un uso efficace dell'AR. I partecipanti evidenziano la necessità di corsi specifici, attività laboratoriali e occasioni di sperimentazione guidata, confermando la centralità dello sviluppo professionale continuo.

Un ulteriore 12% sottolinea l'importanza delle competenze tecniche e operative legate all'utilizzo di software, app e dispositivi per la realizzazione

e gestione delle attività in AR. In parallelo, il 7% richiama il bisogno di potenziare le competenze digitali di base, quali alfabetizzazione informatica, conoscenza degli strumenti digitali e gestione dei problemi tecnici.

Infine, una percentuale più ridotta (3%) riconduce la questione all'ambito della progettazione didattica e dell'integrazione dell'AR in percorsi formativi significativi, evidenziando che la tecnologia richiede consapevolezza pedagogica, non solo padronanza tecnica.

I dati mostrano, dunque, come l'adozione dell'AR non venga percepita come un problema tecnologico a sé stante, ma viene inserita all'interno di un quadro che pone innanzi le sfide formative e professionali.

È stata posta una successiva domanda aperta, tesa a identificare gli ostacoli e le sfide percepite rispetto all'integrazione dell'AR, strutturata nel seguente modo: "*Quali pensi possano essere gli ostacoli e le sfide che impediscono l'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica?"* (Tabella 4.7).

Categoria Tematica	**Descrizione**	**Frequenza (%)**
Assenza di risposta / Non applicabile	Mancata indicazione di ostacoli (es. "non applicabile", "non so"), segnale di scarsa familiarità o rappresentazione del problema.	55,3%
Costi e vincoli finanziari	Costi di dispositivi/visori, licenze/software, manutenzione; insufficienza di fondi e finanziamenti scolastici.	20,3%
Formazione e competenze dei docenti	Inadeguata preparazione tecnica/pedagogica, bisogno di formazione specifica e aggiornamento continuo.	12,0%
Infrastrutture, strumenti e connettività	Carenza/indisponibilità di hardware e software idonei, spazi non attrezzati, connessione/ banda inadeguata.	6,4%
Resistenze culturali e attitudinali	Reticenza/paura del nuovo, pregiudizi, mentalità didattica tradizionale, scarsa disponibilità al cambiamento.	3,2%
Fattori legati agli studenti	Distrazione, scarso interesse percepito, rischio di uso "giocoso" non finalizzato.	2,7%
Vincoli organizzativi e di sistema	Tempi scolastici, burocrazia, difficoltà organizzative e di implementazione.	0,9%
Accessibilità, salute e sicurezza	Questioni di accessibilità (disabilità), possibili fastidi fisici (es. vertigini), aspetti etici/sicurezza.	1,6%

Tabella 4.7 - Categorie Tematiche emerse dalle risposte relative agli ostacoli percepiti dall'integrazione dell'AR nella prassi didattica

Come posto in evidenza dalla tabella 4.7, il dato più rilevante riguarda sempre la quota di risposte identificate come "Non applicabile" (55.3%), che segnala una rappresentazione ancora incerta del problema, cosa che spinge i corsisti ad evitare qualsiasi forma di giudizio.

Tra gli ostacoli maggiormente percepiti emergono, in primo piano, i vincoli di natura economica (20.3%), che includono ostacoli iniziali legati all'acquisto di attrezzature, licenze e dispositivi. A questi si affianca la questione delle infrastrutture e della connettività (6.4%), strettamente correlata, che riguarda la disponibilità di spazi adeguatamente attrezzati, l'accesso a reti stabili e la presenza di dispositivi funzionanti. In parallelo, il

deficit di formazione e competenze del personale (12,0%) costituisce un'ulteriore barriera, indicando che l'adozione dell'AR è percepita come dipendente da sviluppo professionale strutturato e aggiornamento continuo, in chiave sia tecnica sia didattico-pedagogica.

Si osserva, inoltre, la percezione delle resistenze culturali/attitudinali (3,2%) - dalla reticenza al cambiamento ai pregiudizi verso le tecnologie - che suggeriscono l'esigenza di accompagnamento al cambiamento e di leadership pedagogica a livello di istituto. Gli aspetti che riguardano gli studenti (2,7%) richiamano l'attenzione alla necessità di progettare attività significative per evitare derive di distrazione o percezioni meramente ludiche. Più marginali, ma non trascurabili, i vincoli organizzativi (0,9%) e le questioni di accessibilità/salute/sicurezza (1,6%), che rimandano a temi di equità, inclusione e sicurezza.

Complessivamente, la mappa degli ostacoli restituisce un quadro sistemico, con un accento particolare sugli aspetti legati all'investimento in materiali, risorse e capitale professionale (formazione e competenze), affinché l'innovazione sia sostenibile, pedagogicamente e didatticamente significativa.

4.4 Riflessioni Conclusive

L'analisi integrata dei tre casi di studio presentati offre una visione articolata e comparativa dell'impatto che l'impiego della realtà aumentata nella formazione iniziale e specialistica degli insegnanti. Pur considerando le differenze metodologiche e di contesto, le esperienze documentate convergono nel mettere in luce il potenziale didattico dell'AR nel promuovere un apprendimento attivo, significativo e coinvolgente e nello stimolare riflessioni didattico-pedagogiche sul ruolo delle tecnologie immersive nella prassi didattica. Inoltre, si evidenzia come l'AR sia percepita come una tecnologia dotata di un rilevante potenziale didattico, soprattutto in relazione alla capacità di incrementare la motivazione, il coinvolgimento e la comprensione concettuale degli studenti.

Nel primo caso di studio, che si riferisce agli studenti del CdL di Scienze della Formazione Primaria, l'integrazione dell'AR ha favorito lo sviluppo di competenze di tipo metacognitivo e operative, dimostrando un atteggiamento favorevole da parte degli studenti in formazione. L'interesse generato dalla novità è stato accompagnato da una percezione positiva rispetto alla chiarezza concettuale favorita dalla visualizzazione tridimensionale dei contenuti.

Nel secondo caso, l'indagine è stata focalizzata sull'insegnamento-apprendimento della geometria tramite il supporto dell'AR, in modo da superare le difficoltà cognitive degli studenti, legate alla natura astratta della disciplina. L'impiego dei visori ha semplificato la visualizzazione spaziale e la manipolazione mentale delle figure solide, offrendo agli studenti un supporto innovativo. I dati raccolti mostrano un miglioramento

significativo delle percezioni post-intervento, specialmente in termini di vantaggi per lo studente e consapevolezza didattica.

Infine, il terzo caso di studio, rivolto ai corsisti del TFA Sostegno, ha introdotto un'altra prospettiva nell'impiego dell'AR, legata all'inclusione. L'esperienza ha evidenziato un iniziale scarto tra conoscenza teorica dell'AR e competenze operative. L'intervento didattico, tuttavia, ha generato un cambiamento positivo e statisticamente significativo nelle percezioni dei partecipanti. I corsisti hanno riconosciuto il valore dell'AR come strumento per supportare l'accessibilità, la differenziazione didattica e la motivazione degli alunni con disabilità, pur mantenendo una posizione più cauta sulla rilevanza percepita della tecnologia, probabilmente influenzata da incertezze operative o da aspetti metodologici legati alla formulazione degli item. L'analisi delle risposte del Questionario Q-IRA ha messo in luce una prospettiva interessante rispetto al ruolo percepito dagli insegnanti nei confronti della tecnologia immersiva. Pur riconoscendo il ruolo centrale dell'insegnante nella mediazione e progettazione delle esperienze aumentate, molti partecipanti hanno mostrato una consapevolezza ancora parziale rispetto alle competenze e ai criteri metodologici necessari per integrare l'AR in contesti inclusivi reali. L'analisi qualitativa conferma l'esistenza di un interesse espresso e motivato verso la tecnologia, ma anche la presenza di incertezze legate soprattutto alla mancanza di riferimenti pedagogici chiari e alla limitata familiarità operativa con gli strumenti. Ne deriva la necessità di percorsi formativi che non si limitino all'acquisizione di competenze tecniche, ma che sostengano gli insegnanti nel processo di interpretazione, adattamento e progettazione dell'AR come risorsa connessa a obiettivi didattici precisi e situati.

Nel complesso, le evidenze raccolte mostrano come la realtà aumentata sia percepita come una tecnologia promettente, capace di integrarsi all'interno dei contesti educativi. Queste indagini preliminari hanno permesso di strutturare un percorso formativo mirato, che sarà descritto nei capitoli successivi, in grado di accompagnare gli insegnanti nella riflessione critica sul valore didattico dell'AR e sulla sua implementazione tecno-operativa.

Riferimenti Bibliografici

Abdul Hanid, M. F., Mohamad Said, M. N. H., Yahaya, N., & Abdullah, Z. (2022). Effects of augmented reality application integration with computational thinking in geometry topics. *Education and Information Technologies*, *27*(7), 9485-9521.

Bulut, M., & Borromeo Ferri, R. (2023). A systematic literature review on augmented reality in mathematics education. *European Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(3), 556-572.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2002). *Metodi di ricerca in ambito educativo*. Routledge.

Hartini, S., & Anglelyn, C. (2019). Virtual reality: aplikasi teknologi untuk peningkatan kunjungan wisatawan. *Journal of Business and Banking*, *9*(2), 215-227.

Hervás-Gómez, C., Toledo-Morales, P., & Díaz-Noguera, M. D. (2017). Augmented reality applications attitude scale (ARAAS): Diagnosing the attitudes of future teachers. *The New Educational Review*, *50*, 215-226.

Kaufmann, H. (2006). The potential of augmented reality in dynamic geometry education. In *12th International Conference On Geometry and Graphics (ISGG), Ago* (pp. 6-10).

Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT press.

Küçük, S., Yılmaz, R., & Göktaş, Y. (2014). Augmented reality for learning English: Achievement, attitude and cognitive load levels of students. *Education and Science*, *39*(176).

La Marca, A., Gulbay, E., & Leone, A. (2025). *Hololens in aula: un'esperienza di apprendimento immersiva per l'insegnamento delle materie STEAM nel Corso di Laurea Magistrale in Scienze della Formazione Primaria*. In B. Di Paola & E. Spada (Eds.), *Quaderni di Ricerca in Didattica*, Special issue 15, 39–50. G.R.I.M., Dipartimento di Matematica e Informatica, Università degli Studi di Palermo.

Lasica, I. E., Meletiou-Mavrotheris, M., & Katzis, K. (2020). Augmented reality in lower secondary education: A teacher professional development program in Cyprus and Greece. *Education Sciences*, *10*(4), 121.

Leone, A. (2024). Le tecnologie immersive come strumento di formazione: la realtà aumentata per la pratica didattica in università. In G. Benvenuto, E. Gülbay, A. La Marca, G. Moretti & A. Morini (a cura di), *La ricerca educativa e didattica nelle scuole di dottorato in Italia – 8/2024* (pp. 197–210). Pensa MultiMedia. ISBN 9791255683063

Leone, A. (2025). Realtà aumentata per l'apprendimento: un'indagine esplorativa sulle percezioni e gli atteggiamenti dei futuri insegnanti. In A. Bartolini, F. Batini, M. De Santis, M. Milella, P. Malavasi, A. Morganti, A. Rosati, R. Salvato, A. Signorelli, & M. Sannipoli (a cura di), *La formazione iniziale e continua degli insegnanti: Relazioni, comunicazione, metodi. Atti della Junior Conference SIPED* (pp. 187–193). Pensa MultiMedia.

López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., Moreno-Guerrero, A.-J., & Lampropoulos, G. (2023). Metaverso en Educación: una revisión sistemática. *Revista de Educación a Distancia (RED),* 23(73).

Marín-Marín, J. A., López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., & Moreno-Guerrero, A. J. (2023). Attitudes towards the development of good practices with augmented reality in secondary education teachers in Spain. *Technology, Knowledge and Learning*, *28*(4), 1443-1459.

Merchant, Z., Goetz, E. T., Keeney-Kennicutt, W., Cifuentes, L., Kwok, O., & Davis, T. J. (2013). Exploring 3D virtual reality technology for spatial ability and chemistry achievement. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(6), 579–590.

Nadzeri, M. B., Musa, M., & Ismail, I. M. (2024). The Effects of Augmented Reality Geometry Learning Applications on Spatial Visualization Ability for Lower Primary School Pupils. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *18*(16).

Nadzeri, M. B., Musa, M., Meng, C. C., & Ismail, I. M. (2024). The Effects of Augmented Reality Geometry Learning Applications on Spatial Visualization Ability for Lower Primary School Pupils. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *18*(16).

Rossano, V., Lanzilotti, R., Cazzolla, A., & Roselli, T. (2020). Augmented reality to support geometry learning. *IEEE Access*, *8*, 107772-107780.

Sáez-López, J. M., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., & Gómez Carrasco, C. J. (2020). Augmented reality in higher education: An evaluation program in initial teacher training. *Education Sciences*, *10*(2), 26

Sunzuma, G. (2023). Technology Integration in Geometry Teaching and Learning: A Systematic Review (2010-2022). *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, *11*(3), 1-18.

Capitolo V

Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School (AR-TECH)

Introduzione

Nel presente capitolo viene illustrato il processo di costruzione e validazione dello strumento psicometrico *AR-TECH* (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School*) (La Marca & Leone, 2024) volto a rilevare le percezioni, gli atteggiamenti, il grado di soddisfazione e l'autovalutazione delle competenze progettuali, creative e gestionali degli insegnanti, nonché la fiducia percepita nell"impiego della realtà aumentata nei contesti educativi. L'obiettivo è di fornire una base metodologica solida, rispetto alla quale orientare lo sviluppo di interventi formativi mirati e coerenti con i reali bisogni degli insegnanti.

Sebbene non sia stata condotta una revisione sistematica formale, è stata svolta un'analisi narrativa della letteratura internazionale, al fine di individuare alcune scale consolidate impiegate per esplorare percezioni, atteggiamenti e competenze percepite relative all'impiego della realtà aumentata nella prassi didattica. Pur riconoscendo i limiti derivanti dalla non esaustività della ricerca, vengono di seguito presentati gli strumenti maggiormente riconosciuti nella letteratura scientifica internazionale, in termini di replicabilità e frequenza di citazione. Questa panoramica ha offerto un inquadramento concettuale utile per la successiva progettazione del questionario AR-TECH.

Tra le scale più rilevanti e significative c'è *l'Instructional Material Motivation Survey (IMMS),* sviluppato da Keller (2010) per valutare i costrutti del modello motivazionale *ARCS (Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction)* (Campos-Mesa et al., 2022). Sebbene originariamente sia stato progettato per esplorare la motivazione degli studenti in ambienti tradizionali, successivamente è stato applicato e testato anche in contesti potenziati dalle tecnologie (Campos-Mesa et al., 2022). L'IMMS indaga quattro dimensioni: *Attenzione*, che misura in che modo

l'implementazione della strategia didattica cattura e mantiene l'attenzione degli studenti; *Fiducia*, che affronta la difficoltà del materiale fornito, nonché l'uso di programmi di creazione e visualizzazione AR; *Rilevanza*, che valuta in che modo le informazioni si collegano alla conoscenza, alle esperienze precedenti, alle esigenze percepite e al potenziale di applicazione futura; *Soddisfazione*, che valuta il livello di divertimento durante l'utilizzo di questi programmi e il risultato percepito in seguito (Loorbach et al., 2015 in Laurens-Arredondo, 2022, p. 7935). Questa scala è stata adottata in numerosi studi (Kamarainen et al., 2013; Li & Moore, 2018; Laurens-Arredondo, 2022: Cabero-Almenara & Roig-Vila, 2019; Hung et al., 2023; Campos-Mesa et al., 2022) rivelandosi un ottimo strumento per valutare l'impatto motivazionale della realtà aumentata nei contesti educativi. Il fondamento teorico alla base di questi studi risiede nella convinzione che gli strumenti tecnologici possiedono un elevato potenziale nel promuovere la motivazione all'apprendimento (García, 2020). La motivazione, infatti, è intesa come un costrutto psicologico complesso che influenza il modo in cui gli studenti elaborano e affrontano il proprio processo di apprendimento, in quanto legata strettamente alla rilevanza percepita dei contenuti, al coinvolgimento cognitivo ed emotivo e alle competenze trasversali che vengono sviluppate (Cruz et al., 2009). Tuttavia, nonostante la sua efficacia, l'IMMS si focalizza prevalentemente sulle dimensioni motivazionali, risultando quindi parzialmente limitato nella misurazione delle competenze didattiche, progettuali e gestionali richieste agli insegnanti per l'effettiva integrazione della realtà aumentata nei contesti scolastici.

Un altro modello largamente adottato è il *Technology Acceptance Model (TAM),* sviluppato per misurare il grado di accettazione della tecnologia (Davis, 1989). Il modello si basa su due costrutti principali che fanno riferimento all'utilità percepita (PU) e alla facilità d'uso percepita (PEU). Diversi studi hanno evidenziato come l'accettazione delle tecnologie da parte degli insegnanti sia fortemente influenzata proprio da queste dimensioni, ovvero dalla percezione dell'utilità e dalla facilità d'uso nell'impiegarla (Teo, 2011). Questo strumento è stato esteso e adattato a diversi contesti educativi, inclusi quelli che implicano l'uso della realtà

aumentata. In quest'ambito, diversi studi ne hanno validato l'applicabilità e l'efficacia per misurare le attitudini e le intenzioni di utilizzo da parte di insegnanti e studenti (Ibili et al., 2019; Salme et al., 2022; Koutromanos et al., 2024; Jang et al., 2021; Asiri, 2022).

Un ulteriore riferimento teorico è rappresentato dal framework *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK*), originariamente concettualizzato da Shulman (1986) e successivamente ampliato e arricchito da Mishra e Koehler (2006), offre una dimensione olistica delle competenze necessarie per integrare efficacemente e significativamente la tecnologia da parte degli insegnanti. Il costrutto si articola in tre domini principali: conoscenze del contenuto (CK), conoscenza pedagogica (PK) e conoscenza tecnologica (TK) e sulle loro intersezioni (TCK, TPC, PCK, TPACK). Numerosi studi ne hanno confermato l'efficacia nell'ambito della formazione degli insegnanti all'AR (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022; AlSuwaihe, 2024). Spesso il TPACK è combinato con altri modelli teorici, quali ad esempio il TAM, per offrire una misurazione più ampia e multidimensionale del costrutto. Ad esempio, nello studio di Choudhury & Dutta (2024), che esamina i fattori critici che influenzano l'adozione delle tecnologie di realtà estesa (XR) da parte degli insegnanti, è stato sviluppato e validato uno strumento misto, basato su tre quadri teorici: TPACK, per la conoscenza, il TAM per la percezione e l'UTAUT per la preparazione.

Alla luce dei principali modelli teorici individuati, è emersa l'esigenza di disporre di strumenti in grado di cogliere la complessità delle competenze richieste agli insegnanti per l'integrazione dell'AR. In questa prospettiva, sono stati individuati due ulteriori strumenti, ritenuti particolarmente coerenti con gli obiettivi del presente studio: *Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS),* nella versione di Hervás-Gómez et al. (2017) e la scala *Teacher's Augmented Reality Competencies* (TARC), sviluppata da Nikou et al. (2021; 2024), che rappresenta un contributo significativo e innovativo nell'ambito dell'autovalutazione delle competenze specifiche degli insegnanti in relazione all'uso dell'AR.

Entrambi offrono un impianto teorico solido, validato e ampiamente discusso nella letteratura recente e consentono una lettura

multidimensionale e integrata delle variabili in esame. Tali strumenti, dunque, sono stati adottati come riferimento per la costruzione del questionario AR-TECH.

5.1 *Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS) – Hervás-Gómez et al. (2017)*

La scala di Hervás-Gómez et al. (2017) è uno strumento atto a misurare gli atteggiamenti degli insegnanti nei confronti dell'impiego dell'AR in ambito educativo. Originariamente sviluppata da Küçük, Yilmaz, Baydaÿ e Göktaÿ (2014) è stata successivamente oggetto di un processo di adattamento e ampliamento da parte di Hervás-Gómez et al. (2017), per adeguare la struttura e i contenuti al contesto formativo spagnolo.

Il processo di validazione, condotto da Hervás-Gómez et al. (2017), ha coinvolto un campione di 1.533 studenti, frequentanti il corso di laurea in Scienze della Formazione Primaria, provenienti da cinque università spagnole e selezionati mediante campionamento non casuale.

L'affidabilità è stata determinata mediante l'Alfa di Cronbach, sia per le tre dimensioni che per l'intera scala. Nel dettaglio, l'Alfa complessiva della scala è risultata pari a 0.923, evidenziando un'elevata coerenza interna. I coefficienti relativi alle singole dimensioni sono risultati i seguenti: Rilevanza α= 0.795, Soddisfazione α= 0.854 e Affidabilità α= 0.794.

Più nel dettaglio, per quanto riguarda i punteggi medi degli atteggiamenti dei futuri insegnanti nei confronti dell'impiego dell'AR, mostrano un più alto punteggio per quanto riguarda *l'Affidabilità* (M= 3.63), seguito dalla *Soddisfazione* (M=3.48) e, infine, dalla *Rilevanza* (M=2.66), che invece è al di sotto del punteggio medio.

La validità strutturale della scala è stata verificata mediante un'analisi fattoriale esplorativa (EFA), al fine di identificare la struttura latente fattoriale. Inoltre, per verificare l'adeguatezza del campione, ai fini dell'analisi fattoriale, sono stati condotti il test di sfericità di Bartlett ($\chi 2$ =1621.667, df =253, P < .000), che ha indicato una sufficiente correlazione tra le variabili e il test di Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), il cui valore pari a 0.908 ha confermato l'adeguatezza al modello. Per l'estrazione dei fattori è

stata condotta una rotazione obliqua, in considerazione della probabile correlazione tra le dimensioni sottostanti.

I risultati dello studio confermano l'adeguatezza psicometrica della scala ARAAS, sia in termini di validità fattoriale che di affidabilità interna, riferendola come uno strumento affidabile per indagare gli atteggiamenti degli insegnanti (in formazione o in servizio) verso l'impiego dell'AR nei contesti educativi.

Rispetto alla versione originale di Küçük et al. (2014), alcuni item della scala sono stati eliminati in quanto non pienamente rispondenti agli obiettivi della ricerca, mentre altri sono stati aggiunti, in modo da ampliare la portata concettuale dello strumento.

La versione finale della scala si compone di 23 item, valutati su una scala Likert a cinque punti (da 1= Fortemente in disaccordo a 5= Fortemente d'accordo) e organizzati in tre dimensioni principali: *Rilevanza (9 item)*, *Soddisfazione (9 item)* e *Affidabilità (5 item)*. Nella tabella 5.1 sono riportati i riferimenti concettuali che caratterizzano ciascuna dimensione.

DIMENSIONI	
RILEVANZA	Esplora la percezione riguardo l'utilità e il valore pedagogico delle applicazioni in AR da parte dei rispondenti, ovvero in che misura ritengono che l'uso dell'AR sia utile, significativa e funzionale al processo di insegnamento-apprendimento. Comprende item relativi alla percezione dell'AR, alla chiarezza dei contenuti in AR e al rapporto tra AR e acquisizione di conoscenze;
SODDISFAZIONE	Misura la risposta affettiva e motivazionale dei rispondenti rispetto all'uso dell'AR. In particolare, indaga il coinvolgimento emotivo, la soddisfazione percepita durante l'uso della tecnologia immersiva, la curiosità e la motivazione. È legata all'atteggiamento positivo nei confronti dell'innovazione e alla predisposizione all'uso della tecnologia immersiva;
AFFIDABILITÀ	Rileva la fiducia da parte dei rispondenti nei confronti dell'AR e la percezione della sua capacità di migliorare la qualità della didattica e nel promuovere competenze trasversali. Comprende aspetti quali lo sviluppo di abilità cognitive, la collaborazione con colleghi e la possibilità di estendere l'uso dell'AR ad altri contesti formativi;

Tabella 5.1 – Dimensioni Scala ARAAS

Negli ultimi anni la scala è stata replicata in numerosi studi. Tra i contributi più rilevanti si segnala quello di Marín-Marín et al. (2023), volto ad analizzare lo sviluppo di buone pratiche didattiche con l'ausilio della realtà aumentata e i fattori che ne influenzano la qualità. La ricerca è stata condotta su un ampio campione di 1490 insegnanti di una scuola secondaria spagnola. La scala ARAAS è stata utilizzata per misurare gli atteggiamenti degli insegnanti in relazione all'utilizzo dell'AR. L'affidabilità interna è stata valutata mediante Alfa di Cronbach e Omega di McDonald, rispettivamente $\alpha = 0.76$ e $\omega = 0.87$ per l'intera scala. I risultati, rispetto ai punteggi medi, mostrano che la dimensione *Affidabilità* ha ottenuto un punteggio medio più alto (M=3.81), seguita dalla *Soddisfazione* (M= 3.66) e dalla *Rilevanza* (3.48), confermando i risultati dello studio di Díaz-Noguera et al. (2017), ad eccezione della dimensione *Rilevanza* che in questo caso ha ottenuto un punteggio maggiore.

È stata condotta, inoltre, un'analisi fattoriale esplorativa (EFA) e poi un'analisi fattoriale confermativa (CFA), che hanno confermato la struttura tridimensionale dello strumento, con buoni indici di adattamento del modello ($\chi^2 = 935.826$, $df = 227$, $CFI = 0.962$, $TLI = 0.956$, $RMSEA = 0.049$).

In sintesi, i risultati dello studio di Marín-Marín et al. (2023) rivelano che gli insegnanti mostrano un atteggiamento positivo nei confronti dell'impiego della realtà aumenta nella prassi didattica. Viene, altresì, evidenziato che i fattori che incidono positivamente su questo atteggiamento sono l'età, il numero di dispositivi digitali utilizzati, il tempo dedicato all'uso delle risorse tecnologiche e l'esperienza didattica pregressa. Inoltre, il fattore più influente e rilevante risulta essere la formazione in ambito ICT, seguito dalla soddisfazione e dall'affidabilità percepita rispetto alla tecnologia innovativa.

5.2 *Teachers's Augmented Reality Competencies (TARC)* – Nikou et al. (2021)

Uno strumento di recente elaborazione e di particolare rilevanza è il *Teacher's Augmented Reality Competencies* (TARC), sviluppato da Nikou,

Perifanou e Economides (2021; 2024), che rappresenta un contributo significativo e innovativo nel campo dell'autovalutazione delle competenze specifiche degli insegnanti in relazione all'uso dell'AR. Lo studio, che accompagna il framework TARC, costituisce uno dei primi tentativi sistematici di misurare un insieme coerente di competenze operative e didattiche specifiche per l'uso dell'AR, superando gli approcci precedenti che tendevano a valutare solo un livello di competenza complessivo. Un elemento distintivo del TARC risiede nella sua struttura integrata, che combina la dimensione tecnica con quella attitudinale, colmando una lacuna evidenziata nella letteratura internazionale. Le aree di competenza indagate derivano dalla definizione di *Tecnologia Educativa dell'Association for Educational Communications and Technology*, che si occupa dell'analisi e dell'applicazione di strategie e strumenti volti a facilitare l'apprendimento e a migliorare le prestazioni, attraverso la creazione, l'utilizzo e la gestione consapevole di risorse tecnologiche (Januszewski & Molenda, 2008).

La struttura dello strumento prevede una prima sezione che include informazioni di contesto e indaga il livello di competenze digitali generali dei rispondenti, nonché le precedenti esperienze con la realtà aumentata. La seconda sezione indaga gli atteggiamenti rispetto all'integrazione dell'AR nell'istruzione. La terza sezione, invece, si focalizza sull'autopercezione degli insegnanti rispetto alle proprie competenze nelle tre aree legate alla creazione, utilizzo e gestione delle risorse educative in AR. Nella tabella 5.2 sono sintetizzate le sottoscale che compongono la terza sezione del questionario. La scala utilizzata è una Likert a cinque punti (da 1 = Fortemente in disaccordo a 5= Fortemente d'accordo).

DIMENSIONI	
CREAZIONE	Misura la capacità di progettare, sviluppare e modificare esperienze di apprendimento in realtà aumentata;
USO	Rileva aspetti relativi all'utilizzo di pratiche pedagogiche, didattiche, di valutazione e di feedback;
GESTIONE	Misura la capacità di ricerca, classificazione, valutazione e organizzazione delle risorse di apprendimento in realtà aumentata, nonché questioni etiche, di sicurezza e protezione dei dati nell'integrazione della realtà aumentata

Tabella 5.2 – Sottoscale della terza dimensione Scala TARC

Il questionario è stato somministrato ad un campione di 150 insegnanti provenienti da 45 Paesi, con un'età media di 43,6 anni e una media di 15,9 anni di esperienza professionale nell'insegnamento. È stato adottato un campionamento di convenienza, in modo da raccogliere dati da diverse regioni e fasce demografiche. Tale scelta metodologica è risultata funzionale, dato il contesto di ricerca ancora poco esplorato.

L'affidabilità interna dello strumento è stata valutata tramite l'Alfa di Cronbach, riportando valori superiori a 0.90 per ciascuna delle tre sottoscale, a conferma di una elevata coerenza interna.

I risultati evidenziano un atteggiamento complessivamente positivo da parte degli insegnanti nei confronti dell'uso della realtà aumentata in ambito educativo, considerata uno strumento utile per supportare l'attività didattica. Tuttavia, le autopercezioni rispetto alle proprie competenze nella creazione (progettazione, sviluppo e modifica delle risorse di realtà aumentata) risultano incerte. Infatti, la percentuale di insegnanti che credono di non poter progettare risorse di AR (n = 60, 40%) è maggiore della percentuale di insegnanti che credono di poterlo fare (*n* = 49, 32%). Risposte simili emergono anche per quanto riguarda lo sviluppo e la modifica delle risorse. Questo mostra una diffusa incertezza e una carenza di esperienza pratica nella progettazione di contenuti in AR.

Relativamente alla dimensione legata all'*Uso*, le percezioni delle competenze legate all'insegnamento, alla valutazione e al feedback tramite

AR risultano ambivalenti. Questa incertezza, considerando gli atteggiamenti positivi nei confronti dell'AR per la maggior parte degli insegnanti, dimostra che, sebbene gli insegnanti vogliano utilizzare la realtà aumentata, tuttavia presentano delle difficoltà.

Per quanto riguarda la dimensione *Gestione*, i risultati sono più incoraggianti: tra coloro che hanno espresso un'opinione, la maggioranza si ritiene in grado di cercare (49%), valutare (39%) e organizzare (37%) risorse AR. Tuttavia, permangono criticità rispetto agli aspetti etici e di sicurezza, con percentuali di risposta che indicano una fiducia solo parziale nelle proprie competenze in queste aree.

I risultati dell'indagine di Nikou et al. (2021) mostrano che, sebbene gli insegnanti mostrino un atteggiamento favorevole verso l'uso dell'AR, tuttavia non si percepiscono ancora pienamente competenti nella creazione, nell'utilizzo e nella gestione di risorse basate su AR. Nondimeno, tutte le sottoscale del modello TARC risultano significativamente correlate agli atteggiamenti verso l'AR, confermando una connessione tra predisposizione positiva e autopercezione delle competenze.

In una fase successiva, Nikou et al. hanno sottoposto il questionario originario (2021) ad un processo di revisione, mediante un'analisi fattoriale confermativa (CFA), che ha portato a riformulare la struttura dello strumento (Nikou et al., 2024a). Nella versione successiva, le tre dimensioni originarie sono state riconfigurate in quattro dimensioni. Nel dettaglio, la dimensione *Creazione* è stata rinominata DDM *(Design, Development and Modification*), mentre la dimensione *Utilizzo* è diventata PTAF (*Pedagogy, Teaching, Assessment and Feedback).* La dimensione *Gestione*, inizialmente unitaria, è stata suddivisa in due nuove aree: SEO (*Searching, Evaluation and Organization*) e ES (*Ethics and Safety*), al fine di distinguere più chiaramente le competenze operative da quelle relative alla responsabilità professionale. Inoltre, il numero di item è stato ridotto da quattordici a undici. È bene sottolineare che la costruzione del questionario AR-TECH fa riferimento alla versione originale dello strumento.

Vista la recente costruzione dello strumento, le applicazioni della scala TARC sono al momento limitate agli studi condotti dagli stessi autori, con

campioni diversi (Nikou et al., 2024a; 2024b; 2025). Tuttavia, tali studi hanno contribuito a convalidarne la struttura fattoriale e l'affidabilità, avviando un processo di consolidamento teorico e metodologico nella letteratura scientifica.

Per il presente studio, è stata utilizzata la versione originale della scala TARC, mantenendone invariata la struttura.

5.3 *Augmented Reality – Teachers' education and Competences in Primary School (AR-TECH)*

Il questionario *Augmented Reality – Teachers' education and Competences in Primary School*, AR-TECH (La Marca & Leone, 2024), è stato progettato per rilevare in modo integrato le percezioni, gli atteggiamenti e le competenze autopercepite dagli insegnanti in relazione all'impiego dell'AR nei contesti educativi ed è parte del framework di formazione dei futuri insegnanti all'uso dell'AR nella scuola primaria, *Teach in AR*. Tuttavia, il suo utilizzo può essere esteso e adattato anche ad altri ordini e gradi scolastici.

Lo strumento si basa sull'integrazione delle scale ARAAS (*Augmented Reality Applications Attitude Scale*) e TARC (*Teachers' Augmented Reality Competencies)*, al fine di ottenere una misura unitaria e concettualmente coerente con le dimensioni oggetto di indagine e, al contempo, facilmente somministrabile in tempi contenuti e con modalità flessibili. L'integrazione è stata realizzata evitando sovrapposizioni tra item, preservando la specificità dei costrutti originari e garantendo coerenza interna e complementarità concettuale dello strumento finale. Le due scale di riferimento sono state tradotte e adattate da quattro ricercatori in modo indipendente, così da assicurare accuratezza semantica, equivalenza linguistica e validità di contenuto.

Il questionario AR-TECH è articolato in cinque sezioni, ciascuna delle quali finalizzata a rilevare aspetti specifici legati all'integrazione della realtà aumentata nella pratica didattica.

La prima sezione raccoglie informazioni anagrafiche e di contesto relative all'età e al sesso e include un item sull'autovalutazione del livello di competenza digitale, riferito al framework DigCompEdu (Redecker, 2017).

Il modello identifica sei livelli progressivi (dal livello "Nuovo arrivato" fino al livello "Pioniere"), ciascuno dei quali descrive la capacità autopercepita dell'insegnante di integrare le tecnologie digitali nella pratica professionale, in termini sia operativi che didattici. Tale classificazione, già adottata in diverse indagini internazionali, consente di collocare i partecipanti lungo un continuum di sviluppo professionale e di analizzare eventuali relazioni tra la competenza percepita e le altre dimensioni misurate (es. atteggiamenti, uso dell'AR, fiducia nelle capacità di gestire le tecnologie).

La seconda sezione esplora il grado di familiarità pregressa con la tecnologia immersiva e l'interesse percepito verso il suo impiego nel contesto educativo. Comprende item sia a risposta aperta che chiusa, per consentire una maggiore espressività soggettiva e favorire l'emergere di percezioni personali e motivazioni di tipo qualitativo.

La terza sezione adatta la scala ARAAS, suddivisa in tre dimensioni (*Rilevanza, Soddisfazione e Affidabilità*), per un totale di 23 item, organizzati su scala Likert a 5 punti (da 1 = fortemente in disaccordo a 5 = fortemente d'accordo).

La quarta sezione adatta la scala TARC, articolata in quattro dimensioni (*Atteggiamenti, Creazione, Uso e Gestione*). Rispetto agli item originari, sono stati selezionati soltanto 15 item, organizzati su scala Likert a 5 punti (da 1 = fortemente in disaccordo a 5 = fortemente d'accordo). Per la sottoscala *Utilizzo di risorse in AR*, infatti, sono stati inclusi solo 3 dei 4 item previsti da Nikou et al. (2021). L'item U4 (*Posso utilizzare risorse educative AR per guidare, fornire feedback, consigliare, supportare e ispirare gli studenti*) è stato escluso poiché ritenuto ridondante rispetto ad altri item semanticamente simili.

La quinta e ultima sezione include domande sia aperte che chiuse, tese a rilevare le percezioni rispetto ai vantaggi e alle criticità legati all'integrazione dell'AR in classe; la disponibilità all'adozione futura dell'AR dopo la fase di sperimentazione; le competenze ritenute necessarie per poter integrare efficacemente l'AR; le preoccupazioni o i dubbi rispetto all'uso dell'AR in classe; l'interesse a partecipare a comunità di pratica. Questa sezione è stata somministrata successivamente all'intervento formativo, con

l'obiettivo di integrare le evidenze quantitative con ulteriori dati descrittivi e interpretativi.

La terza e la quarta sezione costituiscono il nucleo psicometrico dello strumento e sono state oggetto del processo di validazione. Complessivamente, tali sezioni includevano inizialmente 38 item, derivanti dall'integrazione delle scale ARAAS (23 item) e TARC (15 item). Nel corso delle analisi fattoriali esplorative e confermative, alcuni item sono stati successivamente esclusi sulla base dei criteri statistici adottati, conducendo alla definizione di una versione finale della parte psicometrica composta da 35 item, distribuiti nelle sette dimensioni teoriche considerate.

Il questionario è stato somministrato mediante l'applicativo Google Moduli, preceduto da una breve introduzione esplicativa circa le finalità della ricerca e le istruzioni operative sulle modalità di compilazione, garantendo al contempo anonimato e consenso informato dei partecipanti.

5.3.1 Fase pilota: analisi preliminare di affidabilità, prima somministrazione

In una prima fase, il questionario AR-TECH è stato somministrato ad un gruppo pilota composto da 87 studenti (92 % femmine e 7% maschi, con un'età media di 20.04 anni) frequentanti il CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo.

Tale fase pilota ha avuto come obiettivo quello di individuare eventuali item problematici e di verificare la struttura preliminare dello strumento, prima della somministrazione al campione coinvolto nel percorso formativo.

L'analisi dei dati è stata condotta con il software statistico Jamovi (2.3), in modo da valutare l'affidabilità interna dello strumento in seguito alla prima somministrazione del questionario. Sono stati calcolati i coefficienti Alfa di Cronbach (Nunnally & Bernstein, 1994) e Omega di McDonald, nonché le correlazioni tra i singoli item e la scala totale (r) (Ercolani & Perugini, 1997). L'impiego congiunto di α e ω è stato ritenuto appropriato in quanto, come evidenziato in letteratura, il coefficiente Omega

rappresenta un indice più stabile e accurato per stimare l'attendibilità di strumenti psicometrici complessi (Ercolani & Perugini, 1997).

L'analisi ha evidenziato ottimi livelli di affidabilità interna, con un' α = 0.947 e un' ω = 0.952, confermando la robustezza e la coerenza interna complessiva dello strumento (Tab. 5.3)

Cronbach's α	**McDonald's ω**
0.947	0.952

Tabella 5.3 – Coefficiente di Cronbach questionario

Successivamente, è stata condotta un'analisi dell'affidabilità interna per ciascuna dimensione del questionario.

Nella sezione ARAAS, il coefficiente Alfa ha restituito valori soddisfacenti per tutte le dimensioni: *Rilevanza* (α= 0.765), *Soddisfazione* (α=0.833) e *Affidabilità* (α=0.857).

Durante la fase di analisi, gli item formulati in senso inverso, presenti nella dimensione *Rilevanza* della scala ARAAS (item 3,5 e 9), sono stati ricodificati (*reverse coding*) per uniformare la direzione delle risposte rispetto al costrutto misurato. Tutti gli item di questa dimensione, presentano una buona correlazione item-scala (r) superiore a 0.26, con valori compresi tra 0.269 e 0.658 (Tab. 5.4).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Rilevanza	***2.27***	***0.485***	***0.765***	
Item	***Means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
P1. Mi annoio mentre utilizzo un'applicazione in AR	2.09	0.86	0.447	0.742
P2. È difficile utilizzare le applicazioni AR	2.72	0.73	0.269	0.766
P3. Nelle applicazioni AR, gli oggetti 3D danno una sensazione di realtà*	3.91	0.792	0.304	0.763
P4. Lo studio degli argomenti è più difficile a causa delle applicazioni AR	1.77	0.714	0.599	0.723
P5. Vorrei utilizzare le applicazioni AR in altri argomenti e moduli*	3.67	0.860	0.370	0.755
P6. L'uso delle applicazioni AR in classe è una perdita di tempo	1.50	0.778	0.658	0.711
P7. Le applicazioni AR rendono difficile il mio apprendimento perché mi confondono la mente	1.72	0.890	0.602	0.716
P8. Non è necessario utilizzare applicazioni in AR in classe	2.01	0.964	0.397	0.753
P9. L'AR migliora la mia opinione sul contenuto dell'argomento (visione pratica)*	3.78	0.788	0.403	0.749

*Item *reverse*

Tabella 5.4- Item Analysis "Rilevanza"

Tuttavia, la mappa di correlazione (Fig.5.1) mostra valori prevalentemente positivi, con le correlazioni più alte tra gli item P6 e P7 (r = 0.59) e tra P4 e P6 (r = 0.53), suggerendo una buona coerenza tra item centrali. L'item P2 risulta invece scarsamente correlato con gli altri

(correlazioni comprese tra -0.04 e 0.31), cosa che potrebbe riflettere una debole coerenza concettuale rispetto al costrutto misurato.

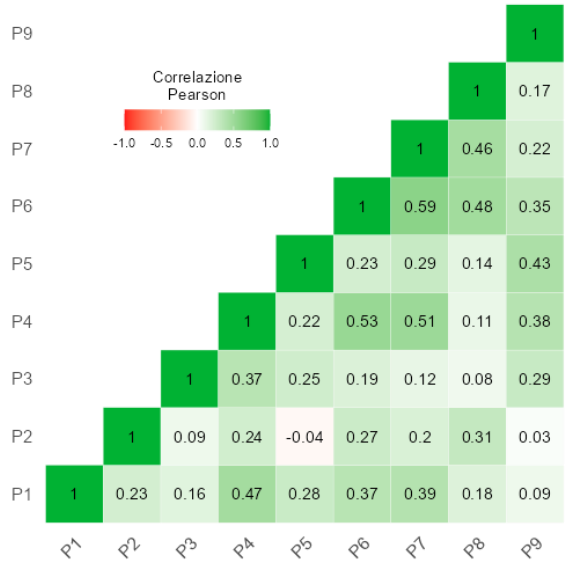


Figura 5.1-Mappa di calore di Correlazione, "Rilevanza"

L'item P2 (*È difficile utilizzare le applicazioni AR*) è stato rimosso in quanto presenta una bassa correlazione con gli altri item (r = 0.269) e non contribuiva in modo coerente al costrutto misurato, focalizzandosi su una componente tecnica piuttosto che percettiva, esperienziale o motivazionale come gli altri item. L'eliminazione, tuttavia, non comporta una significativa differenza nei valori dell'Alfa di Cronbach (0.766).

L'analisi dell'affidabilità della dimensione *Soddisfazione* ha restituito un'alfa di Cronbach pari a 0.833, indice di un'elevata coerenza interna. La maggior parte degli item ha mostrato buone correlazioni item-totale (r > 0.60), ad eccezione dell'item S5, formulato in senso inverso (che in sede di analisi è stato invertito) che ha registrato una correlazione bassa (r = 0.212) e un incremento del coefficiente alfa in caso di eliminazione (α = 0.855) (Figura 2). Sulla base di ciò, si è ritenuto opportuno rimuoverlo per migliorare l'affidabilità della scala. Gli item S8 e S9, sebbene con correlazioni moderate, sono stati mantenuti per il loro valore teorico rispetto al costrutto indagato (Tab. 5.5).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Soddisfazione	***3.75***	***0.542***	***0.833***	
Item	***means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
S1. Mi concentro meglio sull'argomento quando vengono utilizzate le applicazioni AR	3.43	0.744	0.643	0.806
S2. Dimostrazione di oggetti 3D, video e animazioni con le applicazioni AR aumentano la mia curiosità	4.22	0.773	0.616	0.808
S3. Frequento con entusiasmo una lezione in cui vengono utilizzate le applicazioni in AR	3.99	0.759	0.748	0.794
S4. Mi piacciono le lezioni in cui vengono utilizzate le applicazioni AR	3.90	0.783	0.791	0.788
S5. Le applicazioni AR non attirano la mia attenzione*	1.81	0.914	0.212	0.855
S6. Mi piace studiare argomenti con le applicazioni AR	3.66	0.713	0.753	0.795
S7. L'uso dell'AR mi motiva a lavorare di più	3.69	0.891	0.700	0.799
S8. Mi sento più coinvolto in questo modulo (AR) che se lavorassi in modo più teorico	3.49	0.891	0.325	0.841
S9. In generale, penso che l'uso di AR indichi che l'insegnante è interessato ad insegnare	3.21	1.06	0.341	0.874

*Item *reverse*

Tabella 5.5 - Item Analysis “Soddisfazione”

La mappa di calore (Fig. 5.2) evidenzia come la maggior parte delle correlazioni tra item risulta positiva e moderata, indicando una buona coerenza interna tra gli elementi della scala. L’item S5 risalta per la sua bassa correlazione con gli altri, coerentemente con quanto emerso dall’analisi statistica.

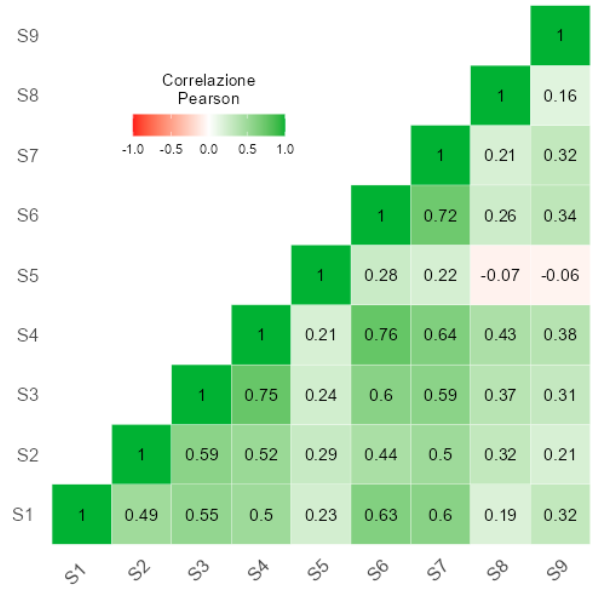


Figura 5.2 - Mappa di calore di Correlazione, "Soddisfazione"

L'analisi dell'affidabilità interna della dimensione *Affidabilità* ha restituito un valore di Alfa di Cronbach pari a 0.857, indicativo di un'eccellente coerenza interna tra gli item. Tutti gli elementi mostrano correlazioni item-scala superiori a 0.60, con valori compresi tra 0.600 e 0.753. Non è stato necessario rimuovere nessun item, poiché tale operazione non avrebbe comportato un miglioramento sostanziale dell'affidabilità della scala (Tab. 5.6).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Affidabilità	***3.62***	***0.602***	***0.857***	
Item	***means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
AF1. Penso che la generalizzazione di questo tipo di iniziative di AR migliorerebbe significativamente la qualità dell'insegnamento universitario	3.73	0.773	0.723	0.814
AF2. Lavorare con l'AR mi permette di condividere le mie idee, risposte e punti di vista con il mio insegnante e i miei compagni di classe.	3.62	0.754	0.672	0.828
AF3. Questa attività con AR mi fa sviluppare altre capacità cognitive (analisi, sintesi, pensiero critico)	3.83	0.754	0.753	0.807
AF4. L'AR ha cambiato il mio atteggiamento da studente, non solo in questo modulo, ma in generale in tutte le materie	3.24	0.735	0.600	0.846
AF5. L'uso dell'AR mi fa sviluppare altre abilità strumentali (maneggio di strumenti, ricerca di informazioni) nel mio modo di studiare	3.67	0.758	0.616	0.842

Tabella 5.6 - Item Analysis “Affidabilità”

La mappa di calore delle correlazioni (Figura 3), conferma le relazioni positive e coerenti tra tutti gli item della sottoscala *Affidabilità*. Le correlazioni più alte si riscontrano tra AF2 e AF3 (r = 0.67) e tra AF1 e AF3 (r = 0.62), indicando una forte coerenza interna tra gli item che esplorano la fiducia e l'affidabilità percepita nell'uso delle applicazioni di realtà aumentata. Nessun item presenta correlazioni critiche o isolate, a conferma della solidità della struttura sottostante alla dimensione.

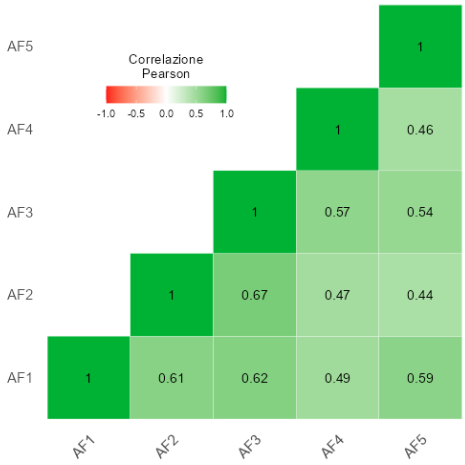


Figura 5.3 - Mappa di calore di Correlazione, "Affidabilità"

Per la quarta sezione TARC, i valori di Alfa risultano anch'essi elevati: *Atteggiamenti* (α=0.891), *Creazione* (α=0.795), *Utilizzo* (α=0.877) e *Gestione* (α=0.833).

Gli item presentano un'ottima correlazione item-scala superiore a 0.69, con valori compresi tra 0.698 (A1) e 0.841 (A2), confermato dalla mappa di calore (Figura 5.4). Inoltre, nessun item risulta critico, poiché nessuna eliminazione aumenterebbe significativamente l'affidabilità complessiva. Questo rafforza la decisione di mantenere integralmente la struttura (Tab. 5.7).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Atteggiamenti	***4.06***	***0.633***	***0.891***	
Item	***means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
A1: Ho un atteggiamento positivo nei confronti dell'uso della AR nell'insegnamento	3.97	0.804	0.698	0.888
A2: Credo che sia una buona idea utilizzare la AR nell'insegnamento	4.09	0.713	0.841	0.830
A3: L'uso della AR rende l'insegnamento più interessante	4.13	0.682	0.759	0.861
A4: Ho un atteggiamento generalmente favorevole nei confronti della AR nell'insegnamento	4.03	0.710	0.760	0.860

Tabella 5.7 - Item Analysis "Atteggiamenti"

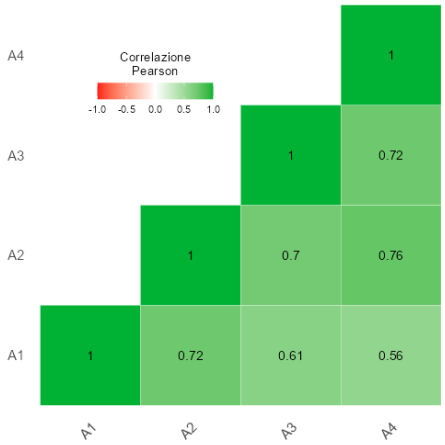


Figura 5.4 - Mappa di calore di Correlazione, "Atteggiamenti"

La seconda dimensione esplora l'autopercezione degli insegnanti rispetto a tre ambiti fondamentali, ovvero *Creazione, Utilizzo e Gestione* delle risorse in AR.

Per la prima sottoscala, che analizza la *Creazione di contenuti in AR*, ha restituito un valore di Alfa di Cronbach pari a 0.795, mostrando un buon livello di affidabilità interna. Tutti e tre gli item presentano valori soddisfacenti per quanto riguarda la correlazione item-scala (C1 = 0.652, C2 = 0.563 e C3 = 0.714) (Tab. 5.8).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Creazione di contenuti in AR	***3.53***	***0.720***	***0.795***	
Item	***means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
C1: Posso progettare esperienze educative in AR utilizzando applicazioni e strumenti AR per soddisfare obiettivi educativi specifici	3.76	0.839	0.652	0.707
C2: Sono in grado di sviluppare risorse educative in AR utilizzando modelli di realtà aumentata (AR) e librerie di risorse facili da usare	3.19	0.927	0.563	0.811
C3 Sono in grado di modificare e adattare le risorse didattiche di realtà aumentata ai miei obiettivi didattici	3.65	0.794	0.714	0.649

Tabella 5.8 - Item Analysis "Creazione"

Anche la mappa di correlazione (Figura 5.5) conferma i risultati ottenuti dall'analisi di affidabilità. Le correlazioni risultano tutte positive e moderatamente elevate, indicando una buona coerenza interna tra gli item.

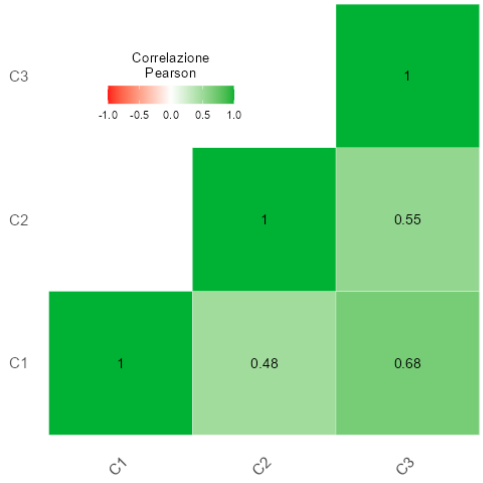


Figura 5.5 - Mappa di calore di Correlazione, "Creazione"

La seconda sottoscala, ovvero *Utilizzo delle risorse in AR,* mostra un'ottima affidabilità interna, con α =0.877. Ci sono delle ottime correlazioni item-scala, in particolare per gli item U2 e U3 (rispettivamente r= 0.827 e 0.804) dimostrando un'elevata integrazione concettuale e semantica rispetto al costrutto misurato (Tabella 5.9 e Fig.5.6).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Utilizzo di risorse in AR	***3.68***	***0.739***	***0.877***	
Item	***means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
U1: Posso utilizzare le risorse e gli strumenti educativi in AR impiegando diverse pedagogie e metodi di insegnamento	3.74	0.877	0.673	0.913
U2: Posso utilizzare risorse e strumenti didattici in AR per insegnare (ad esempio per presentare, dimostrare, spiegare contenuti didattici) ai miei studenti	3.84	0.765	0.827	0.776
U3: Posso utilizzare risorse e strumenti didattici in realtà aumentata (AR) (ad es. valutazioni basate su simulazione e/o giochi multimediali e AR) per valutare i progressi degli studenti	3.74	0.829	0.804	0.789

Tabella 5.9 - Item Analysis "Utilizzo"

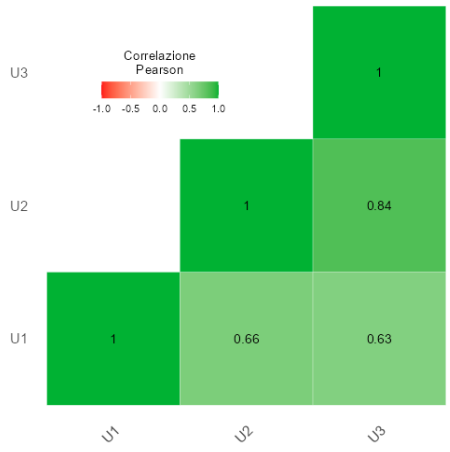


Figura 5.6 - Mappa di calore di Correlazione, "Utilizzo"

L'ultima sottoscala riguarda la *Gestione di risorse in AR* e registra un buon livello di affidabilità interna, con un valore di Alfa pari a 0.833. Nessun item presenta una correlazione item-scala inferiore al minimo accettabile, con valori compresi tra 0.543 (M1) e 0.748 (M5). Nessun item, se escluso, determinerebbe un miglioramento sostanziale dell'alfa (Tab. 5.10).

	means	***SD***	***Cronbach α***	
Gestione di risorse in AR	***3.46***	***0.679***	***0.833***	
Item	***means***	***SD***	***r***	***If item dropped α***
M1 Posso utilizzare motori di ricerca, archivi digitali e database per trovare risorse e strumenti didattici di AR esistenti utilizzando criteri, filtri di metadati e sistemi di raccomandazione appropriati.	3.63	0.720	0.543	0.824
M2 Posso valutare le risorse e gli strumenti educativi AR utilizzando criteri appropriati	3.59	0.788	0.689	0.786
M3 Sono in grado di organizzare e programmare le risorse e gli strumenti didattici di AR più appropriati per raggiungere obiettivi educativi specifici	3.19	0.939	0.564	0.820
M4 Posso garantire e controllare l'uso etico e responsabile delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti alle attività educative (ad esempio, rispettando la personalità, la privacy e i diritti dei partecipanti)	3.47	0.954	0.644	0.797
M5 Sono in grado di garantire l'uso sicuro delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti	3.44	0.953	0.748	0.764

alle attività educative (ad esempio garantendo le risorse, la sicurezza e la salute dei partecipanti)	

Tabella 5.10 - Item Analysis “Gestione”

La mappa di calore delle correlazioni rafforza ulteriormente questa analisi. Le più forti correlazioni si osservano tra M4 e M5 (r=0.79) e tra M1 e M2 (r=0.73). In generale, però, le correlazioni sono tutte positive, il che contribuisce alla solidità della scala (Fig.5.7).

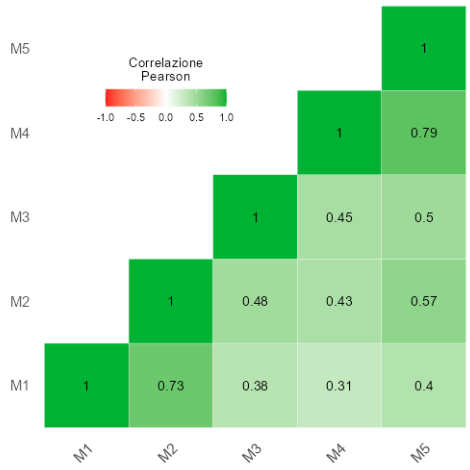


Figura 5.7 - Mappa di calore di Correlazione, “Gestione”

5.3.2 Discussione dei risultati della fase pilota

La fase pilota ha consentito una prima valutazione dell’affidabilità interna dello strumento, volto a rilevare atteggiamenti e competenze autopercepite dei futuri insegnanti rispetto all’adozione della realtà aumentata nella didattica.

L’analisi ha evidenziato una buona coerenza interna complessiva e ha permesso di identificare alcuni item critici, successivamente rimossi per migliorare la consistenza delle scale.

L’analisi descrittiva, condotta sulla base delle risposte fornite dal campione pilota, mostra una generale predisposizione da parte dei futuri insegnanti verso l’impiego della realtà aumentata in ambito educativo. I punteggi risultano in linea con quelli rilevati dalla scala ARAAS di Hervás-Gómez et al. (2017), mentre si osservano dei punteggi con leggere variazioni rispetto alla scala Nikou et al. (2021).

In particolare, per quanto riguarda la scala ARAAS, la prima dimensione, *Rilevanza*, mostra una percezione generalmente positiva da parte degli studenti rispetto all'importanza dell'AR in campo didattico. Sebbene alcuni item, tra cui P6 (M=1.50) e P7 (M= 1.72), presentano medie più basse, è opportuno ricordare che questi sono formulati in senso negativo (*L'uso delle applicazioni AR è una perdita di tempo; Le applicazioni AR rendono difficile il mio apprendimento*). Pertanto, questi punteggi indicano un grado di disaccordo con le affermazioni e riflettono, dunque, una valutazione positiva dell'AR, ritenuta utile. In generale, i futuri insegnanti percepiscono l'uso dell'AR come coerente con gli obiettivi educativi e ritengono che le applicazioni in AR diano un senso di realtà e, al contempo, migliorino la percezione dell'argomento affrontato.

Anche la dimensione *Soddisfazione* mostra atteggiamenti positivi da parte degli insegnanti in formazione. Le medie dei singoli item oscillano tra M=3.21 (S9) e M=4.22 (S2). In particolare, è proprio l'item S2 ad avere una media più alta (*Dimostrazione di oggetti 3D, video e animazioni con le applicazioni AR aumentano la mia curiosità*), evidenziando un buon grado di apprezzamento per gli aspetti legati al coinvolgimento e alla curiosità suscitati dalla tecnologia.

Nell'ultima dimensione, *Affidabilità*, i risultati indicano che i futuri insegnanti esprimono fiducia nelle potenzialità dell'AR per migliorare la qualità della didattica e sviluppare nuove competenze. I punteggi medi variano da 3.24 (AF4) a 3.83 (AF3), item rispettivamente legati al fatto che l'AR contribuisce a modificare l'atteggiamento verso tutte le discipline e ha permesso di sviluppare altre capacità cognitive, tra cui analisi, sintesi, pensiero critico.

Per quanto riguarda la scala TARC, la dimensione relativa agli *Atteggiamenti* evidenzia un interesse abbastanza positivo da parte degli studenti. Tutti gli item analizzati presentano valori medi superiori a 3.90, con un minimo che va da M=3.97 (A1) e M=4.13 (A3). Nel dettaglio, l'item A3 (*L'uso della realtà aumentata rende l'insegnamento più interessante*), che ha ottenuto la media più alta, conferma il potenziale che i futuri insegnanti riconoscono alla realtà aumentata.

Nella dimensione legata alla *Creazione di contenuti*, i dati mostrano una percezione moderatamente positiva delle competenze autovalutate. L'item con la media più alta è C1, ovvero inerente alla capacità di progettare esperienze educative in AR che siano coerenti con gli obiettivi educativi specifici (M=3.76). Un altro item con un punteggio medio interessante è C3 (M=3.65), relativo alla capacità di adattare risorse didattiche AR agli obiettivi educativi. La media bassa dell'item C2 (M=3.19) mette in evidenza il fatto che ancora gli studenti non sono pronti a sviluppare delle risorse in AR a partire da modelli e librerie. Dall'analisi emerge, comunque, che gli studenti si sentono abbastanza sicuri nel pensare attività educative in AR, nonostante sentano la necessità di ulteriori competenze progettuali.

La dimensione *Utilizzo di risorse in AR* mostra una buona predisposizione e padronanza nell'impiego della realtà aumentata. In particolare, l'item U2 (*Posso utilizzare risorse e strumenti didattici di realtà aumentata per insegnare*) ha la media più alta (M=3.84), seguito da U3 (*Posso utilizzare risorse e strumenti didattici di realtà aumentata per valutare i progressi degli studenti*) con una media pari a 3.74. Un dato interessante, invece, riguarda la media dell'item U1 (M=3.47) che fa riferimento all'utilizzo dell'AR in connubio con differenti approcci pedagogici, rivelando un bisogno formativo rispetto all'integrazione della tecnologia combinata con le metodologie didattiche.

Infine, rispetto alla dimensione *Gestione delle risorse in AR* c'è una tendenza complessivamente positiva. Le medie oscillano tra M=3.19 (M3) e M=3.63 (M1), mostrando una tendenza generale degli studenti verso una buona consapevolezza nella gestione delle risorse in AR. Interessanti anche le medie di M2 (M=3.59) e M4 (M=3.47) che rivelano una discreta familiarità con la valutazione e l'uso etico delle risorse in AR. Anche in riferimento a questa dimensione, i risultati indicano una buona gestione percepita nella gestione delle risorse in AR.

Nel complesso, le evidenze ottenute mediante l'analisi dei dati, suggeriscono un atteggiamento pressoché favorevole verso l'adozione dell'AR nei contesti educativi, accompagnato da un livello di fiducia nelle proprie capacità, pressoché buono. Tuttavia, emergono alcune aree in cui

sarà opportuno potenziare la formazione, in modo da supportare adeguatamente lo sviluppo più completo delle competenze tecniche e pedagogiche necessarie per un uso più efficace dell'AR.

Dal confronto con gli studi da cui sono state tradotte e adattate le scale utilizzate, emergono convergenze e alcune differenze. Anche i futuri insegnanti del campione italiano hanno manifestato atteggiamenti abbastanza positivi verso l'uso della realtà aumentata nel contesto didattico in tutte e tre le dimensioni ARAAS. Nonostante questo, i valori medi per dimensione risultano in alcuni casi inferiori rispetto al modello spagnolo, dovuto probabilmente ad una minore esposizione o familiarità pregressa con la tecnologia immersiva. Per quanto riguarda la scala TARC, i punteggi medi ottenuti in questo studio suggeriscono un'autopercezione più moderata soprattutto per quanto riguarda la padronanza creativa e progettuale. In sintesi, i dati ottenuti rafforzano la validità delle scale adottate.

È opportuno evidenziare i limiti del presente studio, che si riferiscono alla somministrazione in contesti e paesi diversi rispetto a quelli di origine e con un livello di alfabetizzazione digitale di base differente, legato sinanche al contesto.

5.4 Validazione dello strumento: seconda somministrazione

In seguito alla fase pilota, è stata avviata una seconda somministrazione del questionario, con un campione più ampio composto da 700 studenti, futuri insegnanti iscritti al CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo. La rilevazione è stata condotta tra maggio e giugno 2025.

Per garantire la robustezza metodologica della validazione, è stata adottata la procedura di *split-sample*, che ha permesso di suddividere il campione in due sottogruppi indipendenti. Il campione (n=700) è stato suddiviso casualmente in due sottocampioni indipendenti; il primo (n= 300), utilizzato per l'analisi fattoriale esplorativa (EFA), il secondo (n=

400[12]) destinato all'analisi fattoriale confermativa (CFA). Tale procedura è stata condotta al fine di garantire una validazione progressiva dello strumento, conducendo le analisi esplorativa e confermativa su campioni indipendenti, come raccomandato dalla letteratura di riferimento (Lorenzo-Seva, 2022).

Nella Tabella 5.11 sono sintetizzate le statistiche descrittive e i coefficienti di affidabilità relativi alle dimensioni che compongono lo strumento AR-TECH. Per ciascuna di esse è stata calcolata la media, la deviazione standard (SD) e l'affidabilità interna (Alfa di Cronbach e Omega di McDonald), in modo da fornire un'analisi dettagliata della loro rilevanza e consistenza nel campione esaminato.

Fattore	**Media**	**SD**	**Cronbach's α**	**McDonald's ω**
Rilevanza	1.91	0.570	0.821	0.827
Soddisfazione	3.77	0.688	0.889	0.903
Affidabilità	3.67	0.700	0.871	0.872
Atteggiamenti	4.18	0.735	0.938	0.939
Creazione	3.46	0.637	0.527	0.543
Utilizzo	3.79	0.775	0.872	0.875
Gestione	3.48	0.702	0.833	0.837

Tabella 5.11 – Scale Reliability Statistics

I risultati emersi dalla seconda somministrazione del questionario AR-TECH evidenziano una struttura complessivamente solida e affidabile in quasi tutte le dimensioni analizzate. Gli indici di affidabilità interna, Alfa e Omega, risultano significativamente elevati in particolare per le dimensioni *Atteggiamenti* (α = 0.938), *Soddisfazione* (α = 0.889), *Utilizzo* (α = 0.872) e *Affidabilità* (α = 0.871). Questo valore mostra una coerenza interna molto alta e una buona correlazione item-scala. Il dato suggerisce che gli studenti hanno degli atteggiamenti favorevoli verso l'uso dell'AR sul piano didattico, accompagnata da soddisfazione per l'utilizzo e dalla percezione che sia una tecnologia valida per l'insegnamento.

[12] I sottocampioni sono stati estratti mediante campionamento casuale semplice, mediante l'utilizzo della funzione =RAND in Excel.

Per quanto riguarda, invece, la dimensione *Creazione* si osserva un valore di Alfa pari a 0.527 e un'Omega pari a 0.543, indicativi di un'affidabilità interna bassa. Rispetto alla prima somministrazione (α=0.795), si registra un calo significativo. Ciò potrebbe essere interpretato proprio in riferimento alla variazione della grandezza del campione, che ha introdotto una variabilità maggiore. Inoltre, è probabile che l'item C3 (che si riferisce alla percezione di saper modificare e adattare risorse in AR) si sia comportato in maniera più indipendente rispetto agli altri due item che indagano riguardo alla progettazione e allo sviluppo di risorse in AR. È probabile, dunque, che questa dimensione non venga percepita come un costrutto unitario, ma come abilità distinte.

In sintesi, i risultati ottenuti confermano la solidità complessiva dello strumento, con elevate coerenze interne per la maggior parte delle dimensioni analizzate. Tuttavia, la dimensione *Creazione* si configura come un'area da approfondire ulteriormente, in quanto presenta una coerenza interna molto più debole rispetto alle altre, soprattutto in virtù di un campione più ampio. Per tale ragione, si conferma fondamentale condurre un'analisi fattoriale esplorativa (EFA) con l'obiettivo di indagare più a fondo la struttura latente della scala.

5.4.1 Analisi preliminare dei dati

Prima di procedere con l'analisi fattoriale esplorativa (EFA), è stata condotta un'analisi preliminare dei dati per verificare la distribuzione delle risposte e l'idoneità del campione alla procedura fattoriale, costituito da 300 studenti, futuri insegnanti frequentanti il CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo. Il questionario, su scala Likert a 5 punti, è stato somministrato mediante Google Form, durante il periodo compreso tra maggio e giugno 2025. La partecipazione è stata volontaria ed è stata esplicitata la riservatezza e l'anonimato delle rilevazioni.

Sebbene il questionario AR-TECH sia stato sviluppato integrando item provenienti da due scale preesistenti, originariamente concepite come strumenti distinti, si è scelto di condurre un'unica analisi fattoriale

esplorativa sull'intero costrutto. Questa decisione è motivata dall'obiettivo teorico di costruire e validare una nuova scala unitaria e concettualmente integrata, in grado di analizzare in modo più articolato le dimensioni dell'esperienza didattica con la realtà aumentata.

L'EFA è stata condotta su 36 item, poiché preliminarmente due item (P2 e S5) sono stati esclusi in seguito ai risultati dell'analisi di attendibilità effettuata sul gruppo pilota, che hanno evidenziato una bassa correlazione item-totale ($r < .30$), suggerendone la scarsa coerenza con la dimensione teorica sottostante.

In una prima fase, sono state calcolate le statistiche descrittive per ciascun item e, al fine di valutare il grado di normalità delle distribuzioni relative agli item e al punteggio totale del questionario, sono stati calcolati gli indici di simmetria e di curtosi (Ercolani & Perugini, 1997). Successivamente, per misurare la coerenza interna del questionario e stimare l'affidabilità della scala, è stato calcolato il coefficiente Alpha di Cronbach (Nunnally & Bernstein, 1994).

Come si evince dalla Tabella 5.12, i valori di asimmetria e curtosi dei 36 item mostrano complessivamente una buona distribuzione dei dati, confermando l'idoneità per l'analisi fattoriale. Nel dettaglio, per quanto riguarda l'asimmetria, il range di valori corrisponde alla soglia accettabile, ovvero compresi tra -1 e +1 (George, 2011). Tuttavia, soltanto due item (5 e 6) mostrano una maggiore deviazione, indicando una tendenza della distribuzione ad essere fortemente asimmetrica verso sinistra. Per quanto riguarda la curtosi, i valori rientrano nei limiti accettabili (± 1), suggerendo che non vi siano distorsioni nella forma delle distribuzioni. Due item (5 e 10) evidenziano un'elevata leptocurtosi, indice di distribuzioni più appuntite, rispetto alle normali (Kline, 2016). Nel complesso, i dati risultano adeguati e statisticamente idonei per procedere con l'analisi fattoriale esplorativa.

Item	Media	SD	Asimmetria		Curtosi	
			Statistica	Errore Standard	Statistica	Errore Standard
1	1.87	0.900	0.675	0.141	-0.537	0.281
2	3.96	0.847	-0.628	0.141	0.260	0.281
3	1.83	0.832	0.615	0.141	-0.557	0.281
4	3.70	0.817	-0.01196	0.141	-0.433	0.281
5	1.53	0.786	1.55	0.141	2.16	0.281
6	1.63	0.838	1.03	0.141	-0.108	0.281
7	1.91	0.925	0.658	0.141	-0.455	0.281
8	3.84	0.897	-0.633	0.141	0.542	0.281
9	3.48	0.863	0.0411	0.141	-0.0523	0.281
10	4.28	0.806	-1.05	0.141	1.10	0.281
11	4.07	0.853	-0.655	0.141	0.106	0.281
12	4.08	0.824	-0.468	0.141	-0.595	0.281
13	3.77	0.909	-0.201	0.141	-0.461	0.281
14	3.73	0.868	-0.00381	0.141	-0.851	0.281
15	3.63	0.985	-0.272	0.141	-0.321	0.281
16	3.10	1.17	-0.0511	0.141	-0.740	0.281
17	3.82	0.845	-0.190	0.141	-0.687	0.281
18	3.63	0.809	0.153	0.141	-0.640	0.281
19	3.85	0.839	-0.156	0.141	-0.767	0.281
20	3.28	0.908	0.0916	0.141	-0.151	0.281
21	3.77	0.908	-0.345	0.141	-0.404	0.281
22	4.10	0.830	-0.500	0.141	-0.603	0.281
23	4.19	0.800	-0.546	0.141	-0.671	0.281
24	4.29	0.749	-0.723	0.141	-0.224	0.281
25	4.16	0.817	-0.555	0.141	-0.598	0.281
26	3.98	0.881	-0.553	0.141	-0.134	0.281
27	3.10	1.05	0.0340	0.141	-0.512	0.281
28	3.31	0.698	-0.0340	0.141	-0.330	0.281
29	3.66	0.887	-0.377	0.141	0.123	0.281
30	3.95	0.853	-0.530	0.141	0.0239	0.281
31	3.77	0.865	-0.248	0.141	-0.459	0.281
32	3.63	0.838	0.0299	0.141	-0.478	0.281
33	3.71	0.821	-0.147	0.141	-0.160	0.281
34	3.18	0.977	-0.188	0.141	-0.196	0.281
35	3.46	0.915	-0.161	0.141	-0.143	0.281
36	3.41	0.965	-0.172	0.141	-0.109	0.281

Tabella 5.12: Statistiche descrittive e indici di asimmetria e curtosi dello strumento AR-TECH (n = 300)

5.4.2 Verifica delle assunzioni

Prima di procedere con l'analisi fattoriale esplorativa (EFA), sono state verificate una serie di assunzioni preliminari, necessarie per garantire l'adeguatezza dei dati.

Considerata la natura ordinale della scala Likert, le correlazioni tra gli item sono state stimate mediante il *coefficiente di Spearman (ρ)*. Tale approccio ha permesso di verificare la presenza di intercorrelazioni sufficienti tra tutti gli item e appurare che i valori di correlazione fossero superiori alla soglia di 0.30, come suggerito dalla letteratura, in modo da confermare la coerenza interna e l'idoneità dei dati per l'analisi fattoriale (Tabachnick & Fidell, 2001). In questo caso, dalla matrice di correlazione ottenuta, emerge un quadro statisticamente significativo nella maggior parte delle relazioni tra gli item della scala, con valori di $p < .001$ e valori del coefficiente che si mantengono entro l'intervallo teorico (compreso tra -1 e +1). Per tale ragione non è stato escluso nessun elemento.

L'esame della matrice di correlazione, inoltre, ha confermato l'assenza di multicollinearità tra gli item. Nessuna correlazione, infatti, ha superato la soglia critica di ±0.90, indicata in letteratura come limite oltre il quale si può ipotizzare la presenza di multicollinearità e ridondanza tra le variabili. Pertanto, si può ritenere che la matrice sia adeguata all'analisi fattoriale esplorativa (Tabachnick & Fidell, 2001).

L'affidabilità complessiva dello strumento è risultata elevata ($\alpha = 0.956$), indicando un'ottima coerenza interna tra gli item (Nunnally & Bernstein, 1994).

La Tabella 5.13 mostra *l'item-rest correlation (r)* per ciascuno dei 36 item presenti nella scala, con valori che vanno da un minimo di 0.183 (item C3) ad un massimo di 0.809 (item A2) e con la maggior parte degli item che si colloca al di sopra della soglia minima di accettabilità di 0.30. Il range riscontrato evidenzia un buon livello di coerenza interna per la maggior parte degli item. L'item C3, che si colloca sotto la soglia critica di 0.30, sebbene non imponga necessariamente la rimozione, tuttavia necessita di un'attenta valutazione durante l'analisi fattoriale esplorativa.

Item	Item-rest correlation (r)
P1. Mi annoio mentre utilizzo un'applicazione in AR *	0.499
P3. Lo studio degli argomenti è più difficile a causa delle applicazioni AR *	0.503
P4. Vorrei utilizzare le applicazioni AR in altri argomenti e moduli	0.534
P5. L'uso delle applicazioni AR in classe è una perdita di tempo *	0.541
P6. Le applicazioni AR rendono difficile il mio apprendimento perché mi confondono la mente *	0.508
P7. Non è necessario utilizzare applicazioni in AR in classe *	0.502
P8. L'AR migliora la mia opinione sul contenuto dell'argomento (visione pratica)	0.491
S1. Mi concentro meglio sull'argomento quando vengono utilizzate le applicazioni AR	0.611
S2. Dimostrazione di oggetti 3D, video e animazioni con le applicazioni AR aumentano la mia curiosità	0.641
S3. Frequento con entusiasmo una lezione in cui vengono utilizzate le applicazioni AR	0.736
S4. Mi piacciono le lezioni in cui vengono utilizzate le applicazioni AR	0.752
S6. L'uso dell'AR mi motiva a lavorare di più	0.762
S7. Mi sento più coinvolto in questo modulo (AR) che se lavorassi in modo più teorico	0.601
S8. In generale, penso che l'uso di AR indichi che l'insegnante è interessato ad insegnare	0.402
AF1. Penso che la generalizzazione di questo tipo di iniziative di AR migliorerebbe significativamente la qualità dell'insegnamento universitario	0.690
AF2. Lavorare con l'AR mi permette di condividere le mie idee, risposte e punti di vista con il mio insegnante e con i miei compagni di classe	0.665
AF3. Questa attività con AR mi fa sviluppare altre capacità cognitive (analisi, sintesi, pensiero critico)	0.724
AF4. L'AR ha cambiato il mio atteggiamento da studente, non solo in questo modulo, ma in generale in tutte le materie	0.655
AF5. L'uso dell'AR mi fa sviluppare altre abilità strumentali (maneggio di strumenti, ricerca di informazioni) nel mio modo di studiare	0.686
A1: Ho un atteggiamento positivo nei confronti dell'uso dell'AR nell'insegnamento	0.797
A2: Credo che sia una buona idea utilizzare la AR nell'insegnamento	0.809
A3: L'uso della AR rende l'insegnamento più interessante	0.740
A4: Ho un atteggiamento generalmente favorevole nei confronti della AR nell'insegnamento	0.801

Item	Item-rest correlation (r)
C1: Posso progettare esperienze educative in AR utilizzando applicazioni e strumenti AR per soddisfare obiettivi educativi specifici	0.700
C2: Sono in grado di sviluppare risorse educative in AR utilizzando modelli di realtà aumentata (AR) e librerie di risorse facili da usare	0.418
C3: Sono in grado di modificare e adattare le risorse didattiche di realtà aumentata ai miei obiettivi didattici	0.183
U1: Posso utilizzare le risorse e gli strumenti educativi in AR impiegando diverse pedagogie e metodi di insegnamento	0.682
U2: Posso utilizzare risorse e strumenti didattici in AR per insegnare (ad esempio per presentare, dimostrare, spiegare contenuti didattici) ai miei studenti	0.697
U3: Posso utilizzare risorse e strumenti didattici in realtà aumentata (AR) (ad es. valutazioni basate su simulazione e/o giochi multimediali e AR) per valutare i progressi degli studenti	0.673
M1 Posso utilizzare motori di ricerca, archivi digitali e database per trovare risorse e strumenti didattici di AR esistenti utilizzando criteri, filtri di metadati e sistemi di raccomandazione appropriati	0.575
M2 Posso valutare le risorse e gli strumenti educativi AR utilizzando criteri appropriati	0.672
M3 Sono in grado di organizzare e programmare le risorse e gli strumenti didattici di AR più appropriati per raggiungere obiettivi educativi specifici	0.351
M4 Posso garantire e controllare l'uso etico e responsabile delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti alle attività educative (ad esempio, rispettando la personalità, la privacy e i diritti dei partecipanti)	0.554
M5 Sono in grado di garantire l'uso sicuro delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti alle attività educative (ad esempio garantendo le risorse, la sicurezza e la salute dei partecipanti)	0.494

* elemento in scala inversa

Tabella 5.13 - Analisi di affidabilità: correlazioni item-totale (r)

5.4.3 Analisi Fattoriale Esplorativa (EFA)

L'analisi fattoriale esplorativa è stata condotta sui 38 item della sezione psicometrica del questionario AR-TECH, corrispondenti all'integrazione delle scale ARAAS (23 item) e TARC (15 item).

L'adeguatezza del campione e la fattorizzabilità della matrice di correlazione sono state verificate preliminarmente mediante l'indice di *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) e il *test di sfericità di Bartlett*. I risultati hanno evidenziato un valore KMO pari a 0.948, ritenuto eccellente secondo gli

standard comunemente accettati in letteratura (Kaiser, 1974) e un test di Sfericità di Bartlett ($\chi^2 = 7383$, gdl = 630, $p < .001$), che ha confermato che le correlazioni tra gli elementi sono sufficienti per avviare l'analisi fattoriale (Barbaranelli, 2003) (Tab. 5.14).

χ^2	gdl	*p*
7383	630	<.001

Tabella 5.14 - Test di Sfericità di Bartlett

L'estrazione dei fattori è stata effettuata mediante il metodo dei minimi quadrati non ponderati (ULS) con rotazione Oblimin, approccio ritenuto adeguato in presenza di dati non normalmente distribuiti e di fattori potenzialmente correlati (Taherdoost, 2014). La rotazione Oblimin è giustificata dal fatto che le dimensioni indagate non sono indipendenti, ma condividono una certa quota di varianza (Costello & Osborne, 2005).

L'identificazione del numero ottimale di fattori è stata guidata dall'analisi parallela e dalla lettura dello *scree plot* (Costello & Osborne, 2005). Come illustrato in Figura 5.8, lo *scree plot* mostra un chiaro punto di flesso dopo il terzo autovalore, suggerendo l'estrazione di tre fattori principali. L'analisi fattoriale, tuttavia, ha rivelato una soluzione più articolata a cinque fattori (Tabella 5.15), sostenuta sia dalla significatività delle saturazioni, che dalla coerenza teorica con i modelli di riferimento (ARAAS e TARC), oltre che dall'elevata percentuale di varianza complessiva.

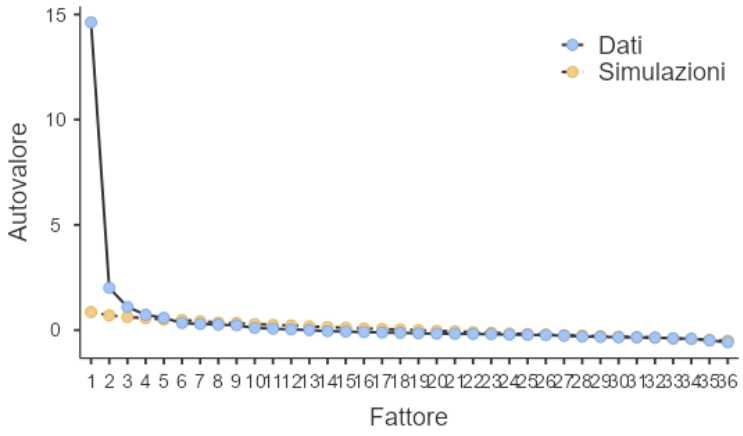


Figura 5.8 - Scree-plot degli autovalori

	Fattore					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Unicità**
P1				0.436		0.658
P3						0.752
P4				0.597		0.547
P5			0.313			0.625
P6				0.838		0.338
P7				0.767		0.416
P8				0.573		0.577
P9						0.732
S1		0.393				0.556
S2		0.727				0.380
S3		0.844				0.181
S4		0.739				0.213
S6		0.472	0.414			0.331
S7		0.423	0.509			0.281
S8			0.580			0.502
S9			0.628			0.649
AF1			0.541			0.388
AF2			0.556			0.428
AF3			0.435			0.408
AF4			0.688			0.377
AF5			0.355			0.489
A1	0.363					0.293
A2	0.331			-0.328		0.246
A3	0.405			-0.320		0.357
A4	0.342					0.276
C1	0.492					0.448
C2	0.411				0.330	0.629
C3						0.939
U1	0.797					0.322

	Fattore					
	1	2	3	4	5	Unicità
U2	0.810					0.304
U3	0.808					0.342
M1	0.687					0.470
M2	0.674					0.383
M3					0.645	0.525
M4					0.757	0.304
M5					0.843	0.248

Nota. Il metodo di estrazione 'Residuo minimo' è stato utilizzato in combinazione con una rotazione 'Oblimin'

Tabella 5.15 - Saturazioni fattoriali Analisi Fattoriale Esplorativa (EFA)

Per testare l'adattamento del modello, sono stati utilizzati alcuni indici di adattamento (Tabella 5.16). L'indice *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) ha restituito un valore pari a 0.0634, che rientra nella soglia ritenuta accettabile per una buona adattabilità del modello. Anche *l'intervallo di confidenza* al 90% (0.0583-0.0689) conferma questa valutazione. L'indice *Tucker-Lewis Index (TLI)* pari a 0.886 si avvicina alla soglia minima di 0.90 considerata accettabile, anche se non la raggiunge pienamente, indicando un adattamento moderato (un buon adattamento è considerato tra 0.90 e 1.00. (Finch, 2020). Infine, il *test chi-quadro* significativo (χ^2 =1016), che indica una discrepanza tra il modello ipotizzato e la matrice di covarianza osservata. Tuttavia, questo indice è sensibile alla numerosità campionaria, per cui è più affidabile tener conto delle misure degli indici RMSEA e TLI.

RMSEA 90% CI					Test del Modello		
RMSEA	Inferiore	Superiore	TLI	BIC	χ^2	gdl	p
0.0634	0.0583	0.0689	0.886	-1607	1016	460	< .001

Tabella 5.16 – Misure di adattamento del modello

5.4.4 Discussione risultati EFA

Sebbene il questionario AR-TECH sia stato originariamente strutturato integrando le dimensioni teoriche delle scale originarie, ARAAS e TARC, l'analisi fattoriale esplorativa (EFA), condotta con uno *split-sample* del *dataset*, ha suggerito una diversa configurazione fattoriale. In particolare, lo *screen plot* suggerisce una soluzione a tre fattori, mentre l'analisi fattoriale ha evidenziato una configurazione a cinque fattori, teoricamente più coerente. Tale risultato evidenzia una potenziale riorganizzazione delle dimensioni latenti, riflettendo una struttura empiricamente più compatta, sebbene parzialmente divergente dall'impostazione teorica originaria. L'interpretazione di questa nuova configurazione richiede un'analisi critica del significato semantico e concettuale delle componenti aggregate, al fine di valutare la coerenza tra costrutto teorico e pattern statistico osservato.

Di seguito è fornita un'analisi dettagliata della nuova configurazione fattoriale emersa.

Fattore 1

Questo fattore include la dimensione *Atteggiamenti* (A1-A4) e Utilizzo (U1-U3), aggiungendo 2 item della dimensione Creazione (C1 e C2) e 2 item della dimensione Gestione (M1 e M2). Ci sono alte saturazioni in riferimento agli item U2= .810, U3 =.808, M2= .0674. Questo fattore può essere interpretato come la competenza integrata tra l'uso operativo degli strumenti in AR e la capacità di creare e progettare e personalizzare risorse educative mediante l'uso della realtà aumentata. La nuova configurazione suggerisce che nel campione analizzato le competenze tecniche e progettuali non sono vissute come separate, ma come abilità integrate.

Fattore 2

Il secondo fattore satura alcuni tra gli item facenti parte della dimensione *Soddisfazione* (S1-S6), i quali mostrano saturazioni elevate e coerenti, indicando una buona convergenza concettuale. Questo fattore rappresenta la dimensione della soddisfazione esperienziale legata all'uso dell'AR, con riferimento ai fattori psicologici e motivazionali che entrano in gioco

quando si fa esperienza con l'AR. Tuttavia, l'item S6 che si riferisce al potere motivazionale dell'AR nel favorire un maggiore impegno, presenta una doppia saturazione, caricando anche sul fattore 3 (loading = .509). Questo aspetto evidenzia una parziale sovrapposizione semantica. Inoltre, altri due item (S7 e S8) si riassettano con il fattore 3, suggerendo che la dimensione della soddisfazione non si configura come un costrutto unitario, ma risulta articolata in sottodimensioni. Ciò è coerente con la letteratura psicometrica, secondo cui le dimensioni motivazionali legate all'uso delle tecnologie didattiche possono strutturarsi in domini parzialmente sovrapposti (Costello & Osborne, 2005).

Fattore 3

Il terzo fattore si compone della dimensione *Affidabilità* (AF1-AF), inglobando inoltre l'item P4 e gli item S5, S6, S7 e S8. All'interno di questo fattore le saturazioni vanno da un minimo di saturazione pari a 0.313 ad un massimo di 0.688. In particolare, accanto agli item legati alla dimensione dell'affidabilità, che riflettono la fiducia riposta nell'utilizzo della tecnologia, in termini di utilità, sviluppo di competenze trasversali, di percezione del valore formativo, si uniscono gli item S5-S8, inerenti alla soddisfazione percepita durante l'uso dell'AR in classe e l'item P4, che rivela la volontà di usare trasversalmente l'AR anche in altri moduli e discipline. Complessivamente questo fattore sintetizza la dimensione più ampia della valutazione riflessiva sull'esperienza in AR, in cui convergono componenti di affidabilità percepita, impatto educativo, coinvolgimento e motivazione.

Fattore 4

Il fattore 4 unisce gli item provenienti da due dimensioni, *Rilevanza* (P1, P3, P5, P6, P7), formulati in scala inversa e 2 item appartenenti alla dimensione *Atteggiamenti* (A2 e A3), espressi in forma positiva. Il più alto valore di saturazione si riscontra nell'item P5 (*L'uso delle applicazioni AR in classe è una perdita di tempo*) con un loading pari a =0.838, mentre A2 (*Credo che sia una buona idea utilizzare la AR nell'insegnamento*) e A3 (*L'uso della AR rende l'insegnamento più interessante*) saturano

negativamente sul fattore (A2 loading = -0.328; A3 loading = -.320). Questa configurazione, tuttavia, è coerente con il significato latente del fattore. Gli item in scala inversa, infatti, riflettono una valutazione negativa, da interpretare in senso inverso rispetto alla scala, mentre A2 e A3 rappresentano percezioni favorevoli. Pertanto, non è da intendere come un'anomalia, bensì come un segnale della presenza di una dimensione latente comune, legata al valore intrinseco percepito e alla predisposizione soggettiva verso l'uso della realtà aumentata.

Fattore 5

Il fattore 5 include gli item M3 M4 e M5, facenti parte della dimensione *Gestione,* che fa riferimento alle competenze di gestione organizzativa, etica e di sicurezza delle risorse in AR. Il valore di saturazione più alto è segnalato nell'item M5 (loading =.843) (*Sono in grado di garantire l'uso sicuro delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti alle attività educative (ad esempio garantendo le risorse, la sicurezza e la salute dei partecipanti)*. Questi valori indicano una coerenza concettuale e statistica del fattore che conferma, in parte, l'originaria dimensione. È interessante notare come l'item C2, mostra una saturazione primaria sul fattore 1 (loading =.411), ma satura anche in questo, con un valore di 0.330, suggerendo una componente multidimensionale dell'item.

L'analisi fattoriale esplorativa (EFA) ha permesso di esplorare la struttura latente del questionario AR-TECH, che, però, è parzialmente differente rispetto alla struttura originaria delle due scale validate utilizzate per la costruzione dello strumento (ARAAS e TARC), composta da sette fattori. L'integrazione tra item provenienti da diverse dimensioni, seppur provenienti dalla stessa scala di origine, in fattori comuni, suggerisce una riorganizzazione dei costrutti psicometrici derivanti dall'esperienza soggettiva del campione. Tale riorganizzazione riflette una strutturazione più funzionale alle percezioni dei partecipanti al fine di ottenere uno strumento solido e replicabile in futuro.

Un'attenzione particolare va rivolta all'item C3 (*Sono in grado di modificare e adattare le risorse didattiche di realtà aumentata ai miei obiettivi didattici*) che ha mostrato evidenti criticità nella fase di analisi fattoriale. Infatti, questo item non ha saturato significativamente con nessun fattore estratto ed è caratterizzato da un valore di unicità estremamente elevato (0.939), manifestando il fatto che la quasi totalità della sua varianza non è condivisa con nessuno dei fattori emersi. Questa anomalia potrebbe essere ricondotta ad una formulazione generica o ambigua dell'item o ad un disallineamento concettuale rispetto al resto del costrutto. In virtù di questi risultati, si prenderà in considerazione la sua esclusione dalla scala, in seguito alla successiva fase di analisi fattoriale confermativa (CFA).

5.5 Analisi Fattoriale Confermativa (CFA)

Sebbene l'EFA condotta sull'intero strumento abbia restituito una soluzione a tre fattori, in linea con quanto suggerito dallo *scree plot*, si è scelto di non adottare tale soluzione per l'analisi confermativa (CFA). La riduzione a tre dimensioni, infatti, avrebbe compromesso la coerenza semantica e concettuale delle scale originarie. Poiché l'obiettivo della presente ricerca è quello di validare il questionario AR-TECH, costruito integrando due scale teoricamente fondate - l'ARAAS (Hervás-Gómez et al., 2017) e il TARC (Nikou et al., 2021) – si è ritenuto metodologicamente opportuno testare anche la struttura teorica originaria a sette fattori, al fine di preservare la coerenza concettuale del costrutto indagato. Pertanto, attraverso un'analisi fattoriale confermativa (CFA), è stata verificata empiricamente l'adeguatezza del modello teorico a sette fattori.

5.5.1 CFA Preliminare (n=400)

L'analisi fattoriale confermativa (CFA) è stata condotta su un sottocampione di 400 partecipanti, ottenuto tramite procedura di *split-sample*, al fine di verificare la bontà di adattamento del modello a sette fattori del questionario AR-TECH.

Per l'analisi sono stati inclusi soltanto gli item che, nella precedente fase esplorativa, hanno mostrato adeguate proprietà psicometriche. Gli item

risultati critici (caratterizzati da saturazioni inferiori alla soglia accettabile o da debole coerenza teorica con la dimensione di appartenenza) sono stati esclusi, in accordo con le raccomandazioni metodologiche presenti in letteratura (Brown, 2015).

Prima di procedere all'analisi, sono state verificate le assunzioni preliminari necessarie per la stima del modello. In particolare, è stata esaminata la normalità delle distribuzioni per ciascuna variabile osservata, mediante il calcolo dei valori di asimmetria e curtosi per ciascuna variabile (Tab. 5.17).

Item	Media	SD	Asimmetria		Curtosi	
			Statistica	Errore Standard	Statistica	Errore Standard
1	1.96	0.942	0.676	0.124	-0.250	0.247
2	2.02	0.790	0.593	0.124	0.640	0.247
3	1.88	0.860	0.741	0.124	0.222	0.247
4	2.34	0.885	0.303	0.124	-0.0725	0.247
5	1.53	0.779	1.46	0.124	-0.124	0.247
6	1.64	0.842	1.24	0.124	1.18	0.247
7	2.04	0.925	0.584	0.124	-0.0616	0.247
8	2.24	0.884	0.472	0.124	0.114	0.247
9	3.53	0.846	-0.0244	0.124	-0.101	0.247
10	4.18	0.814	-0.940	0.124	1.19	0.247
11	4.00	0.829	-0.599	0.124	0.324	0.247
12	4.06	0.804	-0.709	0.124	0.697	0.247
13	3.78	0.854	-0.345	0.124	-0.101	0.247
14	3.72	0.839	-0.264	0.124	-0.0845	0.247
15	3.55	0.973	-0.260	0.124	-0.301	0.247
16	3.12	1.05	-0.213	0.124	-0.336	0.247
17	3.73	0.807	-0.133	0.124	-0.363	0.247
18	3.64	0.841	-0.222	0.124	-0.118	0.247
19	3.72	0.813	-0.179	0.124	-0.183	0.247
20	3.26	0.826	0.0192	0.124	0.222	0.247
21	3.75	0.819	-0.277	0.124	-0.109	0.247
22	4.07	0.808	-0.518	0.124	-0.205	0.247
23	4.14	0.750	-0.498	0.124	-0.0944	0.247
24	4.23	0.738	-0.583	0.124	-0.0940	0.247
25	4.11	0.795	-0.543	0.124	-0.174	0.247
26	3.81	0.917	-0.5959	0.124	0.302	0.247
27	3.04	1.01	0.0366	0.124	-0.263	0.247
28	3.30	0.681	-0.0625	0.124	-0.346	0.247
29	3.42	0.913	-0.303	0.124	0.239	0.247
30	3.82	0.944	-0.648	0.124	0.322	0.247
31	3.61	0.941	-0.431	0.124	0.0803	0.247
32	3.52	0.900	-0243	0.124	0.218	0.247
33	3.57	0.877	-0.361	0.124	0.367	0.247
34	3.18	0.949	-0.0939	0.124	-0.0154	0.247
35	3.33	0.944	-0.257	0.124	0.0889	0.247
36	3.27	0.902	-0.0876	0.124	0.182	0.247

Tabella 5.17 – Statistiche descrittive e indici di asimmetria e curtosi dello strumento AR-TECH (n = 400)

Come si evince dalla Tabella 5.17, i valori di asimmetria e curtosi, nella maggior parte dei casi, si collocano all'interno dell'intervallo accettabile compreso tra -1 e +1. Tuttavia, alcuni item fanno eccezione, in particolare gli item 5 e 6, che hanno un'asimmetria positiva rispettivamente di 1.46 e 1.24, superando lievemente la soglia considerata ottimale. Non sono presenti valori di curtosi che superano la soglia accettabile di ±2. Considerando che tutti i valori si collocano entro i limiti suggeriti dalla letteratura di riferimento, si può concludere che i dati raccolti sono distribuiti normalmente (Kline, 2016).

È stata condotta, inoltre, un'analisi sulle correlazioni inter-item mediante il *Coefficiente di Spearman,* per verificare la coerenza interna delle variabili osservate e la loro adeguatezza alla successiva modellazione fattoriale. Le correlazioni tra gli item si sono attestate su valori compresi tra $r = .35$ e $r = .73$, indicando associazioni da moderate ad elevate. Tali valori suggeriscono una buona coerenza tra gli indicatori, pur in assenza di multicollinearità eccessiva ($r < .85$), condizione favorevole per la stima dei fattori latenti. La presenza di correlazioni positive e significative tra gli item supporta l'ipotesi che questi misurino costrutti teoricamente correlati, giustificando l'impiego di un'analisi fattoriale confermativa.

La Tabella 5.18 mostra le covarianze tra i sette fattori del modello stimato, indicando valori significativi e coerenti con una buona relazione tra le dimensioni latenti. Tutte le covarianze sono statisticamente significative ($p < .001$), a conferma dell'esistenza di una correlazione sistematica tra i fattori. Le stime variano da un minimo di -0.701 (tra Fattore 1 e Fattore 2) a un massimo di 0.961 (tra Fattore 5 e Fattore 6), suggerendo legami di diversa intensità tra le dimensioni considerate. In particolare, si osservano correlazioni molto elevate tra i fattori 5, 6 e 7, con valori superiori a 0.88, indicando una forte interdipendenza concettuale o sovrapposizione tra questi fattori. Al contrario, il Fattore 1 mostra covarianze negative con tutti gli altri fattori, suggerendo che rappresenta una dimensione distinta e potenzialmente opposta rispetto alle altre, probabilmente legata al fatto che gli item sono invertiti. Nel complesso, la struttura fattoriale evidenziata appare coerente e ben definita.

	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3	Fattore 4	Fattore 5	Fattore 6	Fattore 7
Fattore 1	1.000*	-0.701	-0.589	-0.726	-0.460	-0.430	-0.348
SE	–	0.0341	0.0435	0.0311	0.0552	0.0499	0.0525
Z	–	-20.55	-13.53	-23.34	-8.35	-8.60	-6.64
p	–	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
Fattore 2		1.000*	0.771	0.801	0.568	0.558	0.484
SE		–	0.0278	0.0221	0.0472	0.0411	0.0443
Z		–	27.68	36.30	12.03	13.56	10.91
p		–	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
Fattore 3			1.000*	0.787	0.674	0.594	0.589
SE			–	0.0262	0.0445	0.0417	0.0414
Z			–	30.08	15.15	14.23	14.22
p			–	< .001	< .001	< .001	< .001
Fattore 4				1.000*	0.682	0.613	0.539
SE				–	0.0408	0.0376	0.0414
Z				–	16.74	16.27	13.01
p				–	< .001	< .001	< .001
Fattore 5					1.000*	0.961	0.889
SE					–	0.0295	0.0338
Z					–	32.58	26.33
p					–	< .001	< .001
Fattore 6						1.000*	0.913
SE						–	0.0180
Z						–	50.66
p						–	< .001
Fattore 7							1.000*

*parametro fisso

Tabella 5.18 -Covarianze fattoriali

A seguito dell'ispezione delle saturazioni fattoriali, è stato individuato un item con carichi inferiori alla soglia convenzionalmente accettata ($\lambda < 0.30$). Questo item (C3) è stato rimosso in quanto scarsamente rappresentativo del

costrutto latente, secondo le indicazioni presenti in letteratura (Brown, 2015). Dopo questa operazione di *refining*, il modello sarà nuovamente stimato nel paragrafo successivo.

L'analisi dell'adattamento al modello mostra un chi-quadro significativo (χ^2 = 1611, gdl = 573, p < .001), nella norma considerando un campione di grandi dimensioni. Il valore di CFI (*Comparative Fit Index*) è pari a 0.886 e il TLI (*Tucker-Lewis Index*) è di 0.875. In entrambi i casi i valori si avvicinano alla soglia di 0.90, considerata indicativa di livello di adattamento accettabile, sebbene non pienamente ottimale, rispetto ai criteri comunemente suggeriti in letteratura. L'indice SRMR (*Standardized Root Mean Square Residual*) è di 0.0738, valore al di sotto del *cut-off* di 0.08 e, quindi, soddisfacente. Il valore di RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) risulta pari a 0.0684, con un intervallo di confidenza al 90%, compreso tra 0.0645 e 0.0724, che indica un adattamento soddisfacente anche se non eccellente, rientrando nella fascia di un "buon fit" (< 0.08) secondo i criteri accattabili in letteratura (Hu & Bentler, 1999).

χ^2	gdl	p
1611	573	<.001

Tabella 19 – Misure di Adattamento al Modello

In sintesi, i risultati della CFA preliminare sul sottocampione (n=400), indicano un adattamento complessivamente accettabile del modello a sette fattori. Sebbene alcuni indici *fit* risultino leggermente inferiori alle soglie comunemente suggerite in letteratura, l'insieme degli indicatori di adattamento evidenzia una struttura fattoriale coerente con il modello teorico proposto.

Nel paragrafo successivo si procederà con la stima del modello di analisi fattoriale confermativa sull'intero campione (n=700), al fine di testare empiricamente la struttura latente ipotizzata.

5.5.2 CFA Estesa sul Campione Totale (n = 700)

È stata effettuata una CFA estesa sull'intero campione (n=700), con l'obiettivo di consolidare la stabilità e l'adattamento della struttura fattoriale ipotizzata. Questa seconda analisi ha permesso di testare la tenuta empirica del modello su un campione più ampio e di rafforzarne la validità complessiva.

Il modello stimato è stato definito sulla base delle evidenze emerse precedentemente, che avevano già portato all'esclusione di due item (P2 e S5) e ulteriormente raffinato a seguito di un primo tentativo di stima, con la rimozione dell'item C3, in quanto caratterizzato da un carico fattoriale inferiore alla soglia convenzionalmente accettata ($\lambda < .30$). La versione definitiva del modello, pertanto, include complessivamente 35 item, distribuiti nelle sette dimensioni teoriche di riferimento.

In via preliminare, è stata condotta un'analisi descrittiva della distribuzione degli item. I valori di asimmetria e curtosi rientrano all'interno degli intervalli suggeriti dalla letteratura di riferimento (asimmetria compresa tra -1 e +1; curtosi tra -2 e +2). Tali risultati evidenziano una distribuzione sufficientemente normale delle variabili, tali da poter avviare una CFA (Kline, 2016).

La Figura 9 mostra il *path diagram* del modello CFA testato, composto da sette fattori latenti (Ft1-Ft7), ciascuno dei quali è misurato da un insieme di variabili osservate. Come si evince dalla rappresentazione grafica, la struttura riflette il modello teorico ipotizzato, in cui ciascun set di item è associato ad un singolo costrutto.

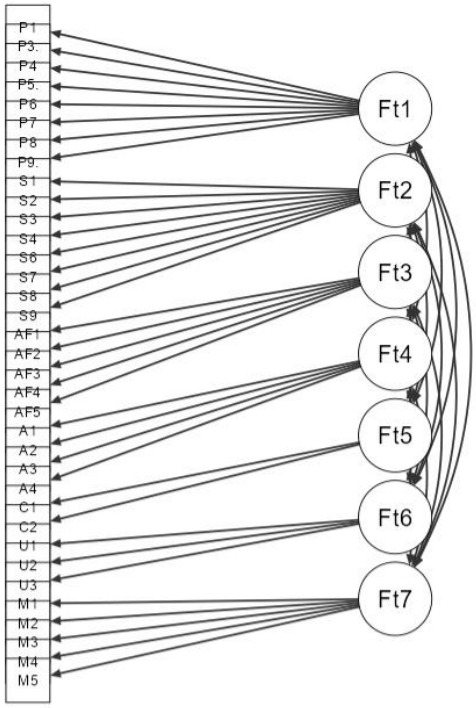


Figura 5.9 – PATH DIAGRAM

La matrice di correlazione inter-item di *Sperman* mostra valori compresi tra r=.409 e r=. 794, indicando delle correlazioni da moderate a elevate tra gli item e suggerendo una buona coerenza interna tra le variabili osservate (Tabachnick & Fidell, 2007). In sintesi, la matrice di correlazione supporta la validità interna dello strumento e conferma la pertinenza degli item nella misurazione del costrutto, in assenza di segnali di multicollinearità eccessiva.

Per quanto riguarda le covarianze fattoriali, tra i sette fattori latenti del modello, sono tutte statisticamente significative (p < .001), confermando la presenza di relazioni sistematiche e coerenti tra le dimensioni teoriche analizzate. Nel dettaglio, le covarianze variano da un minimo di -0.748 (tra fattore 1 e fattore 4) ad un massimo di 0.970 (tra Fattore 5 e Fattore 6), indicando relazioni di intensità differenziata tra i fattori.

L'analisi dell'adattamento del modello mostra un chi-quadro significativo (χ^2 = 1338, gdl = 356, p < .001), risultato atteso considerando la sensibilità di questo test alla dimensione campionaria.

Il valore del CFI (*Comparative Fit Index*) è pari a 0.922 e il TLI (*Tucker-Lewis Index*) a 0.911, entrambi superiori alla soglia comunemente accettata di 0.90, suggerendo un buon adattamento complessivo del modello ai dati. L'indice SRMR (*Standardized Root Mean Square Residual*) è pari a 0.0628, ben al di sotto del limite massimo di 0.08, indicando che le discrepanze tra matrice osservata e stimata sono contenute. Il RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) è 0.0634, con un intervallo di confidenza al 90% compreso tra 0.0598 e 0.0671, valori che rientrano nella soglia interpretata come "buon fit" (< 0.08) e, in alcuni casi, "fit accettabile" se < 0.06 è considerata come eccellenza (Hu & Bentler, 1999).

La struttura fattoriale complessiva appare ben definita e coerente con il modello teorico ipotizzato. Tuttavia, si evidenziano aree di forte correlazione tra fattori, suggerendo la possibilità di una futura semplificazione o ristrutturazione del modello.

Nonostante ciò, il modello presenta un buon livello di adattamento, con indici *fit* che superano i criteri minimi suggeriti in letteratura. Tali risultati rafforzano l'adeguatezza della struttura fattoriale ipotizzata, validandone l'impiego sul campione esteso.

5.6 Riflessioni Conclusive

L'analisi fattoriale esplorativa (EFA) ha restituito un modello sintetico ed efficiente, articolato su tre fattori principali. Tuttavia, in coerenza con gli obiettivi della presente ricerca e con la volontà di mantenere la struttura teorica originaria del costrutto indagato, si è deciso di procedere con l'analisi fattoriale confermativa (CFA) basata sul modello a sette fattori, come proposto nel disegno iniziale dello strumento. Questa scelta metodologica risponde all'esigenza di conservare la coerenza concettuale e teorica con la letteratura di riferimento e con la struttura preesistente dello strumento, già validato in altri contesti. I risultati della CFA indicano un livello accettabile di adattamento del modello ai dati empirici, anche se è stato necessario procedere con alcune eliminazioni di item, giustificate da considerazioni sia statistiche che teoriche.

Parallelamente, il modello semplificato a tre fattori, emerso dall'EFA, si configura come uno strumento alternativo valido e promettente. Esso presenta una buona consistenza interna, chiarezza strutturale e risulta particolarmente utile in contesti in cui si rende necessaria una somministrazione rapida e funzionale. Ai fini della presente ricerca, tuttavia, si è preferito mantenere e validare la struttura originaria a sette fattori, la quale ha mostrato una tenuta complessiva soddisfacente in sede di analisi confermativa.

È opportuno segnalare, inoltre, alcune limitazioni emerse dovute principalmente alla natura non probabilistica del campione e geograficamente circoscritta ad una singola regione italiana, cosa che limita la generalizzabilità dei dati. Inoltre, essendo uno strumento di autovalutazione, per sua natura, è esposto a bias cognitivi e soggettivi. Infine, lo studio ha rilevato i dati in due soli momenti temporali, senza un follow-up longitudinale che possa verificare l'andamento nel tempo.

Dal punto di vista applicativo, l'AR-TECH si configura come uno strumento di supporto ai processi di professionalizzazione, in grado di orientare la progettazione e l'implementazione di percorsi di formazione per lo sviluppo di competenze tecniche e didattiche per un'implementazione efficace delle tecnologie immersive.

Il questionario non ambisce ad esaurire l'intero spettro delle variabili coinvolte nell'uso dell'AR, trattandosi di una tecnologia innovativa e in constante evoluzione. Tuttavia, si propone come uno strumento valido per indagare aspetti chiave ritenuti centrali nei percorsi di formazione.

Riferimenti Bibliografici

AlSuwaihe, O. E. (2024). Predicting Quality of English Language Teaching through Augmented Reality Competencies and TPACK Model Components among Kuwaiti Undergraduates. *Contemporary Educational Technology*.

Asiri, M. M. (2022). Employing technology acceptance model to assess the reality of using augmented reality applications in teaching from teachers' point of view in Najran. *Journal of Positive School Psychology*, *6*(2), 5241–5255.

Barbaranelli, C. (2003). *Analisi dei dati*. Milano: LED.

Belda-Medina, J., & Calvo-Ferrer, J. R. (2022). Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework. *Education and Information Technologies*, *27*(9), 12123-12146.

Brown, T. A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research*. Guilford publications.

Cabero-Almenara, J., & Roig-Vila, R. (2019). The motivation of technological scenarios in augmented reality (AR): Results of different experiments. *Applied Sciences*, *9*(14), 2907.

Campos-Mesa, M. C., Castañeda-Vázquez, C., DelCastillo-Andrés, Ó., & González-Campos, G. (2022). Augmented reality and the flipped classroom—a comparative analysis of university student motivation in semi-presence-based education due to COVID-19: A pilot study. *Sustainability*, *14*(4), 2319.

Choudhury, S., & Dutta, I. (2024). Mapping Educators' Knowledge, Perceptions, and Readiness (KPR) towards the Adoption of Extended Reality (XR) Technologies in the Classroom (KPR-XR): Scale Development and Validation. *Int. J. Exp. Res. Rev*, *45*, 313-327.

Costello, A. B., & Osborne, J. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical assessment, research, and evaluation*, *10*(1).

Cruz, N. M., Pérez, V. M., & Cantero, C. T. (2009). Influencia de la motivación intrínseca y extrínseca sobre la transmisión de conocimiento. El caso de una organización sin fines de lucro. CIRIEC-España, *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, *66*, 187–211.

Davis, F. D. (1989). Technology acceptance model: TAM. *Al-Suqri, MN, Al-Aufi, AS: Information Seeking Behavior and Technology Adoption*, *205*(219), 5.

Ercolani, A.P., & Perugini, M. (1997). La misura in psicologia: Introduzione ai test psicologici. Milano: LED.

Finch, W. H. (2020). Using fit statistic differences to determine the optimal number of factors to retain in an exploratory factor analysis. *Educational and psychological measurement*, *80*(2), 217-241.

García, I. (2020). *Estrategias didácticas motivadoras para la mejora de la visión espacial* [Master's Thesis, Univarsidad Católica del Murcia].

George, D. (2011). *SPSS for windows step by step: A simple study guide and reference*, 17.0 update, 10/e. Pearson Education India.

Hervás-Gómez, C., Toledo-Morales, P., & Díaz-Noguera, M. D. (2017). Augmented reality applications attitude scale (ARAAS): Diagnosing the attitudes of future teachers. *The New Educational Review*, *50*, 215-226.

Holmbeck, G. N., & Devine, K. A. (2009). An author's checklist for measure development and validation manuscripts. *Journal of pediatric psychology*, *34*(7), 691-696.

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, *6*(1), 1-55.

Hung, C. Y., Lin, Y. T., Yu, S. J., & Sun, J. C. Y. (2023). Effects of AR-and VR-based wearables in teaching English: The application of an ARCS model-based learning design to improve elementary school students' learning motivation and performance. *Journal of Computer Assisted Learning*.

Ibili, E., Resnyansky, D., & Billinghurst, M. (2019). Applying the technology acceptance model to understand maths teachers' perceptions towards an augmented reality tutoring system. *Education and Information Technologies*, *24*(5), 2653-2675.

Jang, J., Ko, Y., Shin, W. S., & Han, I. (2021). Augmented reality and virtual reality for learning: An examination using an extended technology acceptance model. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*,9, 6798–6809.

Januszewski, A., & Molenda, M. (Eds.). (2013). *Educational technology: A definition with commentary*. Routledge.

Kamarainen, A. M., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., Tutwiler, M. S., & Dede, C. (2013). EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers & Education*, *68*, 545-556.

Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer Science & Business Media.

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). New York: Guilford Press.

Koutromanos, G., Mikropoulos, A. T., Mavridis, D., & Christogiannis, C. (2024). The mobile augmented reality acceptance model for teachers and future teachers. *Education and Information Technologies*, *29*(7), 7855-7893.

Küçük, S., Yılmaz, R., Baydaş, Ö., & Göktaş, Y. (2014). Augmented reality applications attitude scale in secondary schools: Validity and reliability study. *Education and Science*, *39*(176).

Laurens-Arredondo, L. (2022). Mobile augmented reality adapted to the ARCS model of motivation: a case study during the COVID-19 pandemic. *Education and Information Technologies*, *27*(6), 7927-7946.

Li, K., & Moore, D. R. (2018). Motivating students in massive open online courses (MOOCs) using the attention, relevance, confidence, satisfaction (ARCS) model. *Journal of Formative Design in Learning*, *2*(2), 102-113.

Lorenzo-Seva, U. (2022). SOLOMON: A method for splitting a sample into equivalent subsamples in factor analysis. *Behavior research methods*, *54*(6), 2665-2677.

Marín-Marín, J. A., López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., & Moreno-Guerrero, A. J. (2023). Attitudes towards the development of good practices with augmented reality in secondary education teachers in Spain. *Technology, Knowledge and Learning*, *28*(4), 1443-1459.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, *108*(6), 1017-1054.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2021). Towards a teachers' augmented reality competencies (TARC) framework. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning* (pp. 203-212). Cham: Springer International Publishing.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024a). Development and validation of the teachers' augmented reality competences (TARC) scale. *Journal of Computers in Education*, *11*(4), 1041-1060.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024b). Exploiting the TARC framework: The relations between educators' attitudes towards AR, innovativeness, digital skills, and AR skills in education. In *International Conference on Immersive Learning* (pp. 130-141). Cham: Springer Nature Switzerland.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2025). Exploring teachers' competences to integrate augmented reality in education: Results from an international study. *TechTrends*, *68*(6), 1208-1221.

Nunnally, J.C., & Bernstein, I.H. (1994). Psychometric theory. New York, NY: McGraw-Hill.

Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*.

Ripsam, M., & Nerdel, C. (2024, January). Teachers' attitudes and self-efficacy toward augmented reality in chemistry education. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1293571). Frontiers Media SA.

Salmee, M. S. A. B., & Abd Majid, F. (2022). A Study on In-Service English Teachers' Perceptions towards the Use of Augmented Reality (AR) in ESL Classroom: Implications for TESL Programme in Higher Education Institutions. *Asian Journal of University Education*, *18*(2), 499-509.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Experimental designs using ANOVA* (Vol. 724). Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole.

Taherdoost, H. A. M. E. D., Sahibuddin, S. H. A. M. S. U. L., & Jalaliyoon, N. E. D. A. (2014). Exploratory factor analysis; concepts and theory. *Advances in applied and pure mathematics*, *27*, 375-382.

Capitolo VI

Teach in AR: Progettazione e sperimentazione di un percorso formativo per futuri insegnanti

Introduzione

L'integrazione delle tecnologie in ambito didattico è strettamente legata alla capacità e alla volontà degli insegnanti di adeguarsi alle innovazioni educative del XXI secolo e al livello di autoefficacia percepito. Numerosi studi hanno posto in evidenza il fatto che le convinzioni degli insegnanti, rispetto alla propria capacità di integrare efficacemente la tecnologia, rappresenti un fattore determinante per l'effettivo impiego in classe (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich, 2010). La letteratura mostra, peraltro, come il raggiungimento di un'integrazione tecnologica realmente significativa rimanga una delle sfide più complesse che gli insegnanti devono affrontare.

In questo contesto, la realtà aumentata si configura come una risorsa educativa dal grande potenziale, in quanto consente agli alunni di interagire con concetti difficilmente accessibili nella realtà quotidiana, offrendo loro la possibilità di esplorare il mondo circostante e confrontarsi con le problematiche realistiche all'interno di contesti familiari (Klopfer e Sheldon, 2010).

Sebbene l'AR abbia portato diversi miglioramenti nei processi di insegnamento e apprendimento, sia in termini di comprensione concettuale che in termini di aumento del coinvolgimento e di risultati di apprendimento (Huang, 2019; Garzón et al., 2019), analizzare e comprendere gli atteggiamenti e le percezioni degli insegnanti rispetto alla sua integrazione nei contesti educativi è fondamentale.

La letteratura di riferimento mostra una tendenza ormai consolidata, ovvero che gli insegnanti in servizio e in formazione, manifestano un atteggiamento generalmente positivo nei confronti del potenziale della realtà aumentata nell'arricchire l'esperienza didattica (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022; Nikou et al., 2025). Tuttavia, è bene sottolineare che l'entusiasmo iniziale non si traduce sempre in un'effettiva competenza d'uso e in una predisposizione nell'integrazione concreta nel contesto scolastico.

Questa ricerca si inserisce in questo dibattito, offrendo una lettura articolata delle percezioni e dei cambiamenti generati in seguito all'implementazione del percorso formativo, *Teach in AR*, appositamente strutturato sull'uso didattico dell'AR.

Diversi studi hanno preso come riferimento il modello *Technology Acceptance Model* (TAM) per spiegare le variabili che influenzano l'adozione dell'AR da parte degli insegnanti nel campo educativo, evidenziando tra i fattori principali l'utilità percepita, la facilità d'uso e l'intenzionalità (Nikou et al., 2024a).

In parallelo, altri studi hanno adottato il modello *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) per analizzare il rapporto tra competenze tecnologiche, pedagogiche e disciplinari e come queste concorrano a definire il grado di accettazione delle tecnologie immersive (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022).

Il presente studio ha preso in riferimento un modello specificatamente sviluppato e validato per misurare le competenze legate all'uso della realtà aumentata, ovvero il *Teachers' Augmented Reality Competencies* (TARC), framework proposto da Nikou e colleghi (2021). A differenza di altri approcci che indagano la propensione generica verso l'AR, il TARC consente di esplorare in maniera puntuale le diverse dimensioni specifiche di competenza verso l'AR, offrendo in tal modo una prospettiva più mirata e coerente con l'obiettivo di comprendere non solo gli atteggiamenti e l'accettazione dell'AR, ma anche le reali capacità di integrare questa tecnologia nel processo didattico. Nikou e colleghi (2021; 2024b) non si riferiscono mai esplicitamente al concetto teorico di autoefficacia, pertanto, anche in questa ricerca si è preferito parlare di percezione di capacità o di fiducia operativa nell'integrazione dell'AR, in linea con la definizione di Bandura (1997).

L'intervento formativo qui presentato nasce dalla necessità di strutturare percorsi adeguati a formare gli insegnanti all'uso della realtà aumentata (AR) nei contesti educativi.

A partire dalla riflessione teorica condotta nei capitoli precedenti e dai risultati emersi dalle indagini esplorative condotte precedentemente[13], è stato possibile individuare alcuni bisogni formativi ricorrenti che partono da un generale predisposizione positiva nei confronti dell'AR, accompagnata, tuttavia, da una limitata consapevolezza del suo valore didattico, nonché delle modalità di integrazione all'interno di una progettazione didattica coerente. Tali evidenze hanno guidato la progettazione dell'intervento formativo *Teach in AR (Teach in Augmented Reality)*.

La progettazione del framework *Teach in AR* è stata ispirata al modello ADDIE *(Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)*, che ha guidato tutte le fasi della progettazione. Sono stati selezionati alcuni strumenti tecnologici, tra cui software per la modellazione tridimensionale e applicazioni in AR fruibili tramite dispositivi mobili. Un aspetto fondamentale nella scelta di questi strumenti è stata l'attenzione all'accessibilità e all'usabilità, al fine di garantire la replicabilità delle esperienze anche nei contesti scolastici ordinari.

[13] In particolare, l'indagine più ampia ha coinvolto un campione di 563 corsisti iscritti all'VIII ciclo del TFA Sostegno dell'Università degli Studi di Palermo (a.a. 2023/2024). Lo studio ha evidenziato un certo interesse e disponibilità verso l'AR ma, anche, la presenza di difficoltà operative e di timori legati alla gestione della complessità tecnologica (Leone, 2024).

Elemento centrale dell'intervento è stata la realizzazione di un prodotto autentico, ovvero un libro illustrato e aumentato, destinato ad alunni della scuola primaria. Tale artefatto digitale ha rappresentato una sintesi significativa delle competenze acquisite dai futuri insegnanti. Il libro integra la strategia didattica del *digital storytelling*, coerente con i bisogni cognitivi ed emotivi degli alunni di scuola primaria. Attraverso percorsi narrativi e interattivi, i futuri insegnanti hanno progettato esperienze di apprendimento significative, orientate all'acquisizione di concetti teorici complessi o astratti. L'integrazione della realtà aumentata di tipo *marker-based* ha arricchito le pagine del libro illustrato con elementi tridimensionali aumentati e coinvolgenti, supportati da ulteriori attività didattiche progettate tramite l'uso di piattaforme digitali e interattive. Il risultato finale è un esempio concreto di progettazione didattica articolata, coerente e replicabile.

In questa prospettiva, il framework *Teach in AR* si configura come una proposta di formazione che accompagna i futuri insegnanti attraverso un percorso strutturato e coerente, fondato sui principi dell'*Instructional Design* (ID) e supportato da metodologie didattiche innovative che, partendo dalla comprensione teorica della realtà aumentata, conduce alla sua applicazione pratica e consapevole nella progettazione didattica. Il percorso si fonda su una pedagogia orientata all'azione, volta a sviluppare nei futuri insegnanti una piena consapevolezza sull'uso della realtà aumentata nei contesti educativi.

Il percorso è stato sperimentato con gli studenti del Corso di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Palermo. L'obiettivo è stato quello di integrare le competenze pedagogiche, didattiche e digitali, al fine di promuovere la capacità di progettare attività educative che prevedano l'impiego dell'AR in modo intenzionale e metodologicamente fondato. La formazione, dunque, mira a superare l'uso strumentale o episodico della tecnologia, promuovendo, invece, un approccio critico e consapevole.

Nella prima parte del capitolo viene descritta la struttura dell'intervento, con riferimento al campione coinvolto e all'organizzazione, sia temporale che contenutistica, del percorso.

Nei paragrafi successivi sono presentati i risultati dell'analisi dei dati raccolti attraverso le rubriche di valutazione e i *focus group*.

La somministrazione, pre e post intervento, del questionario AR-TECH, finalizzata a valutare l'efficacia della proposta formativa, sarà presentata nel prossimo capitolo.

6.1 *Teach in AR*: un modello integrato per la formazione dei futuri insegnanti all'uso della realtà aumentata

La progettazione del framework *Teach in AR* si fonda su un approccio sistematico di *Instructional Design* (ID), basato sull'adozione del modello ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*).

Questo modello permette di strutturare percorsi formativi in modo progressivo e adattati in base alle esigenze educative specifiche (Molenda, 2015; Abuhassna et al., 2024).

Nel presente intervento, il modello ADDIE ha fornito l'impianto metodologico di riferimento per la strutturazione dell'intervento formativo. L'intero processo è stato articolato in modo sistematico, a partire da un'analisi accurata dei bisogni formativi, seguita dalla progettazione centrata sugli obiettivi, dallo sviluppo coerente dei contenuti, fino all'implementazione del percorso e alla valutazione conclusiva dell'efficacia formativa (Abuhassna et al., 2024).

In parallelo, il framework utilizza come riferimento teorico generale il modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*), che fornisce una chiave interpretativa per comprendere l'interazione tra tecnologia, pedagogia e contenuti disciplinari nella pratica didattica (Mishra & Koehler, 2006).

Alla luce della crescente diffusione della realtà aumentata nei contesti educativi, si è resa necessaria una riflessione approfondita sulle competenze specifiche che gli insegnanti devono possedere affinché venga integrata in modo efficace in classe. A tal fine, il modello *Teachers' Augmented Reality Competence* (TARC), proposto da Nikou et al. (2021), si caratterizza per essere un framework innovativo, specificatamente dedicato alle competenze che gli insegnanti devono sviluppare per integrare la realtà aumentata nei contesti educativi.

Il TARC si focalizza sulle abilità tecniche, pedagogiche, didattiche e cognitive necessarie per utilizzare e integrare l'AR in maniera efficace. L'integrazione tra TPACK e TARC ha consentito la progettazione del framework *Teach in AR*, per supportare i futuri insegnanti nello sviluppo delle competenze specifiche per l'uso della realtà aumentata.

La fase iniziale del modello ADDIE – *Analysis* - è stata avviata attraverso alcune indagini esplorative, condotte in differenti contesti formativi e rivolte sia a futuri insegnanti di Scienze della Formazione che a corsisti del TFA, presso l'Università degli Studi di Palermo, nel periodo temporale compreso tra il 2023/2024. Tali indagini hanno rappresentato un passaggio fondamentale per la comprensione delle percezioni, degli atteggiamenti e dei bisogni formativi rispetto all'uso dell'AR, in modo da progettare un intervento coerente con le reali esigenze emerse dal contesto (Leone, 2024).

Nel dettaglio, è emersa una generale predisposizione positiva nei confronti della tecnologia immersiva presentata, accompagnata, tuttavia, da una limitata consapevolezza del suo valore didattico, nonché da una scarsa conoscenza delle modalità di integrazione nella progettazione didattica. Infatti, pur percependo i potenziali benefici educativi, l'AR è stata spesso percepita come uno strumento da utilizzare in maniera episodica o accessoria, priva di un adeguato ancoraggio metodologico. Ciò evidenzia il rischio che la tecnologia venga impiegata come un semplice elemento di attrazione o di novità all'interno della lezione, senza essere inserita in una

cornice progettuale che ne valorizzi le finalità educative e l'allineamento con gli obiettivi di apprendimento. Allo stesso tempo, le attività proposte hanno mostrato come l'esperienza diretta con l'AR favorisca un cambiamento nella percezione, tanto da incrementare la fiducia nel suo impiego.

Nelle fasi successive di *Design* e *Development* è stata strutturata l'architettura del percorso formativo. In particolare, sono stati definiti gli obiettivi, selezionati i contenuti didattici e individuate le risorse per l'intervento. Il materiale ha incluso tutorial, guide, template per la progettazione didattica in AR e strumenti di progettazione e fruizione in realtà aumentata.

La fase di *Implementation* ha previsto l'erogazione del percorso in modalità laboratoriale, articolata in quattro moduli didattici, comprendenti sia una parte teorica e riflessiva che una parte pratico-operativa.

Infine, l'ultima fase, *Evaluation* ha permesso di misurare l'impatto dell'intervento formativo. È stato adottato un disegno valutativo pre e post-formazione che ha permesso di analizzare l'impatto del percorso in termini di evoluzione delle competenze tecniche e didattiche, delle percezioni rispetto all'uso della tecnologia innovativa e della fiducia nelle proprie capacità operative per integrare della realtà aumentata, mediante la somministrazione del questionario *AR-TECH* (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)*. Sono state, inoltre, raccolte evidenze qualitative attraverso l'integrazione con *focus group*, rubriche di *peer evaluation* e valutazione dei prodotti finali, ovvero dei libri illustrati e aumentati. Questa triangolazione ha permesso di indagare a fondo le percezioni soggettive, le difficoltà riscontrate e la capacità di applicazione pratica delle conoscenze acquisite.

6.2 Implementazione del framework Teach in AR nel CdLM in Scienze della Formazione Primaria

L'intervento, sviluppatosi secondo una logica laboratoriale, si ispira ai principi del *Learning by Design* e integra metodologie didattiche attive al fine di promuovere lo sviluppo congiunto di competenze didattiche, progettuali e tecnico-operative relative all'uso della realtà aumentata (AR). Attraverso attività concrete di sperimentazione ed esplorazione, i futuri insegnanti sono stati guidati nella progettazione e realizzazione di esperienze didattiche aumentate, favorendo il passaggio da semplici fruitori della tecnologia a progettisti consapevoli.

6.3 Campione e struttura temporale dell'intervento

L'intervento formativo ha coinvolto un totale di 400 studenti, futuri insegnanti, frequentanti il *Laboratorio di Tecnologie Didattiche per la Scuola dell'Infanzia e Primaria*, del CdLM di Scienze della Formazione Primaria, presso l'Università degli Studi di Palermo, nell'anno accademico 2024/2025.

Il campione è composto prevalentemente da genere femminile (96%), con un'età media pari a 22.2 anni (SD= 4.68). La quasi totalità dei

partecipanti (98.9%) risulta iscritta al secondo anno del Corso di Laurea Magistrale.

Il percorso formativo ha avuto una durata complessiva di 28 ore, suddivise in sette incontri da quattro ore ciascuno, organizzati in modalità laboratoriale.

6.4 Descrizione dei moduli formativi

L'obiettivo dell'intervento formativo è quello di preparare futuri insegnanti in grado di integrare la realtà aumentata nella didattica della scuola primaria, in modo critico, consapevole e metodologicamente coerente. L'intento non è limitato allo sviluppo di competenze tecniche per l'utilizzo di strumenti innovativi, ma mira alla costruzione di solide competenze pedagogiche e didattiche, funzionali ad un'integrazione dell'AR allineata al curricolo scolastico e rispondente ai bisogni formativi degli alunni.

Affinché una nuova tecnologia possa essere introdotta efficacemente nel contesto educativo, è necessario adottare un approccio orientato alla pratica. Ciò diviene particolarmente utile quando si opera con insegnanti in formazione, i quali stanno ancora strutturando le proprie rappresentazioni e percezioni riguardo la loro identità professionale. L'esperienza diretta con la tecnologia, attraverso attività pratiche, permette di acquisire maggiore familiarità e sicurezza, facilitando al contempo la costruzione di legami significativi tra le potenzialità degli strumenti digitali e gli obiettivi educativi (Kim & Curry, 2024).

La progettazione delle attività ha previsto:

- L'uso di applicazioni educative in AR e la realizzazione finale di un libro illustrato e aumentato;
- La progettazione di contenuti didattici innovativi, volti a promuovere un apprendimento significativo, esperienziale e accessibile;
- L'adozione di metodologie didattiche attive, ritenute efficaci per promuovere la motivazione, il coinvolgimento e lo sviluppo di competenze trasversali nei futuri insegnanti. In particolare, il percorso ha integrato approcci quali il *Learning by Doing*, la *Gamification*, il *Problem Based Learning*, il *Collaborative Learning*.

La progettazione dei moduli è avvenuta in seguito ad un lavoro di revisione sistematica della letteratura nazionale e internazionale, tesa ad esplorare i modelli di formazione esistenti e le pratiche già in uso. Tuttavia, sebbene le ricerche sul tema siano in continua evoluzione, è emersa una scarsa documentazione relativa ai percorsi di formazione strutturati rivolti agli insegnanti in formazione per l'uso didattico della realtà aumentata. Queste lacune hanno evidenziato la necessità di progettare un intervento fondato su una pedagogia orientata all'azione, capace di promuovere un apprendimento attivo, l'autonomia progettuale e lo sviluppo di competenze chiave necessarie. Per tale ragione, la finalità principale dell'intervento è quella di guidare i futuri insegnanti in un percorso di transizione, che li porti

da fruitori passivi di contenuti in realtà aumentata a progettisti consapevoli di esperienze didattiche aumentate.

Nella tabella 6.1 è riportata la struttura dell'intervento, articolata in moduli progressivi.

Laboratorio *Teach in AR*				
MODULO	**FASI**	**ATTIVITA'**	**OBIETTIVI**	**TOOLS**
Primo modulo	Introduzione alla tematica del corso	Questionario iniziale	Misurare il livello di conoscenze pregresse sulla realtà aumentata, il grado di accettazione della tecnologia immersiva e le percezioni dei futuri insegnanti rispetto alle proprie competenze tecnologiche e didattiche in relazione all'uso dell'AR;	Questionario AR-TECH (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School) (La Marca & Leone, 2024), somministrato mediante l'applicativo Google Moduli
		Introduzione teorica sul tema della realtà aumentata	Definire i fondamenti della realtà aumentata, le componenti tecniche, le caratteristiche, i contesti educativi di applicazione, l'impatto sull'apprendimento, le differenze con altre forme di apprendimento immersivo, i vantaggi educativi e le caratteristiche dell'apprendimento aumentato;	
	La realtà aumentata nella prassi didattica	Presentazione interattiva della realtà aumentata mediante analisi di *case studies* e la visione di video esplicativi	Mostrare esempi concreti circa l'uso didattico della realtà aumentata, al fine di comprenderne l'utilità e l'efficacia didattica;	YouTube, siti referenziati e articoli scientifici
		Dimostrazione pratica dell'uso dell'AR mediante visore (da remoto)	Sperimentare l'uso pratico della realtà aumentata attraverso l'impiego di visori e software per la partecipazione condivisa e l'interattività	Visori Magic Leap Hub 3 e app per connessione remota
	Approcci pedagogici e metodologici efficaci per	Introduzione ai principali approcci	Analizzare gli approcci metodologici presenti in letteratura sull'uso della realtà aumentata nella	Web, letteratura scientifica di riferimento

	l'integrazione dell'AR nella prassi didattica	presenti in letteratura	didattica, identificando i modelli pedagogici più efficaci per la scuola primaria	
Secondo Modulo	Strumenti per implementare l'AR in classe	Presentazione e utilizzo guidato di applicazioni AR educative e software per la creazione di contenuti	Sviluppare competenze di alfabetizzazione digitale legate all'implementazione dell'AR	App di realtà aumentata: *Arloopa, Quiver, Solidos AR, Ars Book*
		Simulazione di una lezione in AR	Progettare e simulare una lezione utilizzando la realtà aumentata, sotto la supervisione dell'esperto	Software per la creazione di oggetti in AR: *TinkerCad, Merge Edu, Paint 3D*
		Raccolta e creazione di un repository di risorse in realtà aumentata	Creare uno spazio condiviso per la raccolta di materiali didattici e risorse per AR, applicabili e trasferibili nei diversi ambiti disciplinari	Google Drive
Terzo Modulo	Creazione di materiale didattico in AR e progettazione di lezioni	Laboratorio creativo: divisione della classe in gruppi e progettazione di materiali didattici aumentati, l'uso di app in AR, con la realizzazione finale di un libro illustrato e aumentato	Sperimentare l'uso di applicazioni e strumenti di realtà aumentata al fine di creare materiali didattici innovativi, per tradurre le conoscenze acquisite nei moduli precedenti in risorse pratiche per l'insegnamento	*Microsoft Teams*; Applicazioni in AR; strumenti digitali di storytelling
		Progettazione di attività didattiche in AR, basate sui contenuti disciplinari del curriculum della scuola primaria	Sviluppare e progettare attività didattiche integrate con l'AR, mirate all'insegnamento di una disciplina specifica del curriculum della scuola primaria, in coerenza con le metodologie attive e le finalità didattiche del percorso formativo	*Canva*
	Peer assessment delle lezioni progettate in AR	Valutazione tra pari delle attività didattiche progettate	Valutare tra pari la progettazione di esperienze didattiche in AR mediante l'utilizzo di una scala validata e una rubrica di osservazione	Rubrica di Valutazione EVAR (*Evaluating Augmented Reality in Education)* (Henne et al.,

				2024); Rubrica C.S.P.-RA (*Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata*) (La Marca & Leone)
Quarto Modulo		Raccolta di feedback sugli scenari didattici in AR creati dagli studenti;	Riflettere sull'esperienza di progettazione di scenari didattici in AR, mediante la raccolta e l'analisi di feedback, al fine di migliorare l'efficacia percepita	*Focus Group*
		Questionario post-test per confrontare i dati iniziali e finali sulle percezioni e sulle competenze acquisite	Valutare il cambiamento delle percezioni e delle competenze tecno-pedagogiche acquisite dai futuri insegnanti	Questionario AR-TECH (La Marca & Leone) somministrato mediante Google Moduli

Tabella 6.1 – Struttura dell'intervento formativo

6.4.1 Primo modulo – Introduzione alla realtà aumentata per la didattica nella scuola primaria

Il percorso di formazione è stato avviato con la somministrazione del questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School*) (La Marca & Leone, 2024), finalizzato a rilevare le conoscenze pregresse degli studenti sulla realtà aumentata, le percezioni rispetto alla tecnologia immersiva e il livello di fiducia percepito rispetto alle proprie competenze tecno-pedagogiche in relazione all'uso dell'AR.

Dopo la somministrazione del questionario, è stata proposta un'introduzione teorica alla realtà aumentata, volta a delineare l'evoluzione, le caratteristiche distintive, le differenze rispetto ad altre tecnologie immersive e i principali ambiti di applicazione nel contesto educativo. Sono stati approfonditi i benefici dell'AR nei processi di insegnamento-apprendimento, evidenziandone il ruolo nel favorire la motivazione, il coinvolgimento attivo e la partecipazione degli studenti, nonché nel sostenere il miglioramento dei risultati scolastici.

È stata, inoltre, fornita una panoramica sugli strumenti *hardware* e *software* disponibili per la fruizione della realtà aumentata (smartphone, tablet e sistemi indossabili di visualizzazione, come i visori).

A supporto delle potenzialità didattiche della realtà aumentata, sono stati presentati e analizzati alcuni *case studies* selezionati, con l'obiettivo di offrire esempi concreti di integrazione didattica efficace dell'AR, in modo da promuovere e stimolare negli studenti una riflessione critica sull'efficacia didattica. A questa fase è stata affiancata la visione di materiali video tratti

da contesti educativi reali, nei quali la realtà aumentata è stata utilizzata per favorire forme di apprendimento attivo, significativo ed esperienziale. Tali esempi hanno avuto la funzione di rendere più concreti i possibili scenari d'uso dell'AR.

Il modulo si è concluso con una dimostrazione pratica delle potenzialità dell'AR, con una lezione simulata supportata dai visori *Magic Leap Hub 3* e da un'applicazione specifica, appositamente installata sugli smartphone degli studenti che ha permesso loro di interagire dinamicamente e in tempo reale con un oggetto tridimensionale visualizzato durante la lezione simulata. Seppur a distanza, gli studenti hanno avuto la possibilità di sperimentare l'interazione con ambienti in AR, favorendo l'emergere di consapevolezze e riflessioni legate al potenziale trasformativo della tecnologia in ambito educativo.

Il modulo si è avvalso del supporto di fonti scientifiche selezionate e di risorse digitali (YouTube, articoli scientifici, repository online), al fine di garantire una solida base teorica.

L'obiettivo di questo modulo è stato quello di fornire ai futuri insegnanti una comprensione delle basi concettuali e delle potenzialità educative offerte dall'applicazione dell'AR nei contesti educativi, promuovendo una visione critica e consapevole sul suo utilizzo.

6.4.2 Secondo Modulo – metodologie didattiche e strumenti per insegnare con la realtà aumentata

Il secondo modulo ha introdotto i principali approcci pedagogici e metodologici individuati dalla letteratura scientifica come particolarmente efficaci nel supportare l'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica della scuola primaria. In particolare, sono state approfondite alcune tra le metodologie attive più frequentemente adottate in connubio con l'AR, tra cui il *Learning by Doing*, il *Problem Based Learning*, la *Flipped Classroom*, la *Gamification* e il *Cooperative Learning*. Tali approcci condividono una visione dell'apprendimento centrata sull' alunno, considerato come protagonista attivo del processo di insegnamento-apprendimento e mirano a stimolare il coinvolgimento, la motivazione e lo sviluppo di competenze trasversali (Garzón et al., 2020; Amores-Valencia et al., 2020). La riflessione teorica è stata arricchita grazie alla presentazione di *best practices* implementate nella scuola primaria, che hanno dimostrato l'efficacia dell'integrazione dell'AR nel processo didattico.

Particolare attenzione è stata riservata all'uso dei libri illustrati in realtà aumentata, riconosciuti per la loro capacità di stimolare le abilità visuo-spaziali e il pensiero creativo degli alunni della scuola primaria, oltre ad aumentare il coinvolgimento verso la disciplina studiata (Zhang et al., 2023; Wu et al., 2013). L'enfasi è stata posta sull'importanza pedagogica e didattica di questi artefatti narrativi aumentati, per anticipare, a livello teorico, quello che sarà il prodotto finale del percorso formativo, che sarà delineato nel dettaglio nel paragrafo successivo.

Parallelamente, è stato analizzato il potenziale educativo delle *flashcard* e introdotta la loro variante in AR. Le *flashcard* tradizionali sono ampiamente riconosciute come strumenti efficaci per migliorare la

ritenzione delle informazioni, favorire la memorizzazione e supportare percorsi di apprendimento personalizzato (Zarrati et al., 2024). Tuttavia, l'integrazione con l'AR ne ha ulteriormente potenziato l'efficacia didattica, aumentando il coinvolgimento e stimolando processi cognitivi attraverso contenuti visivi, interattivi e tridimensionali (Yousef, 2021).

La seconda parte del modulo è stata dedicata alla presentazione ed esplorazione degli strumenti operativi utili per l'implementazione della realtà aumentata in classe. Sono state analizzate e sperimentate applicazioni quali *Arloopa, Quiver, Solidos AR, ArsBook*, oltre a software per la creazione di oggetti e ambienti tridimensionali come *ThinkerCad, Merge EDU e Paint 3D*. La selezione di questi strumenti è stata guidata da criteri di accessibilità, semplicità d'uso e replicabilità anche fuori dal contesto accademico. Attraverso attività pratiche guidate, gli studenti hanno sperimentato direttamente l'utilizzo degli strumenti digitali, progettando una lezione simulata basata sull'uso di *flashcard* in AR. Questo processo ha permesso di consolidare le competenze di alfabetizzazione digitale e di acquisire abilità metodologiche per la progettazione di interventi didattici innovativi, promuovendo un approccio critico e consapevole all'integrazione tecnologica.

Un elemento fondamentale di questo modulo è stata la creazione collaborativa di un *repository* di risorse digitali, accessibile tramite l'applicativo Google Drive, che ha permesso agli studenti di condividere applicazioni, materiali in AR e spunti per la progettazione. Questa attività ha favorito la creazione di comunità di pratica, basata sulla collaborazione e sul supporto reciproco, con l'obiettivo di sostenere e alimentare nel tempo l'innovazione didattica.

6.4.3 Terzo Modulo – Dalla teoria alla pratica: progettare lezioni innovative con la realtà aumentata

Il terzo modulo rappresenta il nucleo operativo dell'intervento formativo, segnando il passaggio dall'approccio teorico e riflessivo dei moduli precedenti, alla progettazione didattica vera e propria, attraverso la creazione di un libro digitale illustrato e aumentato destinato alla scuola primaria.

Gli studenti, suddivisi in gruppi di 5-6 partecipanti, hanno sviluppato risorse didattiche aumentate, integrando metodologie didattiche attive e strumenti digitali.

Ai gruppi è stato richiesto di concepire il prodotto finale come parte integrante di una progettazione didattica completa, in grado di inserirsi coerentemente nel curricolo scolastico e di essere replicabile nei contesti reali di insegnamento. In questo modo, è stato avviato un processo critico e riflessivo sull'uso della tecnologia come strumento didattico e non soltanto come strumento accessorio. Considerata la natura trasversale del *Laboratorio di Tecnologie Didattiche*, non vincolato ad una disciplina specifica, è stata data la possibilità di scegliere liberamente l'ambito disciplinare di riferimento.

Il prodotto finale è consistito nella realizzazione di un libro illustrato e aumentato, progettato per alunni della scuola primaria (cfr. Appendice A). Il libro ha integrato i contenuti curricolari della disciplina prescelta dai vari

gruppi, con un impianto narrativo coerente, costruito secondo i principi del *digital storytelling* (Manni, 2024). Ai futuri insegnanti, infatti, è stato richiesto di ideare e sviluppare storie, all'interno delle quali declinare il contenuto teorico, arricchite da elementi in realtà aumentata, pensati come approfondimenti tridimensionali fruibili mediante QR CODE, attivabile facilmente dalla fotocamera di un dispositivo mobile.

L'impiego del *digital storytelling* ha valorizzato la dimensione narrativa come cornice didattica in grado di stimolare la partecipazione emotiva e di incentivare la comprensione profonda dei contenuti, rafforzando la connessione tra esperienza vissuta e apprendimento concettuale (Manni, 2024).

Per la produzione dei contenuti tridimensionali, fruibili in realtà aumentata tramite applicazioni mobili, sono stati utilizzati strumenti di *authoring* e applicazioni AR specifiche (*ARloopa, Solidos AR, Merge EDU*). La modellazione di oggetti tridimensionali e ambientazioni 3D è stata realizzata, invece, mediante *TinkerCAD e Paint 3D*.

Il prodotto finale è stato realizzato mediante l'applicativo *Canva*, che ha permesso ai futuri insegnanti di esprimere al meglio la loro creatività, attraverso un formato digitale che coniuga testo, immagini e altri elementi interattivi, quali suoni, video e animazioni.

All'interno del libro sono state inserite alcune attività destinate agli alunni, realizzate tramite applicazioni quali *Kahoot, Quizziz, Padlet*, ecc…

Il processo creativo alla base della progettazione di una storia digitale ha offerto agli studenti l'opportunità di sviluppare competenze di alfabetizzazione digitale, di confrontarsi con un compito autentico e di mettere in pratica i principi del *Learning by Design* (Yelland, 2015). Tale esperienza ha favorito lo sviluppo non solo di competenze tecniche e metodologiche nella progettazione di risorse didattiche aumentate, ma anche il potenziamento di abilità trasversali, come la creatività, il pensiero critico, la collaborazione e la gestione dei processi progettuali complessi.

Il libro si configura come un artefatto didattico replicabile, che unisce in sé linguaggio testuale, visivo e interattivo in un'unica esperienza di apprendimento. Esso rappresenta il fulcro del percorso formativo, testimoniando il livello di padronanza progettuale acquisita dai futuri insegnanti, nonché la loro abilità nell'integrare in modo significativo e consapevole la realtà aumentata.

6.4.4 Quarto modulo – *peer assessment* e riflessione critica sulle progettazioni in AR

Il quarto modulo è stato dedicato alla valutazione e alla riflessione critica riguardo le esperienze in realtà aumentata progettate dagli studenti nel modulo precedente.

È stato adottato l'approccio *peer assessment* (valutazione tra pari), successivamente integrato dalla valutazione del docente. Questa strategia ha permesso agli studenti di analizzare e valutare criticamente il lavoro dei colleghi, offrendo feedback costruttivi e riflettendo, al contempo, sulle proprie progettazioni. È stato, così, incentivato lo sviluppo di competenze valutative, di analisi critica e, parallelamente, di competenze trasversali,

come la collaborazione, la comunicazione efficace e il pensiero critico (Double et al., 2020).

Nei paragrafi successivi saranno descritti gli strumenti utilizzati durante il percorso formativo, con l'analisi dei dati raccolti e la valutazione dell'impatto sulle competenze degli studenti, per verificare l'efficacia e la sostenibilità del modello proposto.

6.5 Gli strumenti di valutazione

Il primo strumento utilizzato per la valutazione tra pari è la Rubrica di valutazione EVAR (*Evaluation of Augmented Reality Application in Education*) di Henne e colleghi (2024), tradotta e adattata per l'intervento. Questa rubrica consente di misurare in modo sistematico la qualità pedagogica, tecnologica, interattiva e motivazionale degli artefatti in realtà aumentata.

Il secondo strumento utilizzato è la Rubrica C.S.P-RA (*Creatività, Storytelling, Progettazione* – Realtà Aumentata), appositamente sviluppata per l'intervento formativo, strutturata su criteri specifici che si riferiscono al compito autentico richiesto, ovvero la progettazione del libro illustrato e aumentato e finalizzata a valutare gli aspetti narrativi, creativi, multimediali e progettuali.

Per analizzare l'evoluzione delle percezioni e il livello di fiducia acquisito rispetto alle proprie competenze tecno-didattiche, è stato somministrato il questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School,* La Marca & Leone, 2024*),* in modalità post test, alla fine del percorso. Ciò ha reso possibile il confronto e le inferenze con i dati rilevati nella fase iniziale e i cambiamenti intervenuti a seguito dell'intervento formativo.

L'analisi dei risultati è stata ulteriormente arricchita dai dati qualitativi raccolti mediante un *focus group*, condotto alla fine del percorso formativo. Questa metodologia ha consentito di approfondire in modo più articolato l'impatto percepito dell'intervento formativo, facendo emergere riflessioni, criticità e consapevolezze maturate dagli studenti nel corso dell'attività.

L'integrazione tra i dati quali-quantitativi raccolti tramite il questionario AR-TECH e le evidenze emerse dal focus group ha permesso di ottenere una visione più completa dell'impatto formativo.

Nei paragrafi a seguire verranno analizzati nel dettaglio gli strumenti utilizzati e i risultati emersi.

6.5.1 Descrizione delle rubriche valutative

Per valutare i libri illustrati e aumentati, è stata adottata la Rubrica di valutazione EVAR (*Evaluation of Augmented Reality Application in Education*), sviluppata da Henne e colleghi (2024) e basata sui concetti formulati da Czok e colleghi (2023), opportunamente tradotta e adattata ai fini della ricerca. Questo strumento analizza la qualità pedagogica, tecnica e interattiva degli artefatti che utilizzano la realtà aumentata. Inoltre, la rubrica permette di esaminare la coerenza degli obiettivi di apprendimento con il curricolo, la qualità e l'accuratezza dei contenuti, nonché la capacità di promuovere il coinvolgimento e la motivazione degli studenti e, finanche, l'efficacia dell'interazione e l'adeguamento all'aspetto didattico.

La versione adattata per il presente studio consta di 17 item su scala Likert a quattro punti (da 1= Fortemente d'accordo a 4= fortemente in disaccordo), strutturata in cinque dimensioni: *Implementazione Tecnica*, *Adattamento della realtà aumentata*, *Interattività e Coinvolgimento*, *Visualizzazione e Creatività* e *Originalità dell'Uso della realtà aumentata* (Henne et al., 2024) (Tabella 6.2).

Dimensione	**Item**	
Implementazione Tecnica	1	La realtà aumentata nello scenario di apprendimento funziona in modo fluido e affidabile
	2	Gli insegnanti sono sicuri di riuscire a controllare la realtà aumentata
	3	La gestione della realtà aumentata è intuitiva e semplice per gli studenti
	4	La funzionalità della realtà aumentata è descritta e spiegata in modo sufficientemente chiaro
	5	Il metodo di tracciamento scelto è appropriato allo scenario didattico
Adattamento dell'AR	6	La realtà aumentata supporta almeno un obiettivo di apprendimento specifico
	7	Esiste un collegamento con le sequenze didattiche precedenti e successive
	8	Vengono fatti riferimenti pertinenti a situazioni o applicazioni reali
	9	La realtà aumentata offre chiari vantaggi rispetto alle visualizzazioni convenzionali
	10	La realtà aumentata aiuta gli studenti a comprendere meglio i contenuti
Interattività e coinvolgimento	11	La realtà aumentata incoraggia gli studenti a impegnarsi attivamente nella materia
	12	Oltre alla visualizzazione dell'oggetto, vi sono altre possibilità, ad esempio l'interattività o l'individualizzazione.
	13	Esistono meccanismi di feedback (analogici o digitali) per fornire agli studenti un riscontro sul loro utilizzo della realtà aumentata.
Visualizzazione	14	La complessità dell'AR si adatta all'obiettivo di apprendimento affrontato (in termini di carico cognitivo
	15	Si tiene conto delle leggi di progettazione
Creatività e originalità	16	La progettazione della lezione dimostra un uso originale e creativo della realtà aumentata per supportare il processo di apprendimento.
	17	La realtà aumentata è stata creata dagli insegnanti stessi.

Tabella 6.2 – Rubrica di Valutazione EVAR

La rubrica C.S.P.-RA (*Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata*) (La Marca & Leone, 2024) è stata appositamente sviluppata per la valutazione dei libri illustrati e aumentati realizzati all'interno del percorso formativo. I criteri di valutazione sono stati definiti integrando riferimenti consolidati nella letteratura di riferimento per quanto riguarda il *digital storytelling* (Robin, 2006; Özcan et al., 2016), uniti a criteri specificatamente elaborati per la progettazione di contenuti multimediali interattivi in realtà aumentata. La rubrica è strutturata in dieci dimensioni, che si riferiscono ad aspetti narrativi, creativi, multimediali, linguistici, didattici e tecnici, ognuna con descrittori su una scala cha va da "non pertinente" (0 punti), "debole" (1 punto), "buono (2 punti), "eccellente" (3

punti), consentendo una misurazione sistematica della qualità degli artefatti prodotti (Tabella 6.3).

Criterio	Eccellente (3 punti)	Buono (2 punti)	Debole (1 punto)	Non pertinente (0 punti)
Storytelling narrativo	Storia originale, coinvolgente, strutturata in modo chiaro e coerente, perfettamente integrata con contenuti didattici e le attività interattive in AR	Storia ben costruita, ma con integrazione parziale tra la narrazione, gli elementi visivi e i contenuti didattici o in AR	Storia semplice o poco sviluppata, con collegamenti deboli o incoerenti e AR poco presente	Narrazione assente o completamente scollegata dai contenuti. Manca il supporto dell'AR
Creatività grafica e design	Layout accattivante, immagini e icone coerenti e ben posizionate, uso creativo dei colori e ottima qualità visiva	Design chiaro e funzionale, con adeguata varietà e buona leggibilità, sebbene con un impatto estetico contenuto	Grafica basilare o ripetitiva, con elementi talvolta disorganizzati	Aspetto disordinato, poco leggibile o assente di elementi grafici significativi
Attività per l'alunno	Attività coinvolgenti e stimolanti (flashcard, quiz, sfide) ben strutturate e pienamente integrate con l 'AR	Attività pertinenti e coerenti, ma poco varie o non sempre originali	Attività poco collegate all'AR o ripetitive	Attività assenti o scarsamente strutturate
Coerenza didattica	Obiettivi formativi chiaramente rispettati; contenuti ben organizzati e coerenti con l'argomento	Coerenza generale con gli obiettivi, ma presenza di alcune lacune progettuali	Presenza di contenuti deboli o poco approfonditi	Contenuti non collegati agli obiettivi o didatticamente non pertinenti
Correttezza linguistica	Linguaggio corretto e adeguato al contesto; grammatica e sintassi impeccabili	Linguaggio chiaro con alcune imprecisioni o errori non sostanziali	Presenza di errori grammaticali frequenti, ma comprensibile	Errori gravi che compromettono la comprensione
Integrazione multimediale	Immagini, suoni e video perfettamente sincronizzati e coerenti con lo storytelling e le attività.	Media e AR ben integrati ma con minime imprecisioni nella sincronizzazione	Alcuni elementi multimediali sono incoerenti; l'AR non	Media disorganizzati e AR non presente

	Presenza di diversi contenuti in AR		pienamente fruibile	
Musica e suoni	Musica e suoni migliorano l'esperienza narrativa, ben selezionati e coerenti	Musica presente e coerente, ma con margini di miglioramento	Musica o suoni presenti ma poco rilevanti	Assenza di musica o audio o uso inappropriato.
Impaginazione e transizioni	Transizioni fluide, senza effetti superflui; l'impaginazione facilita la lettura e la comprensione	Impaginazione ordinata, con qualche effetto non necessario	Layout disomogeneo o poco curato	Effetti e transizioni eccessivi o disarmonici
Qualità complessiva del progetto	Il libro è completo, ben progettato, coinvolgente, tecnicamente solido e didatticamente valido. Ottima l'integrazione dell'AR	Il libro è complessivamente ben realizzato, ma presenta la mancanza di alcuni elementi chiave o si evidenziano aspetti migliorabili	Il libro presenta evidenti lacune strutturali e didattiche	Il libro non è stato progettato in conformità alle linee guida e non risulta adeguato agli obiettivi prefissati

Tabella 6.3 - Rubrica C.S.P - AR

6.5.1.1. Rubrica Evaluation of Augmented Reality Application in Education (EVAR) (Henne et al., 2024)

I dati raccolti attraverso la Rubrica EVAR sono stati organizzati in un file Excel e analizzati successivamente mediante statistiche descrittive mediante il software Jamovi (2.3). Ai fini di una corretta interpretazione dei dati, è opportuno sottolineare che la scala di valutazione adottata prevedeva i seguenti valori: 1 = "fortemente d'accordo" e 4 = "fortemente in disaccordo". Le medie rilevate per le diverse dimensioni si collocano tra M=1.6 e M=2.1, valore che riflette una valutazione complessivamente positiva della qualità degli artefatti valutati (Tabella 4).

Dimensioni	**Media**	**sd**
Implementazione Tecnica	1.8	0.6
Adattamento della realtà aumentata	2.0	0.7
Interattività e Coinvolgimento	1.6	0.5
Visualizzazione	1.9	0.6
Creatività e Originalità dell'Uso dell'AR	2.1	0.7

Tabella 4 – Risultati preliminari Rubrica EVAR

Come si evince dalla Tabella 4, la dimensione che ha ottenuto la media più bassa è *Interattività e Coinvolgimento* (M=1.6). Questo dato è indicativo del fatto che i prodotti digitali aumentati sono stati valutati molto positivamente rispetto alla loro capacità di coinvolgere e di facilitare

esperienze di apprendimento interattivo. In particolare, l'item "*La realtà aumentata incoraggia gli studenti a impegnarsi attivamente nella materia*" ha registrato il punteggio medio più favorevole (M = 1,4; DS = 0,5), con il 72% delle valutazioni nella categoria "fortemente d'accordo". Questo risultato evidenzia che gli studenti hanno percepito l'AR come un potente catalizzatore di partecipazione attiva, confermando quanto riportato da studi precedenti circa l'impatto motivazionale delle tecnologie immersive in campo educativo.

A seguire, anche la dimensione legata all' *Implementazione tecnica* ha avuto punteggi soddisfacenti (M=1.8). Questo dato è alquanto indicativo dell'intero percorso, poiché va a misurare l'affidabilità tecnica e la facilità di fruizione delle risorse in AR presenti nei libri aumentati. Tra gli item che hanno registrato punteggi medi più favorevoli: "*La realtà aumentata nello scenario di apprendimento funziona in modo fluido e affidabile*" (M=1.5); "*La funzionalità della realtà aumentata è descritta e spiegata in modo sufficientemente chiaro*" (M= 1,7) e "*La realtà aumentata supporta almeno un obiettivo di apprendimento specifico*" (M=1,5). Questi risultati testimoniano una buona stabilità tecnica nell'uso dell'AR, unita ad una chiara e coerente integrazione con gli obiettivi di apprendimento.

La dimensione *Visualizzazione* ha registrato una media complessiva pari a 1.9, evidenziando una valutazione generalmente positiva delle scelte progettuali e della coerenza tra la rappresentazione in AR e gli obiettivi di apprendimento. In particolare, gli item "*La complessità dell'AR si adatta all'obiettivo di apprendimento affrontato (in termini di carico cognitivo*)" (M=1.8) e "*Si tiene conto delle leggi di progettazione*" (M=2.0), hanno ottenuto punteggi medi mediamente favorevoli. Questo dato indica il fatto che negli elaborati finali è stato trovato un equilibrio tra risorsa in AR e carico cognitivo per lo studente, oltre al rispetto dei principi di progettazione grafica e didattici.

La dimensione *Adattamento della realtà aumentata* ha registrato una media pari a 2.0, che si traduce con una percezione piuttosto buona della coerenza e della pertinenza dell'AR rispetto al contesto didattico di riferimento. In particolare, l'item "*La realtà aumentata supporta almeno un obiettivo di apprendimento specifico*" (M = 1,8) sottolinea come la maggior parte dei progetti fosse effettivamente legata ad un obiettivo specifico, così come richiesto in fase di progettazione. Anche "*Esiste un collegamento con le sequenze didattiche precedenti e successive*" ha riportato una valutazione favorevole (M = 2,1), segnalando una buona integrazione tra le varie sequenze del libro. L'item "*La realtà aumentata offre chiari vantaggi rispetto alle visualizzazioni convenzionali*" (M = 2,0) conferma la percezione di un valore aggiunto in termini di chiarezza e impatto visivo. Infine, "*La realtà aumentata aiuta gli studenti a comprendere meglio i contenuti"* (M = 1,9) sottolinea come, nella maggior parte dei casi, l'AR sia stata percepita come un valido supporto alla comprensione, rafforzando il ruolo delle tecnologie immersive come strumenti cognitivi e non soltanto come strumenti tecnologici per intrattenere gli studenti.

Infine, per quanto riguarda la dimensione *Creatività e originalità dell'uso dell'AR,* è stata totalizzata una media complessiva pari a 2.1,

evidenziando un buon livello di personalizzazione nelle progettazioni valutate. Nel dettaglio, l'item "*La progettazione della lezione dimostra un uso originale e creativo della realtà aumentata per supportare il processo di apprendimento"* ha registrato un punteggio medio di 2,0, sottolineando il fatto che la maggior parte dei gruppi ha realizzato degli artefatti creativi con elementi di novità legati all'integrazione dell'AR, nonostante ci sia stati dei progetti più legati a modelli tradizionali. L'item "*La realtà aumentata è stata creata dagli insegnanti stessi"*, ha ottenuto una media pari a 2,2, che indica il fatto che nonostante diversi gruppi abbiano realizzato ex novo contenuti e ambientazioni in realtà aumentata, altri hanno utilizzato contenuti già pronti ma che sono stati personalizzati all'interno della progettazione. Nel complesso questa dimensione conferma il livello di competenze nella creazione di risorse in AR da parte dei futuri insegnanti e di integrazione funzionale all'interno delle progettazioni didattiche.

6.5.1.2 Rubrica Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata, (C.S.P.-AR) (La Marca & Leone, 2024)

Per quanto concerne l'analisi dei punteggi totali ottenuti dai 44 gruppi mediante la Rubrica C.S.P-AR (La Marca & Leone, 2024), è emersa una distribuzione compresa tra un valore minimo pari a 15 punti e un valore massimo pari a 29 punti, con una media complessiva di 23 punti. Considerato che il massimo punteggio attribuibile dalla scala è 30 punti, il risultato evidenzia che nessun gruppo ha raggiunto una valutazione massima, benché diversi gruppi si siano avvicinati a tale soglia.

Questa distribuzione suggerisce un livello medio-alto di qualità complessiva dei libri illustrati e aumentati realizzati, evidenziando una buona padronanza degli aspetti narrativi, creativi e progettuali, così come previsti dalla rubrica. Tuttavia, il divario rilevato tra il punteggio minimo e quello massimo, indica alcune differenze significative nella capacità dei gruppi di integrare l'AR. In particolare, le maggiori criticità sono riconducibili agli aspetti tecnici di modellazione e implementazione dell'AR, così come al livello di originalità creativa non sempre pienamente sviluppato. Ciò suggerisce la presenza di possibili margini di miglioramento, soprattutto in riferimento al consolidamento delle competenze operative necessarie per un'integrazione fluida e coerente della realtà aumentata.

6.5.2 I Focus Group

Per completare l'analisi e arricchire i risultati con una prospettiva più approfondita, sono stati condotti dei *focus group*, con l'obiettivo di esplorare in profondità l'efficacia percepita dell'intervento formativo e le riflessioni maturate dagli studenti durante il percorso.

I *focus group* sono stati organizzati con cinque gruppi di futuri insegnanti (n= 40 complessivi), selezionati su base volontaria, ai quali è stato chiesto di riflettere sulle seguenti domande guida:

1. In che modo l'uso della realtà aumentata, ha influenzato la vostra percezione sull'efficacia delle tecnologie immersive nella scuola primaria?

2. Quali elementi della progettazione (narrazione, contenuti multimediali, interattività) hanno contribuito maggiormente a rendere l'esperienza più coinvolgente e accessibile?
3. Alla luce della vostra esperienza, quali opportunità e criticità identificate nell'integrazione della realtà aumentata nella didattica?

Le sessioni di focus group hanno previsto la presenza di un moderatore, con il compito di facilitare la discussione e stimolare l'approfondimento tematico, affiancato da un logista, incaricato della gestione organizzativa (registrazione audio dell'intervista e annotazione di atteggiamenti e dinamiche interattive). Le sessioni sono state registrate, trascritte integralmente e successivamente analizzate in forma anonima, mediante il software per l'analisi qualitativa MAXQDA, con codificazione tematica.

I risultati ottenuti sono stati raggruppati in tre macroaree tematiche:

1. Percezione della realtà aumentata e impatto sull'apprendimento;
2. Valutazione della progettazione didattica;
3. Criticità e limiti riscontrati.

Per quanto riguarda la prima area tematica, i futuri insegnanti hanno espresso le loro percezioni rispetto alla realtà aumentata e all'impatto sui processi di insegnamento-apprendimento.

Il percorso formativo, grazie all'alternanza tra momenti teorici e pratici, ha favorito una riflessione critica sull'AR, permettendo di analizzarne le potenzialità sia dal punto di vista del progettista che da quello del fruitore. Sono emersi degli spunti di analisi interessanti legati ai benefici riscontrati.

In particolare, è emersa una tra le potenzialità dell'utilizzo dell'AR, ovvero il possibile aumento della motivazione negli alunni. Un tema ricorrente nelle risposte, infatti, è stato il forte impatto motivazionale che si sviluppa in seguito all'uso dell'AR. I futuri insegnanti hanno osservato che l'introduzione di elementi immersivi e interattivi aumenta il coinvolgimento e la partecipazione attiva.

In particolare, è stata molto apprezzata la possibilità di poter vedere in 3D e interagire con i contenuti teorici che, da astratti, diventano concreti e manipolabili. Questo è stato percepito come un'esperienza capace di interrompere la routine della didattica tradizionale, in grado di ricreare un ambiente stimolante e coinvolgente. Inoltre, è stato evidenziato come la realtà aumentata favorisca un apprendimento significativo, grazie alla concretizzazione di concetti astratti attraverso rappresentazioni visive e tridimensionali. Ad esempio, la possibilità di visualizzare il sistema solare o manipolare un cubo in 3D è stata indicata come un'opportunità che permette agli studenti di fare esperienza diretta dei concetti teorici studiati.

In ultimo, è stato evidenziato positivamente il potenziale dell'AR come strumento a supporto dei processi inclusivi. I futuri insegnanti hanno sottolineato come l'AR dia la possibilità di adattare i contenuti didattici ai diversi stili di apprendimento, favorendo la personalizzazione dell'esperienza didattica.

Rispetto alla valutazione della progettazione didattica, i futuri insegnanti hanno sviluppato riflessioni sugli effetti educativi derivanti dalla creazione

di un libro illustrato e aumentato. In particolare, è stato evidenziato come tale prodotto possa favorire il coinvolgimento degli alunni, la facilitazione nella comprensione di concetti astratti o particolarmente complessi e il supporto per la memorizzazione dei contenuti teorici.

La riflessione si è focalizzata sugli elementi chiave della progettazione, quali la struttura narrativa, l'integrazione dei contenuti in AR e dei contenuti multimediali e sul livello di interattività, valutati anche in termini di efficacia pedagogica. In particolare, l'impiego della narrazione come cornice strutturante è stato concepito come un elemento fondamentale per conferire significato alle informazioni, sostenere l'attenzione e promuovere una partecipazione più autentica da parte degli alunni.

L'interattività, legata ad un chiaro scopo educativo, è emersa come uno degli aspetti più coinvolgenti dell'esperienza. Secondo i partecipanti, la possibilità di esplorare, ruotare, manipolare oggetti virtuali può rendere l'apprendimento più attivo e partecipativo.

Relativamente all'ultima area tematica, i futuri insegnanti hanno evidenziato alcune criticità e barriere significative che limitano l'integrazione della realtà aumentata nella didattica della scuola primaria. Una delle più ricorrenti è legata all'accessibilità degli strumenti, poiché non tutte le scuole dispongono di dispositivi adeguati, licenze software o connessioni Internet stabili.

È emersa, inoltre, la necessità di una formazione iniziale e continua per gli insegnanti, tale per cui questi ultimi possano padroneggiare la realtà aumentata sia dal punto di vista tecnico, ma anche didattico e didattico. Infine, è emersa una riflessione sul cosiddetto "effetto wow", ovvero l'entusiasmo iniziale generato dall'uso dell'AR, spesso associato alla sua componente immersiva e spettacolare. I futuri insegnanti hanno espresso la preoccupazione che, in assenza di un solido impianto didattico, questo effetto transitorio, trasformando la tecnologia in un semplice strumento di intrattenimento.

6.6 Riflessioni Conclusive

Il framework *Teach in AR* rappresenta una proposta formativa innovativa e strutturata, fondata su una visione integrata delle competenze tecnologiche, pedagogiche, didattiche e disciplinari. Alla luce delle evidenze teoriche e delle esigenze formative emerse, l'intervento si configura come un modello replicabile, progettato per superare l'approccio episodico all'uso di tecnologie innovative e promuovere, invece, un'integrazione consapevole e strategica della realtà aumentata nella pratica didattica.

L'adozione del modello ADDIE e le cornici teoriche che ne fanno da struttura portante, ovvero il TPACK e il TARC, nonché l'impianto pedagogico orientato all'azione, hanno permesso di delineare un percorso coerente e fondato, capace di rispondere alle sfide educative contemporanee.

La progettazione del percorso, che trae origine dalle indagini esplorative condotte precedentemente, ha permesso di individuare e analizzare i

bisogni e le criticità per integrare efficacemente l'AR nei contesti scolastici, fornendo una solida base per l'implementazione laboratoriale.

Viene, inoltre, posta in evidenza l'importanza di affiancare alla formazione tecnica, una formazione autentica e riflessiva, in grado di coinvolgere i futuri insegnanti affinché diventino protagonisti attivi nella progettazione di esperienze educative innovative.

L'esperienza formativa *Teach in AR,* implementata durante il *Laboratorio di Tecnologie Didattiche per la Scuola Primaria e l'Infanzia* ha permesso di strutturare un percorso formativo strutturato per i futuri insegnanti all'uso tecnico, didattico e didattico della realtà aumentata per la scuola primaria. Questo intervento formativo ha mostrato come l'integrazione dell'AR, se progettata in modo coerente e supportata da un solido impianto metodologico, possa contribuire ad innovare significativamente la didattica della scuola primaria.

L'adozione del modello ADDIE, come struttura portante dell'intervento formativo, ha garantito una sequenza coerente e progressiva delle fasi progettuali - dall'analisi dei bisogni, alla progettazione, allo sviluppo, fino all'implementazione e alla valutazione. A livello metodologico, i framework TPACK e TARC, hanno garantito una solida cornice teorica, in grado di bilanciare bisogni formativi, competenze tecnologiche, pedagogiche, didattiche e disciplinari. Questo percorso progressivo ha permesso ai futuri insegnanti il passaggio da fruitori passivi a creatori consapevoli di contenuti aumentati, con un approccio critico alla selezione degli strumenti tecnologici e alla loro integrazione nei processi educativi.

Un elemento distintivo del percorso è stato l'impiego del *peer assessment*, che ha consentito agli studenti di valutare reciprocamente le progettazioni didattiche sviluppate, mediante l'ausilio di rubriche e strumenti di osservazione strutturata. Questo approccio metodologico ha favorito lo sviluppo di competenze riflessive, valutative e metacognitive, permettendo ai futuri insegnanti il confronto con criteri valutativi e l'applicazione agli artefatti elaborati. Tale approccio, in linea con quanto sostenuto da Double et al. (2020), rafforza sia le abilità valutative e il senso di responsabilità professionale, nonché la capacità di dare e ricevere feedback costruttivi.

Dall'analisi dei risultati emersi dalle rubriche valutative e dalle sessioni di focus group, è stato confermato quanto riportato in letteratura, ovvero l'impatto positivo dell'AR sui processi di insegnamento e apprendimento, in particolare, in termini di motivazione, coinvolgimento e apprendimento significativo (Wu et al., 2013; Palamar et al., 2021; Ibáñez et al., 2020).

L'utilizzo del *digital storytelling* (Robin, 2006), dei contenuti multimediali e dell'interattività, sono stati segnalati come determinanti per

rendere l'esperienza in realtà aumentata non solo coinvolgente e stimolante, ma pedagogicamente orientata.

Le criticità rilevate dagli studenti -accessibilità tecnologica, necessità di formazione specifica, gestione dell'effetto "wow" - sono in linea con quanto emerge in letteratura. Tali aspetti mettono chiaramente in luce la necessità di un supporto formativo e tecnico mirato, necessario per supportare una didattica innovativa in grado di andare sempre incontro alle esigenze di alunni e insegnanti.

In conclusione, l'esperienza formativa ha evidenziato come l'integrazione della realtà aumentata, all'interno di un approccio basato sul *learning by design* e supportata da metodologie attive, come il *Problem Based Learning,* il *Cooperative Learning* e la *Gamification*, possa costituire un modello efficace per la formazione del futuro, orientata sempre di più alla personalizzazione didattica e allo sviluppo di competenze trasversali, per affrontare le sfide concrete del XXI secolo.

Per comprendere in maniera approfondita l'efficacia dell'intervento descritto in questo capitolo e verificarne l'impatto in termini di cambiamento percepito, nel prossimo capitolo verrà presentata un'analisi dettagliata dei dati raccolti attraverso la somministrazione del questionario AR-TECH, somministrato pre e post intervento, per verificare l'efficacia e la sostenibilità del modello proposto.

Riferimenti bibliografici

Abuhassna, H., Alnawajha, S., Awae, F., Adnan, M. A. B. M., & Edwards, B. I. (2024). Synthesizing technology integration within the Addie model for instructional design: A comprehensive systematic literature review. *Journal of Autonomous Intelligence*, *7*(5), 1-28

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational research review*, *20*, 1-11.

Arici, F. (2024). Investigating the effectiveness of augmented reality technology in science education in terms of environmental literacy, self-regulation, and motivation to learn science. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *40*(24), 8476-8496.

Asiri, M. M. (2022). Employing Technology Acceptance Model to Assess the Reality of Using Augmented Reality Applications in Teaching from Teachers' Point of View in Najran. *Journal of Positive School Psychology*, *6*(2)

Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Duarte, J., & Betancourt, J. (2021). Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research. *Contemporary Educational Technology*, *13*(3).

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., & Graf, S. (2014). Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications.

Barroso-Osuna, J., Gutiérrez-Castillo, J. J., Llorente-Cejudo, M. C., & Ortiz, R. V. (2019). Difficulties in the incorporation of augmented reality in university education: Visions from the experts. *Journal of new approaches in educational research*, *8*(2), 126-141.

Belda-Medina, J., & Calvo-Ferrer, J. R. (2022). Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework. *Education and Information Technologies*, *27*(9), 12123-12146.

Buchner, J., & Zumbach, J. (2020). Augmented Reality In Teacher Education. A Framework To Support Teachers'technological Pedagogical Content Knowledge. *Italian Journal of Educational Technology*, *28*(2), 106-120.

Cabero-Almenara, J., Romero-Tena, R., Llorente-Cejudo, C., & Palacios-Rodríguez, A. (2021). Academic performance and technology acceptance model (Tam) through a flipped classroom experience: Training of future

teachers of primary education. *Contemporary Educational Technology*, *13*(3).

Czok, V., Krug, M., Müller, S., Huwer, J., Kruse, S., Müller, W., & Weitzel, H. (2023). A framework for analysis and development of augmented reality applications in science and engineering teaching. *Education Sciences*, *13*(9), 926.

Double, K. S., McGrane, J. A., & Hopfenbeck, T. N. (2020). The impact of peer assessment on academic performance: A meta-analysis of control group studies. *Educational Psychology Review*, *32*(2), 481-509.

Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010). Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of research on Technology in Education*, *42*(3), 255-284.

Garzón, J. (2021). An overview of twenty-five years of augmented reality in education. *Multimodal Technologies and Interaction*, *5*(7), 37.

Garzón, J., Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, *31*, 100334.

Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual reality*, *23*(4), 447-459.

Georgiou, Y., & Kyza, E. A. (2021). Bridging narrative and locality in mobile-based augmented reality educational activities: Effects of semantic coupling on students' immersion and learning gains. *International Journal of Human-Computer Studies*, *145*, 102546.

Henne, A., Syskowski, S., Krug, M., Möhrke, P., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2024). How to Evaluate Augmented Reality Embedded in Lesson Planning in Teacher Education. *Education Sciences*, *14*(3), 264.

Huang, K. T., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J., & Fordham, J. (2019). Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *22*(2), 105-110.

Ibáñez, M. B., Portillo, A. U., Cabada, R. Z., & Barrón, M. L. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, *145*, 103734.

Klopfer, E., & Sheldon, J. (2010). Augmenting your own reality: Student authoring of science-based augmented reality games. *New directions for youth development*, *2010*(128), 85-94.

Leone, A. (2024). Le tecnologie immersive come strumento di formazione: la realtà aumentata per la pratica didattica in università. In G. Benvenuto, E. Gülbay, A. La Marca, G. Moretti & A. Morini (a cura di), *La ricerca educativa e didattica nelle scuole di dottorato in Italia – 8/2024* (pp. 197–210). Pensa MultiMedia. ISBN 9791255683063.

Manni, S. (2024). *Rimediazioni. Il digital storytelling nella scuola primaria* (Tesi di laurea magistrale). Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, *108*(6), 1017-1054.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2021). Towards a teachers' augmented reality competencies (TARC) framework. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning* (pp. 203-212). Cham: Springer International Publishing.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024a). Exploring teachers' competences to integrate augmented reality in education: Results from an international study. *TechTrends*, *68*(6), 1208-1221.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024b). Exploiting the TARC framework: The relations between educators' attitudes towards AR, innovativeness, digital skills, and AR skills in education. In *International Conference on Immersive Learning* (pp. 130-141). Cham: Springer Nature Switzerland.

Palamar, S. P., Bielienka, G. V., Ponomarenko, T. O., Kozak, L. V., Nezhyva, L., & Voznyak, A. V. (2021). Formation of readiness of future teachers to use augmented reality in the educational process of preschool and primary education. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021) Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021* (Vol. 2898, pp. 334-350). CEUR Workshop Proceedings.

Robin, B. (2006, March). The educational uses of digital storytelling. In *Society for information technology & teacher education international conference* (pp. 709-716). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, *62*, 41-49.

Yousef, A. M. F. (2021). Augmented reality assisted learning achievement, motivation, and creativity for children of low-grade in primary school. *Journal of Computer Assisted Learning*, *37*(4), 966-977.

Zarrati, Z., Zohrabi, M., Abedini, H., & Xodabande, I. (2024). Learning academic vocabulary with digital flashcards: Comparing the outcomes from computers and smartphones. *Social Sciences & Humanities Open*, *9*, 100900.

Capitolo VII

La valutazione pre e post dell'intervento formativo *Teach in AR*

Introduzione

Dopo aver delineato nel capitolo precedente le fondamenta teoriche, metodologiche e didattiche del framework *Teach in AR,* questo capitolo è dedicato all'analisi dei dati emersi in seguito alla somministrazione pre e post intervento del questionario AR-TECH *(Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)* (La Marca & Leone, 2024).

L'analisi dei dati raccolti, condotta con statistiche descrittive e inferenziali, intende offrire evidenze empiriche rispetto alle ipotesi che hanno guidato la progettazione del percorso formativo, fornendo ulteriori spunti per la riflessione sul ruolo dell'AR nella formazione iniziale degli insegnanti.

Ci siamo proposti di valutare l'impatto del percorso formativo sull'uso della realtà aumentata da parte dei futuri insegnanti, indagando i cambiamenti percepiti nelle competenze tecniche, pedagogiche e didattiche e negli atteggiamenti verso l'uso della tecnologia, nonché le opportunità e le criticità emerse in relazione alla sua integrazione nella prassi didattica.

Dapprima, è stata avviata un'analisi descrittiva tesa a fornire una panoramica generale delle distribuzioni e delle tendenze emerse. In secondo luogo, si è proceduto con un'analisi inferenziale (*t-test per campioni appaiati*) finalizzata a confrontare i punteggi pre e post intervento e ad individuare eventuali cambiamenti significativi.

È stata condotta una regressione lineare per esplorare in che misura le competenze digitali autopercepite potessero avere un ruolo predittivo degli atteggiamenti e delle competenze tecno-didattiche verso l'AR. È stata, inoltre, calcolata la matrice di correlazione tra le due scale che compongono il questionario AR-TECH, per indagare le relazioni tra gli atteggiamenti e le competenze percepite. Infine, l'analisi qualitativa ha contribuito a restituire una visione più approfondita dell'intervento formativo, facendo emergere sia le potenzialità applicative percepite della tecnologia, che le principali criticità e perplessità in merito alla sua integrazione nei contesti scolastici.

La triangolazione dei dati ha offerto una comprensione più profonda e completa dell'efficacia dell'intervento formativo, rafforzando la validità complessiva delle conclusioni emerse.

L'analisi si propone di rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- RQ1. Il percorso formativo ha prodotto un cambiamento significativo negli atteggiamenti dei futuri insegnanti rispetto all'utilità percepita dell'AR in ambito educativo, a livello di coinvolgimento e

soddisfazione nell'utilizzo e alla fiducia nel suo potenziale per migliorare l'esperienza didattica?
- RQ2. Qual è l'impatto del percorso formativo sulla percezione, da parte dei futuri insegnanti, rispetto alle competenze tecnico-operative e didattiche fondamentali per l'integrazione dell'AR nel contesto educativo?
- RQ3. In quali contesti disciplinari e formativi, i futuri insegnanti ritengono che la realtà aumentata possa essere implementata e con quale valore aggiunto rispetto ai metodi didattici tradizionali?
- RQ4. Quali criticità e barriere vengono percepite dai futuri insegnanti in relazione all'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica?

Le prime due domande (RQ1 e RQ2) trovano riscontro nelle due scale validate che compongono il questionario AR-TECH (ARAAS e TARC), mentre la RQ3 e la RQ4 fanno riferimento ad item appositamente strutturati e a domande aperte inserite nella sezione finale del questionario AR-TECH, volte ad esaminare ulteriori aspetti del percorso formativo sperimentato.

Nei prossimi paragrafi sono presentati i risultati dell'analisi dei dati raccolti.

7.1 Descrizione dello strumento

Il questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School*) è stato sviluppato integrando due scale validate in letteratura – ARAAS (*Augmented Reality Applications Attitude Scale;* Hervás-Gómez et al., 2017) e TARC (*Teachers' Augmented Reality Competencies*; Nikou et al., 2021). A queste sono stati aggiunti alcuni item appositamente strutturati per la presente ricerca. L'obiettivo è stato quello di disporre di un unico strumento unitario e concettualmente coerente, in grado di rilevare in maniera integrata sia gli atteggiamenti che le competenze autopercepite rispetto all'uso della realtà aumentata in ambito educativo.

Il questionario consta di cinque sezioni, ciascuna finalizzata ad indagare aspetti specifici in relazione all'uso dell'AR da parte dei futuri insegnanti.

La prima raccoglie informazioni di contesto su età e genere e include un item di autovalutazione delle competenze digitali facendo riferimento al framework DigCompEdu (Redecker, 2017);

La seconda esplora le esperienze pregresse e il livello di familiarità con la realtà aumentata, nonché l'interesse percepito verso il suo possibile impiego in ambito didattico;

La terza traduce e adatta la scala ARAAS (*Augmented Reality Applications Attitude Scale)*, strutturata su tre dimensioni, *Rilevanza, Soddisfazione e Affidabilità*. Questa sezione è finalizzata a misurare atteggiamenti e percezioni di utilità dell'AR;

La quarta traduce e adatta la scala TARC (*Teachers' Augmented Reality Competencies)*, articolata in quattro dimensioni – *Atteggiamenti, Creazione, Uso e Gestione* -. Lo strumento è finalizzato a rilevare le competenze tecniche e didattiche autopercepite dai futuri insegnanti, oltre all'aspetto motivazionale nei confronti dell'uso dell'AR in campo educativo;

La quinta sezione è stata strutturata appositamente per essere somministrata nella fase post-intervento. Si compone sia di item su scala Likert che di domande a risposta aperta. È tesa ad indagare i vantaggi e le opportunità percepite nell'integrazione dell'AR in classe, nonché delle criticità e delle preoccupazioni legate alla sua implementazione.

La combinazione di scale validate e di item specificatamente costruiti ha permesso di integrare la misura standardizzata con la possibilità di rilevare considerazioni meramente personali, offrendo un quadro finale più articolato.

7.2 Campione

Il campione iniziale, non probabilistico e di convenienza, era costituito da 400 studenti universitari, futuri insegnanti che hanno frequentato il *Laboratorio di Tecnologie Didattiche per la Scuola dell'Infanzia e Primaria*, Corso di Studi in Scienze della Formazione Primaria (LM85bis), presso l'Università degli Studi di Palermo (a.a. 2024/2025).

Tuttavia, ai fini delle analisi inferenziali sono stati considerati solo i casi completi, ovvero riferiti ai partecipanti che hanno compilato sia il questionario pre che quello post intervento. Ciò ha determinato un numero di casi validi pari a 354, con un conseguente dropout dell'11.5% rispetto al campione iniziale. Nello specifico, la riduzione del campione è riconducibile a due fattori principali. In primo luogo, alcuni rispondenti non hanno portato al termine la compilazione del questionario in una delle due fasi, producendo dati incompleti e inutilizzabili per le analisi comparative. In secondo luogo, in alcuni casi, le risposte sono risultate incoerenti o incomplete in alcune sezioni e, pertanto, sono state escluse per garantire l'affidabilità dei risultati.

Dall'analisi descrittiva emerge che il campione è composto in prevalenza da genere femminile (96%), con un'età media pari a 22.2 anni (SD= 4.68). La quasi totalità dei partecipanti (98,9%) ha dichiarato di frequentare il secondo anno del CdLM in Scienze della Formazione Primaria (Unipa).

7.3 Metodologia

L'analisi dei dati è stata condotta adottando un approccio misto (*mixed methods*), così da combinare la profondità interpretativa dell'analisi qualitativa con la generalizzabilità dei dati quantitativi (Bergman, 2008; Trinchero, 2012).

In particolare, la valutazione dell'efficacia del percorso formativo è stata condotta attraverso un disegno quasi sperimentale di tipo *one-group pretest – post test*, che ha previsto la somministrazione dello stesso strumento di rilevazione prima e dopo l'intervento formativo. Tale scelta

metodologica è stata determinata dal contesto educativo in cui si è svolta la sperimentazione, ovvero all'interno di attività laboratoriali curricolari universitarie, nelle quali non è stato possibile creare gruppi equivalenti assegnati casualmente.

Per l'analisi quantitativa è stato utilizzato il software Jamovi (version 2.3). Sono state calcolate statistiche descrittive (medie, deviazioni standard, frequenze percentuali) e condotte analisi inferenziali (t-test per campioni appaiati, correlazioni di Spearman, regressioni lineari). L'obiettivo di queste analisi è quello di misurare eventuali cambiamenti significativi pre e post intervento e indagare eventuali relazioni tra le variabili, nonché verificare le ipotesi di ricerca formulate.

L'analisi qualitativa dei dati è stata condotta mediante analisi tematica delle risposte aperte, con il supporto del software MAXQDA, attraverso una procedura di codifica e successiva categorizzazione dei contenuti. Questo approccio ha permesso di indagare in profondità le percezioni, le preoccupazioni ed eventuali occorrenze che hanno arricchito il dato quantitativo, in modo da cogliere sia le evidenze statistiche che le dimensioni esperienziali e riflessive dei partecipanti. La ricerca ha integrato anche strumenti qualitativi, quali focus group e osservazioni partecipate, al fine di approfondire i significati attribuiti dagli studenti all'esperienza e triangolare i dati emersi.

7.4 La conoscenza pregressa della Realtà Aumentata

In prima istanza, è stata svolta un'analisi descrittiva esplorativa, volta a delineare le principali tendenze emerse dalle risposte al questionario.

Nella prima sezione del questionario, oltre alla raccolta delle informazioni sociodemografiche e di contesto, è stata indagata la conoscenza pregressa della realtà aumentata.

I risultati evidenziano che la quasi totalità dei partecipanti (94.6%) possiede una certa familiarità con il concetto di AR e oltre la metà (56,1%) dichiara di aver utilizzato o sperimentato applicazioni o dispositivi in AR. Tuttavia, solo il 45.8% ha fatto esperienze dirette dell'AR per fini didattici. Il divario tra conoscenza e applicazione è significativo, poiché riflette una tendenza comune nella diffusione delle tecnologie educative, secondo cui la consapevolezza dell'esistenza di uno strumento non sempre si traduce in una reale padronanza dello stesso (Bower et al., 2014).

È stato chiesto, inoltre, in quale occasione i rispondenti avessero avuto modo di sperimentare l'AR. Dall'analisi delle risposte è emerso che la maggior parte (56.87%) ha avuto accesso alla realtà aumentata in contesti universitari, durante le lezioni o laboratori[14].

In misura minore, il campione riferisce che l'AR è stata sperimentata attraverso applicazioni, smartphone o attraverso i social (5.69%), in occasione di mostre o eventi (5.21%), tramite videogiochi (3.79%) e, solo

[14] Si segnala, a tal proposito, che già durante il primo anno sono state condotte attività esplorative con l'ausilio dell'AR.

marginalmente, a scuola durante le giornate dedicate all'orientamento universitario (1.42%).

a) Interesse nei confronti della realtà aumentata per fini didattici

È stato rilevato l'interesse degli studenti verso l'impiego dell'AR per scopi didattici, mediante una scala Likert a 5 punti (1= per nulla interessato e 5= molto interessato). I risultati evidenziano una distribuzione orientata verso i valori più alti della scala. Infatti, la maggioranza dei rispondenti, il 45.3%, ha indicato il valore 4 (abbastanza interessato) e il 22.6% il valore 5 (molto interessato), mentre il 25.3% si colloca su un livello intermedio (valore 3) (Figura 7.1).

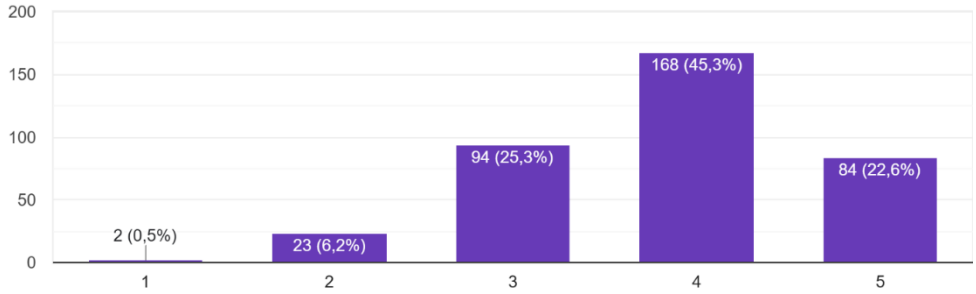


Figura 7.1- Interesse nei confronti della Realtà Aumentata per fini didattici

b) Scopi didattici della realtà aumentata

Ai futuri insegnanti è stato richiesto di indicare, attraverso una scala Likert a 5 punti (da 1= fortemente in disaccordo a 5= fortemente d'accordo), il grado di accordo rispetto ai possibili scopi didattici per i quali potrebbe essere utilizzata la realtà aumentata (Figura 7.2).

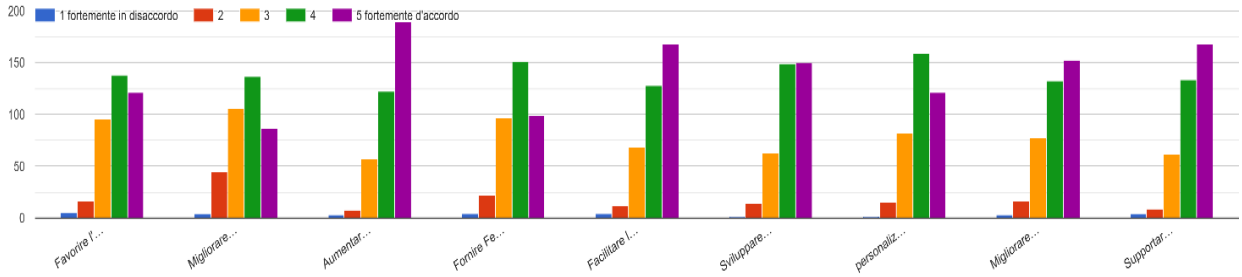


Figura 7.2 – Scopi didattici della realtà aumentata[15]

Come si può notare dal grafico nella Figura 7.2, le frequenze mostrano una netta prevalenza dei valori positivi 4 e 5, con punte particolarmente

[15] Gli item riportati in figura 7.2, corrispondo ai seguenti scopi didattici: Favorire l'apprendimento esperienziale; Migliorare l'inclusione; Aumentare la motivazione e il coinvolgimento; Fornire feedback immediati; Facilitare la comprensione di concetti astratti; Sviluppare competenze digitali e trasversali; Personalizzare i percorsi di apprendimento; Migliorare la memorizzazione; Supportare le attività laboratoriali.

elevate per quanto riguarda l'aumento della motivazione e del coinvolgimento (83%), il supporto alle attività laboratoriali (81%) e la facilitazione della comprensione dei concetti astratti (78.5%). Al contrario, l'aspetto dell'inclusione è stato percepito in misura minore (58.9%), dovuto probabilmente al fatto che le applicazioni in AR sperimentate e le percezioni iniziali non hanno evidenziato in modo diretto questa potenzialità.

La tendenza emersa è confermata anche dai valori medi riportati nella Tabella 7.1, che sottolineano come tutti gli item si collocano al di sopra del valore neutro 3, con le medie più alte per la motivazione e il coinvolgimento (M=4.29; SD= 0.84), il supporto laboratoriale (M=4.21; SD= 0.86) e la comprensione dei concetti astratti (M=4.15; SD= 0.92) e la possibilità di feedback immediati (M=4.17; SD=0.89), evidenziando una percezione generale complessivamente positiva.

Item	Media	SD
Favorire l'apprendimento esperienziale	3.95	0.925
Migliorare l'inclusione	3.67	0.984
Aumentare la motivazione e il coinvolgimento	4.29	0.842
Fornire feedback immediati	4.12	0.896
Facilitare la comprensione di concetti astratti	4.17	0.846
Sviluppare competenze digitali e trasversali	4.11	0.850
Personalizzare i percorsi di apprendimento	4.00	0.851
Migliorare la memorizzazione	4.10	0.910
Supportare le attività laboratoriali	4.21	0.866

Tabella 7.1 – Statistiche descrittive riguardanti gli Scopi didattici della realtà aumentata

c) Applicazioni didattiche dell'AR

Ai rispondenti è stato chiesto di fornire ulteriori possibili applicazioni didattiche della realtà aumentata in campo didattico, attraverso una risposta aperta. Dall'analisi qualitativa delle risposte aperte (N=53) sono emerse altre riflessioni significative e complementari rispetto a quelle già rilevate nella parte quantitativa. Nel dettaglio, una percentuale significativa di studenti (11.3%) ha sottolineato il valore dell'AR nel promuovere la collaborazione e il lavoro di gruppo; parallelamente, il 7.5% dei partecipanti ha evidenziato l'importanza dell'AR per favorire il pensiero critico e il

problem solving, soprattutto attraverso simulazioni immersive e situazioni complesse che portano all'assunzione di decisioni consapevoli.

d) Esperienze pregresse di formazione sulla realtà aumentata

È stata posta la domanda "*Hai mai partecipato a workshop o corsi di formazione sulla realtà aumentata?*".

Solo il 12.1% ha risposto affermativamente, mentre l'87.9% ha dichiarato di non aver mai preso parte a esperienze strutturate di formazione specifica sull'uso dell'AR.

In maniera analoga, anche la creazione o personalizzazione di contenuti in AR risulta poco diffusa: soltanto il 13.5% degli studenti ha avuto occasione di cimentarsi in attività di questo tipo, a fronte dell'86.5% che non ha mai prodotto contenuti in AR.

Questi dati confermano un livello iniziale complessivamente basso, sia in termini di formazione teorica che di esperienza operativo-creativa. Tale risultato è rilevante perché mette in evidenza come il percorso proposto, *Teach in AR*, si colloca in un contesto di sostanziale novità per la maggior parte degli studenti coinvolti, rappresentando per molti la prima occasione di approccio strutturato alla realtà aumentata in ambito educativo.

e) Coerenza tra le attività in AR e gli obiettivi curriculari della scuola primaria

Un ulteriore aspetto rilevante riguarda la percezione della coerenza tra le attività in AR e gli obiettivi curriculari della scuola primaria. La quasi totalità dei rispondenti (96.5%) ha dichiarato che le esperienze in realtà aumentata possono essere collegate agli obiettivi di apprendimento della scuola primaria. Questo conferma la percezione che gli studenti hanno di questa tecnologia come strumento integrabile nella didattica disciplinare e non soltanto come strumento accessorio.

f) Livello di competenza percepita nell'utilizzo dell'AR per la progettazione di attività didattiche disciplinari

Alla domanda "*Quanto ti senti competente nell'utilizzo della realtà aumentata per progettare attività didattiche rivolte alle varie discipline (italiano, matematica, scienze, geografia, storia, inglese, musica, ecc…)",* in una scala da 1 a 5 (1 = per nulla competente e 5 = molto competente), oltre la metà del campione (53.4%) si è definita per nulla o poco competente, mentre il 38% ha assunto una posizione neutra. Questi dati confermano come, nonostante l'ampio riconoscimento del potenziale didattico dell'AR, la sua applicazione pratica risulti ancora limitata e da scoprire sul piano professionale (Figura 7.3).

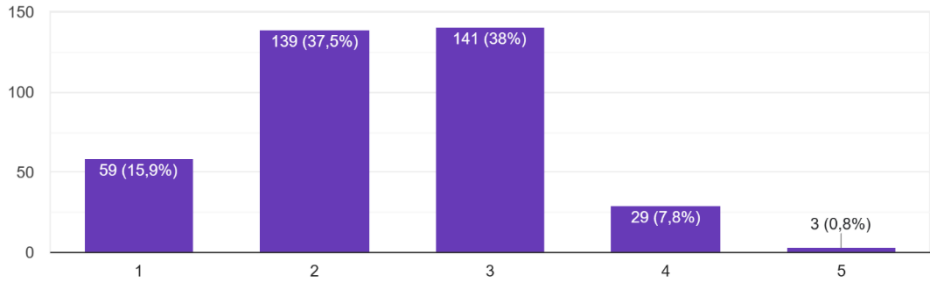


Figura 7.3 - Livello di competenza percepita nell'utilizzo dell'AR per la progettazione di attività didattiche disciplinari

g) Competenze digitali ritenute necessarie per l'integrazione dell'AR nella prassi didattica

Un ulteriore aspetto indagato ha riguardato le competenze digitali ritenute necessarie affinché un insegnante possa integrare l'AR nella propria prassi didattica.

L'item prevedeva la possibilità di selezionare più opzioni, al fine di ottenere una visione più completa e articolata. Le risposte sintetizzate nel grafico (Fig.7.4) evidenziano una chiara priorità attribuita all'acquisizione delle competenze tecniche necessarie per utilizzare l'AR (83%), cosa che sottolinea quanto la padronanza tecnologica sia percepita come un prerequisito fondamentale. A seguire, è stata ritenuta cruciale la competenza nell'uso di strumenti software AR (71.4%), così come la capacità di adattare le lezioni all' AR (73.9%). L' abilità nella progettazione di contenuti AR è stata riconosciuta come rilevante dal 68.2% del campione. Al contrario, emerge come gli aspetti legati alla dimensione pedagogica risultano meno valorizzati. Infatti, solo il 48.5% ha indicato la necessità di una conoscenza pedagogica specifica per l'integrazione dell'AR, così come il 48% ritiene una competenza chiave l'abilità di gestire le risorse in AR. Solo il 32% afferma l'importanza di avere a disposizione delle risorse già strutturate da poter utilizzare. Infine, una minima parte del campione (0.3%) ha espresso un disaccordo, ritenendo che l'integrazione dell'AR non rappresenti una buona idea.

Nel complesso, i risultati suggeriscono che i futuri insegnanti, prima dell'avvio del percorso formativo, percepiscono come prioritaria l'acquisizione delle competenze di natura tecnica più che di quelle pedagogiche, didattiche e metodologiche. Proprio per tale ragione, il percorso formativo *Teach in AR,* se da un lato ha permesso di acquisire le competenze tecniche, dall'altro ha posto maggiore attenzione all'integrazione didattica, affinché l'AR non venga ridotta ad un mero strumento tecnico, ma sia riconosciuta come un approccio innovativo e integrato all'insegnamento.

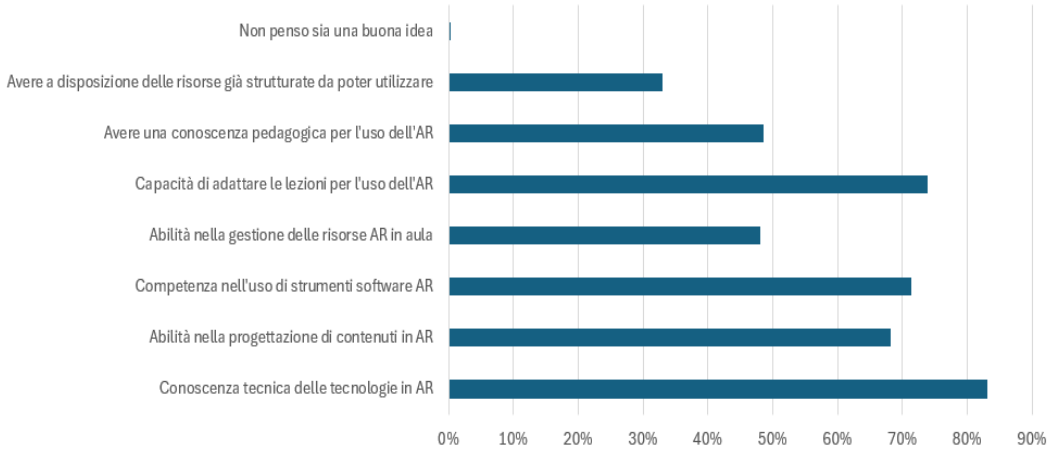


Figura 7.4 – Competenze digitali ritenute necessarie per l'integrazione dell'AR nella prassi didattica

h) Percezione del livello di competenza digitale (DigCompEdu)

Nella prima sezione del questionario è stato esplorato, inoltre, il livello di percezione della propria competenza digitale, con riferimento al framework *DigiCompEdu* (Redecker & Punie, 2017). Come si può osservare dal grafico nella Figura 7.5, i dati mostrano una struttura eterogenea nelle risposte.

Nel dettaglio, la maggior parte dei rispondenti si definisce *Esploratore* (36%), ovvero riferito a chi utilizza le tecnologie e i media digitali per scopi personali e li applica anche nel contesto lavorativo, senza tuttavia perseguire un approccio completo e coerente; il 29%, invece, si reputa un *Insider*, che rappresenta il livello di chi è in grado di usare le tecnologie in diversi contesti e per diversi scopi, adattando strumenti e procedure in base alle situazioni, che sa risolvere problemi di base e ha acquisito un'autonomia operativa. Solo il 11% si ritiene *Esperto*, ovvero colui che utilizza strumenti digitali in modo autonomo e critico ed è capace di selezionare risorse, gestire compiti complessi e guidare altri nell'uso delle tecnologie. Una quota marginale, pari all'1%, si ritiene un *Leader*, profilo che corrisponde a chi possiede un livello avanzato e integra le tecnologie in maniera strategica, innovativa e consapevole ed è in grado di progettare e valutare pratiche digitali complesse e guidare processi di trasformazione. Nessuno dei rispondenti si ritiene un *Pioniere,* che indica un livello avanzatissimo di competenze tecnologiche. Al tempo stesso, la percentuale non trascurabile di *Principianti* (23%) segnala la necessità di progettare percorsi formativi mirati a ridurre i divari di competenza, al fine di garantire un'integrazione inclusiva e diffusa delle tecnologie in ambito didattico.

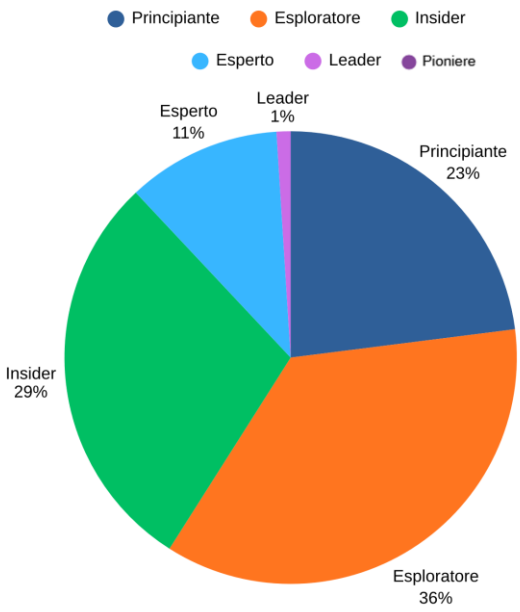


Figura 7.5 – Percezione del livello di competenza digitale (DigComp Edu)

i) Correlazione tra competenza digitale e interesse verso l'utilizzo dell'AR

Per indagare l'eventuale relazione tra il livello di competenza digitale autopercepito e l'interesse verso l'utilizzo dell'AR per scopi didattici, è stata condotta una *Correlazione di Spearman* tra i due item (*Interesse nei confronti della realtà aumentata per scopi didattici e Percezione del livello di competenza digitale, DigCompEdu*).

I risultati evidenziano l'assenza di una correlazione significativa tra le due variabili ($\rho = -0.068$, $p = 0.905$). Questo indica che i livelli di competenza digitale, così come sono stati percepiti dai futuri insegnanti, non risultano predittori del grado di interesse manifestato nei confronti dell'AR. Per cui, l'interesse verso l'adozione di questa tecnologia immersiva non sembra dipendere dal livello di padronanza digitale dichiarato, suggerendo come la motivazione ad integrare l'AR nella didattica possa essere influenzata da altri fattori, quali la motivazione personale, la curiosità o il valore aggiunto percepito che questa tecnologia può apportare al processo di insegnamento-apprendimento, indipendentemente dalle competenze digitali possedute.

7.5 Impatto del percorso formativo: analisi pre-post intervento

Al fine di valutare l'efficacia del percorso formativo *Teach in AR* è stata svolta l'analisi delle differenze nei punteggi del questionario AR-TECH, somministrato sia prima che dopo l'intervento. L'analisi inferenziale è stata condotta sulle due scale che compongono il questionario sopracitato, ovvero *l'Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS)* di Hervás-Gómez et al. (2017) – che misura l'atteggiamento verso l'AR - e la *Teachers's Augmented Reality Competencies* (TARC) di Nikou et al. (2021) – che valuta le competenze autopercepite per l'uso dell'AR -.

7.5.1 Analisi Descrittiva

L'analisi descrittiva è stata effettuata calcolando le medie e le deviazioni standard dei punteggi raccolti nelle due somministrazioni (pre e post) di entrambe le scale, al fine di ottenere un quadro sintetico e informativo delle principali caratteristiche del campione.

Per quanto riguarda la prima scala, ARAAS del questionario AR-TECH, sono state analizzate le medie nelle tre dimensioni: *Rilevanza* (Media P), *Soddisfazione* (Media S) e *Affidabilità* (Media AF). Dai risultati emergono differenze contenute tra le rilevazioni pre e post intervento (Tabella 7.6).

	Time Lab	**Media P**	**Media S**	**Media AF**
Media	pre lab	1.95	3.74	3.62
	post lab	1.91	3.83	3.76
Errore std. media	pre lab	0.0296	0.0341	0.0337
	post lab	0.0315	0.0368	0.0369
Deviazione standard	pre lab	0.570	0.657	0.649
	post lab	0.593	0.693	0.694
Minimo	pre lab	1.00	1.00	1.00
	post lab	1.00	1.00	1.00
Massimo	pre lab	4.50	5.00	5.00
	post lab	5.00	5.00	5.00

Tabella 7.6 – Analisi descrittiva Pre e Post Scala ARAAS

Nel dettaglio, per quanto riguarda la dimensione *Rilevanza,* che misura la percezione dell'utilità e del valore didattico attribuito alla realtà aumentata, i dati evidenziano una sostanziale stabilità tra pre e post intervento (Media P= 1.95; SD= 0.57 nel pre; M= 1.91; SD = 0.59 nel post). Ciò suggerisce che i partecipanti hanno mantenuto una percezione piuttosto costante rispetto al contributo percepito dell'AR nei processi educativi. Tale andamento potrebbe essere, in parte, anche attribuito alla formulazione negativa degli item in questa dimensione, che potrebbe aver reso meno immediata la comprensione delle affermazioni da parte dei rispondenti e, quindi, aver influenzato i punteggi ottenuti.

Per quanto riguarda la seconda dimensione, *Soddisfazione*, che riflette il coinvolgimento emotivo, la motivazione e la soddisfazione percepita durante l'utilizzo della tecnologia immersiva, i dati mostrano un leggero incremento, testimoniato dal passaggio da una media nel pre di 3.74 (SD=

0.66) a 3.83 nel post (SD=0.69). Questo risultato evidenzia una tendenza positiva, indicando che l'esperienza formativa ha contribuito ad accrescere la motivazione e il coinvolgimento rispetto all'utilizzo dell'AR.

Infine, per quanto concerne *l'Affidabilità,* che fa riferimento alla fiducia riposta nella realtà aumentata riguardo alla sua capacità di migliorare la qualità della didattica e di promuovere competenze trasversali, si registra un miglioramento tra pre e post formazione. Infatti, la media nel pre è di 3.62 (SD=0.65), mentre nel post è di 3.76 (SD=0.69). Tale andamento segnala una maggiore fiducia rispetto all'efficacia percepita.

Nel complesso, i dati offrono una panoramica sulle percezioni dei futuri insegnanti riguardo alla realtà aumentata. I punteggi indicano che nei confronti delle prassi educative con AR c'è una percezione positiva, benché ci siano ancora alcune riserve. Questo suggerisce che l'AR si colloca in una fase di transizione, dove da un lato appare già riconosciuta come risorsa dalle grandi potenzialità, ma dall'altro, non è ancora pienamente percepita la sua possibile integrazione nelle pratiche didattiche. L'analisi descrittiva, dunque, rafforza l'idea che la formazione rivesta un ruolo cruciale nel trasformare il potenziale percepito in un'effettiva pratica educativa. Le successive analisi inferenziali permetteranno di valutare se queste variazioni sono statisticamente significative.

Per la scala TARC sono state analizzate le medie relative alle quattro dimensioni: *Atteggiamenti* (Media A), *Creazione* (Media C), *Uso* (Media U) e *Gestione* (Media M). I risultati mostrano un generale incremento positivo delle medie dal pre al post test, a conferma del fatto che, in seguito all'intervento formativo, c'è stato un miglioramento nella percezione delle competenze rispetto all'uso della realtà aumentata (Tabella 7.7).

	Time Lab	**Media A**	**Media C**	**Media U**	**Media M**
Media	pre lab	4.14	3.43	3.62	3.37
	post lab	4.15	3.79	3.85	3.61
Errore std. media	pre lab	0.0366	0.0442	0.0432	0.0393
	post lab	0.0387	0.0397	0.0377	0.0358
Deviazione standard	pre lab	0.704	0.851	0.833	0.756
	post lab	0.727	0.746	0.709	0.674
Minimo	pre lab	1.00	1.00	1.00	1.00
	post lab	1.00	1.00	1.00	1.00

	Time Lab	Media A	Media C	Media U	Media M
Massimo	pre lab	5.00	5.00	5.00	5.00
	post lab	5.00	5.00	5.00	5.00

Tabella 7.7 – Analisi descrittiva Pre e Post Scala TARC

Per quanto riguarda la prima dimensione *Atteggiamenti*, tesa ad analizzare le predisposizioni dei futuri insegnanti rispetto all'integrazione dell'AR in campo educativo, i dati mostrano valori pressoché stabili (M= 4.14, SD= 0.70 pre; M= 4.15, SD= 0.72 post). Questo indica che i partecipanti hanno mantenuto una predisposizione positiva verso l'integrazione della tecnologia in classe, anche in seguito all'intervento formativo. Inoltre, questo risultato si collega con quanto emerso dalla scala ARAAS, ovvero che l'interesse e l'apertura verso l'AR sono già fattori consolidati, indipendentemente dall'esperienza.

La dimensione *Creazione*, invece, registra un incremento più significativo, passando da una media 3.43 (SD= 0.85) ad una media pari a 3.79 (SD= 0.74). Questo dato suggerisce che i futuri insegnanti hanno ampliato le loro competenze rispetto alla capacità di progettare e sviluppare esperienze didattiche in AR. Tuttavia, il punteggio medio, seppur in crescita, rivela come permanga una certa difficoltà, probabilmente, legata alla necessità di ulteriori occasioni di sperimentazione pratica con strumenti specifici per la creazione di contenuti.

Anche nella dimensione *Uso* c'è un miglioramento, con i valori medi che passano da un pre M=3.62 (SD= 0.83) ad un post pari a M=3.85 (SD=0.70), che testimonia il fatto che i futuri insegnanti hanno acquisito una maggiore consapevolezza e fiducia nell'adozione dell'AR integrata per gli scopi pedagogici ed educativi, seppur con margini di incertezza che riflettono la necessità di un'ulteriore formazione pratica e di esempi concreti di utilizzo.

Infine, la dimensione *Gestione* evidenzia, altresì, un miglioramento passando da un valore della media pari a 3.37 (SD= 0.75) a 3.61 (SD= 0.67) nel post, evidenziando un progresso nella capacità percepita di organizzare, pianificare, integrare e coordinare le risorse in realtà aumentata in modo critico e consapevole.

In sintesi, mentre per quanto riguarda gli atteggiamenti verso l'AR c'è una tendenza positiva costante, sul piano creativo e progettuale si osservano i progressi, indicando come la formazione abbia contribuito ad ampliare le competenze percepite e a rafforzare la fiducia nell'utilizzo dell'AR come strumento didattico innovativo. Al tempo stesso, emerge la consapevolezza della necessità di ulteriori occasioni formative, finalizzate a consolidare e approfondire le abilità tecno-pedagogiche acquisite durante l'intervento formativo.

Mediante la successiva analisi inferenziale si verificherà la presenza di variazioni significative nelle dimensioni della scala TARC.

7.5.2 Analisi Inferenziale

RQ1. Il percorso formativo ha prodotto un cambiamento significativo negli atteggiamenti dei futuri insegnanti rispetto all'utilità percepita dell'AR in ambito educativo, a livello di coinvolgimento e soddisfazione nell'utilizzo e alla fiducia nel suo potenziale per migliorare l'esperienza didattica?

Per rispondere alla prima domanda di ricerca è stato condotto un *test t di Student* per campioni appaiati sulle tre dimensioni della scala ARAAS.

Le ipotesi sono state le seguenti:

- Ipotesi nulla (H_0): non ci sono differenze significative tra i punteggi pre e post intervento nelle tre dimensioni considerate;
- Ipotesi alternativa (H_1): ci sono differenze significative tra i punteggi pre e post intervento in almeno una delle tre dimensioni considerate.

Come si evince dalla Tabella 7.8, i risultati mostrano che per le dimensioni *Rilevanza* (t (353) = 0.705, p=0.482) e *Soddisfazione* (t (353) =1.539, p=0.125) non ci sono variazioni significative tra il pre e il post. Tale stabilità è confermata anche dall'analisi dell'*effect size*, che risulta trascurabile sia per la Rilevanza (d= 0.03) che per la *Soddisfazione* (d= 0.08). Ciò suggerisce complessivamente che i partecipanti hanno mantenuto una percezione stabile rispetto al valore didattico-pedagogico dell'AR, nonché al grado di coinvolgimento e di soddisfazione rispetto al suo utilizzo. Al contrario, la dimensione *Affidabilità*, relativa alla fiducia nella capacità dell'AR di migliorare la prassi didattica, evidenzia un incremento statisticamente significativo (t (353) = 2.680, p= 0.008), con un *effect size* pari a d= 0.14, che seppur testimonia un effetto di piccola entità, secondo i criteri di Cohen (1988), tuttavia segnala un rafforzamento nella fiducia dei futuri insegnanti rispetto alla capacità dell'AR di migliorare la qualità della didattica. Questo dato permette di rigettare l'ipotesi nulla, almeno per questa dimensione, e di confermare l'ipotesi alternativa. Il percorso formativo, dunque, ha effettivamente sortito i risultati sperati, in almeno una delle tre dimensioni indagate, rafforzando nei futuri insegnanti la percezione dell'AR come uno strumento affidabile e credibile da integrare nel contesto educativo.

Sebbene, dunque, l'intervento non abbia modificato in modo sostanziale la percezione di utilità e l'aumento del coinvolgimento e della soddisfazione nell'utilizzare applicazioni in AR, ha comunque avuto un impatto significativo nel consolidare la fiducia dei futuri insegnanti nell'affidabilità della realtà aumentata come risorsa didattica, contribuendo a legittimarla come una vera e propria tecnologia educativa.

			statistica	gdl	p		Dimensione dell'Effetto
Media P post	Media P pre	t di Student	0.705	353	0.482	d di Cohen	0.0375
Media S post	Media S pre	t di Student	1.539	353	0.125	d di Cohen	-0.0818
Media AF post	Media AF pre	t di Student	2.680	353	0.008	d di Cohen	0.1425

Tabella 7.8 - Risultati del *t-test per campioni appaiati* sulle dimensioni della scala ARAAS (confronto pre-post intervento)

RQ2. Qual è l'impatto del percorso formativo sulla percezione, da parte dei futuri insegnanti, rispetto alle competenze tecnico-operative e didattiche fondamentali per l'integrazione dell'AR nel contesto educativo?

Per rispondere alla seconda domanda di ricerca è stato condotto un *test t di Student* per campioni appaiati sulle quattro dimensioni della scala TARC.

Le ipotesi sono state le seguenti:

- Ipotesi nulla (H_0): non c'è alcuna differenza significativa tra i punteggi pre e post-intervento per le quattro dimensioni della scala TARC (Atteggiamenti, Creazione, Uso e Gestione);
- Ipotesi alternativa (H_1): ci sono differenze significative tra i punteggi pre e post-intervento per almeno una delle quattro dimensioni della scala TARC.

Per la scala TARC sono stati analizzati i punteggi medi relativi alle quattro dimensioni indagate: *Atteggiamenti* (Media A), *Creazione* (Media C), *Uso* (Media U) e *Gestione* (Media M). L'analisi inferenziale, condotta mediante *test t* per campioni appaiati ha evidenziato variazioni significative e differenziate tra le misurazioni pre e post intervento (Tabella 7.9).

Per la dimensione *Atteggiamenti*, non si evidenziano variazioni significative tra il pre e il post-intervento (t (353) = 0.236, p= 0.813), con un *effect size* del tutto trascurabile (d= - 0.01). Questo dato suggerisce che la predisposizione generale dei futuri insegnanti verso l'integrazione dell'AR fosse già presente in partenza e non abbia subito variazioni consistenti a seguito della formazione.

Emergono, invece, dei cambiamenti significativi nelle altre tre dimensioni. In particolare, per la dimensione *Creazione*, che misura la capacità di progettare e sviluppare esperienze di apprendimento in AR, si registra un incremento abbastanza rilevante (t 353) = 5.940, p<.001), supportato da un effetto di grandezza medio-piccolo (d=-0.32). questo risultato indica che la formazione ha contribuito ad accrescere la percezione

dei partecipanti circa la propria capacità di progettare e sviluppare esperienze didattiche in AR.

Analogamente, la dimensione *Uso*, relativa all'impiego di pratiche didattiche e strumenti in AR, mostra un significativo miglioramento (t (353) = 4.094, p<.001), con un effetto di entità moderata (d= -0.22). ciò evidenzia un aumento della fiducia nell'utilizzo dell'AR.

Anche nella dimensione *Gestione*, che fa riferimento alla capacità di organizzare e gestire risorse in AR, si evidenzia un aumento statisticamente significativo (t (353) = 4.491, p<.001), accompagnato da *effect size* contenuto (d= 0.24), che testimonia il fatto che il percorso formativo ha rafforzato le competenze percepite riguardo al processo di gestione delle risorse in AR.

			statistica	gdl	p		Dimensione dell'Effetto
Media A post	Media A pre	t di Student	0.236	353	0.813	d di Cohen	-0.0126
Media C post	Media C pre	t di Student	5.940	353	< .001	d di Cohen	-0.3157
Media U post	Media U pre	t di Student	4.094	353	< .001	d di Cohen	-0.2176
Media M post	Media M pre	t di Student	4.491	353	< .001	d di Cohen	-0.2387

Tabella 7.9 - Risultati del t-test per campioni appaiati sulle dimensioni della scala TARC (confronto pre-post intervento)

Nel complesso, i risultati evidenziano che l'intervento formativo non ha sicuramente modificato gli atteggiamenti generali verso l'AR, già positivi e consolidati prima della formazione, ma ha prodotto un impatto rilevante sul piano operativo e pedagogico, rafforzando le percezioni delle capacità legate alla creazione, all'uso e alla gestione di risorse in AR nella prassi educativa. Tali evidenze avvalorano l'ipotesi che la formazione abbia contribuito a rafforzare nei partecipanti la fiducia nelle proprie competenze per integrare efficacemente l'AR nei processi di insegnamento-apprendimento, in linea, dunque, con la domanda di ricerca formulata.

7.5.3 Prospettive, sfide e opportunità percepite nell'integrazione dell'AR

Per rispondere alle RQ3 e RQ4, che indagano rispettivamente le potenziali applicazioni didattiche della realtà aumentata e le principali criticità che i futuri insegnanti percepiscono in relazione alla sua implementazione, sono stati analizzati congiuntamente sia dati quantitativi che qualitativi raccolti nella fase post esperienza formativa, attraverso una specifica sezione nel questionario.

Tale sezione comprende item a risposta chiusa su scala Likert e domande a risposta aperta, che hanno consentito di rilevare sia valutazioni di carattere generale che riflessioni personali e approfondimenti descrittivi. L'integrazione tra i due approcci ha reso possibile una lettura più completa e articolata del fenomeno.

Di seguito vengono presentati i risultati riferiti alle ultime due domande di ricerca.

RQ3. In quali contesti disciplinari e formativi, i futuri insegnanti ritengono che la realtà aumentata possa essere implementata e con quale valore aggiunto rispetto ai metodi didattici tradizionali?

Per approfondire questa domanda di ricerca, è stato analizzato sia un item a risposta chiusa, volto ad indagare la percezione di utilità e la disponibilità dei futuri insegnanti ad un possibile utilizzo nella pratica didattica, sia le risposte aperte, che restituito esempi concreti di possibili applicazioni didattiche dell'AR fornite dagli stessi studenti.

a) Rispetto ai metodi tradizionali, quanto pensi che la realtà aumentata (AR) migliori la comprensione dei concetti didattici?

L'item è stato proposto su una scala Likert a 5 punti (1= fortemente in disaccordo, 5= fortemente d'accordo).

Come si evince dalla Figura 7.6, il 50.8% dei futuri insegnanti si è dichiarato d'accordo e il 23.4% fortemente d'accordo. Solo il 24.6% ha assunto una posizione neutrale, mentre le percentuali di disaccordo sono inferiori all'1% e, pertanto, trascurabili. Questi dati evidenziano una percezione complessivamente positiva del valore dell'AR come strumento didattico efficace, ritenuto capace di facilitare la comprensione dei concetti rispetto ai metodi tradizionali.

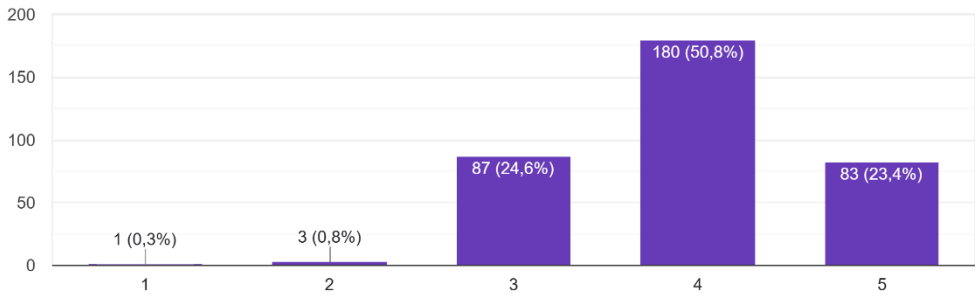


Figura 7.6 - Rispetto ai metodi tradizionali, quanto pensi che la realtà aumentata (AR) migliori la comprensione dei concetti didattici?

b) Contesti disciplinari di applicazione dell'AR

Per approfondire in quali contesti disciplinari e formativi le percezioni rilevate trovassero maggiore riscontro, è stata proposta una domanda

aperta finalizzata a raccogliere esempi concreti di utilizzo dell'AR, ritenuti particolarmente efficaci dai futuri insegnanti.

Le risposte fornite sono state analizzate mediante un processo di analisi tematica, volto ad identificare i nuclei concettuali ricorrenti, organizzate in categorie significative (Braun & Clark, 2006). Per l'occorrenza è stato utilizzato il software MAXQDA.

In una prima fase è stata condotta una lettura esplorativa di tutte le risposte, successivamente sottoposte ad un processo di codifica per individuare le unità di significato rilevanti per la domanda di ricerca. In seguito, i codici emersi sono stati raggruppati in categorie tematiche più ampie, che rappresentano gli aspetti principali emersi dall'analisi.

Per rafforzare la validità del processo, le categorie sono state accompagnate dalle frequenze di occorrenza e da estratti testuali, utili a illustrare le evidenze più significative. Le percentuali fanno riferimento al numero di citazioni relative a ciascuna categoria e non al numero di rispondenti, poiché in alcuni casi sono state indicate più discipline in una singola risposta (Tabella 7.10).

Categoria disciplinare	Esempi di contenuti citati	Frequenza (%)	Citazione rappresentativa
Scienze, Biologia, Anatomia	Corpo umano, cellule, DNA, vulcani, ciclo dell'acqua, fotosintesi	62.3%	*"In scienze, l'AR è efficace per esplorare il corpo umano in 3D o visualizzare reazioni chimiche, rendendo l'apprendimento più intuitivo e coinvolgente."*
Geografia, Scienze della Terra	Studio di Paesaggi, rilievi, vulcani, sistema solare e orientamento spaziale	23.6%	*"In geografia l'AR può essere utilizzata per visualizzare rilievi montuosi, vulcani attivi o confini politici, permettendo agli studenti di viaggiare virtualmente nel mondo."*
Storia e Storia dell'Arte	Civiltà antiche, monumenti, musei, ambienti storici, opere d'arte	15.4%	*"In storia, l'AR può ricostruire ambienti antichi come il Colosseo o Pompei, rendendo la lezione più immersiva e coinvolgente."*
Matematica e Geometria	Solidi geometrici, Funzioni grafiche, tabelline	10.8%	*"In matematica, l'AR è particolarmente efficace per visualizzare solidi geometrici in 3D, facilitando la comprensione di concetti astratti."*
Fisica e Chimica	Esperimenti di fisica e di chimica	5.2%	*"Nell'ambito della fisica e della chimica, grazie all'aiuto dell'AR si possono effettuare degli esperimenti in modo sicuro. Per esempio, si può visualizzare la traiettoria di un proiettile o esplorare le proprietà di un materiale o analizzare i campi elettromagnetici"*

Tabella 7.10 – Categorie Tematiche emerse dalle risposte aperte relative agli ambiti disciplinari di applicazione della realtà aumentata

Come evidenziato dalla sintesi dei risultati riportati nella Tabella 7.10, il settore disciplinare più frequentemente citato è quello delle Scienze, Biologia e Anatomia (62.3%), giustificato dal fatto che grazie al supporto dell'AR gli studenti possono analizzare più dettagliatamente elementi

complessi come le cellule, il corpo umano e i processi naturali difficilmente osservabili ad occhio nudo.

Segue l'ambito della Geografia e delle Scienze della Terra (23.6%), in cui l'AR si rivela particolarmente utile per esplorare e osservare paesaggi naturali o visualizzare il sistema solare direttamente in aula. Seguono la Storia e la Storia dell'Arte (15.4%), discipline nelle quali l'AR permette di ricostruire ambientazioni del passato, monumenti o opere d'arte, rendendo possibile l'arricchimento di visite museali con contenuti interattivi.

Una percentuale inferiore (10.8%), invece, attribuisce all'AR un valido supporto per l'insegnamento della Matematica e della Geometria, grazie alla possibilità di visualizzare tridimensionalmente i solidi e facilitare la comprensione di concetti matematici astratti.

Infine, una percentuale ancora più bassa (5.2%) è riferita alla Chimica e Fisica, dove si viene riconosciuto all'AR un valido supporto laboratoriale, grazie al quale si possono condurre esperimenti in contesti controllati e sicuri.

Complessivamente, i dati qualitativi confermano e arricchiscono le evidenze quantitative. Infatti, i futuri insegnanti riconoscono che l'AR, rispetto ai metodi tradizionali, offre potenzialità significative che permettono di arricchire i processi didattici, di rendere concreti e accessibili i concetti complessi, di aumentare la motivazione e favorire l'apprendimento esperienziale Pur emergendo un focus particolare rispetto alle discipline scientifiche, tuttavia non si escludono applicazioni in ambito storico e artistico, suggerendo una percezione trasversale della tecnologia all'interno di vari contesti educativi.

RQ4. Quali criticità e barriere vengono percepite dai futuri insegnanti in relazione all'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica?

a) Criticità percepite nell'integrazione dell'AR

Al fine di indagare le principali criticità percepite dai futuri insegnanti nell'integrazione della realtà aumentata, è stata posta la seguente domanda: *Quali ritieni possano essere le principali difficoltà o ostacoli legati all'integrazione della realtà aumentata nella didattica?* L'item prevedeva più opzioni di risposta predefinite (Figura 7.7).

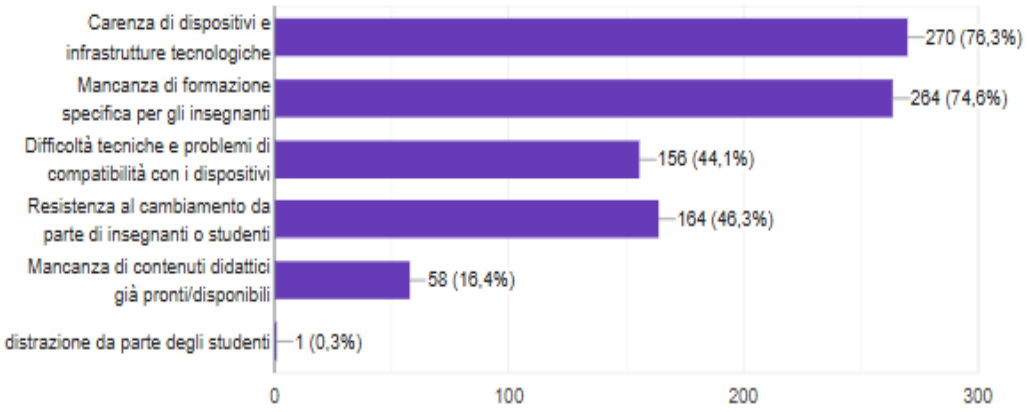


Figura 7.7 - Quali ritieni possano essere le principali difficoltà o ostacoli legati all'integrazione della realtà aumentata nella didattica delle diverse discipline scolastiche?

Come emerge chiaramente dal grafico nella Figura 7.7, i futuri insegnanti hanno fatto corrispondere alle principali barriere nell'implementazione dell'AR fattori di natura sistemica e strutturale. La percentuale più alta è collegata alla carenza di dispositivi e di infrastrutture tecnologiche (76.3%), seguita dalla mancanza di formazione specifica per gli insegnanti (74.6%). L'emergere di queste due categorie, in maniera così preponderante, pone in evidenza il fatto che l'effettiva introduzione dell'AR nelle classi dipende sia dalla disponibilità di risorse (tablet, linea internet, visori, software adeguati) sia dalla preparazione metodologica degli insegnanti. Un altro dato particolarmente rilevante è dato dalla resistenza al cambiamento da parte di insegnanti e studenti (46.3%). I futuri insegnanti hanno la consapevolezza che, spesso, è proprio la refrattarietà rispetto alla novità che va ad inficiare l'introduzione di elementi innovativi. Inoltre, dato da non sottovalutare, viene sottolineata anche la difficoltà tecnica e di compatibilità dei dispositivi (44.1%), che si ricollega ad un piano più operativo ma che rileva la necessità di un supporto continuo e costante. Meno rilevante, dal loro punto di vista, è la mancanza di contenuti didattici già pronti per essere utilizzati (16.4%) e il fatto che l'AR possa diventare una fonte di distrazione per gli studenti (0.3%).

Nel complesso, i dati mettono in luce come le criticità maggiormente percepite non riguardino tanto le potenzialità dell'AR, quanto le condizioni necessarie per la sua implementazione.

b) Preoccupazioni nell'implementazione dell'AR in classe

Per comprendere in maniera più articolata e approfondita le preoccupazioni dei futuri insegnanti, è stata posta, a seguire, questa domanda aperta: *Quali sono le tue attuali preoccupazioni relative ad un possibile utilizzo in classe della realtà aumentata?*

Le risposte raccolte sono state analizzate attraverso lo stesso procedimento di analisi tematica adottato per la precedente domanda aperta, con il supporto del software MAXQDA (Tabella 7.11).

Categoria: Preoccupazioni	Descrizione	Frequenza (%)	Citazione rappresentativa
Mancanza di risorse e accesso tecnologico	Scuole prive di dispositivi adeguati, connessione instabile, costi elevati per gli strumenti e i software	40.6%	*"Una delle principali preoccupazioni è la disponibilità e funzionalità dei dispositivi: non tutte le scuole dispongono di tablet o smartphone adeguati."*
Competenze e formazione dei docenti	Carenze formative nell'uso della tecnologia immersiva e resistenze del personale docente	25, 8%	*"La mia non eccellente preparazione in ambito tecnologico mi fa temere di non essere in grado di usarla efficacemente."*
Distrazione e uso superficiale	Rischio che l'AR diventi un gioco o si riveli un semplice effetto "wow"	20.3%	*"Una preoccupazione è che gli studenti si distraggano, concentrandosi più sull'aspetto spettacolare che sui contenuti."*
Dipendenza dall'AR e sostituzione del metodo tradizionale	Paura che l'AR riduca la creatività, il pensiero critico o sostituisca la didattica frontale	10.3%	*"Temo che si perda il contatto con la realtà e che l'AR sostituisca del tutto i metodi tradizionali."*
Problemi di privacy e sicurezza	Rischi legati al trattamento dei dati personali e alla sicurezza digitale	5.3%	*"Le mie principali preoccupazioni riguardano la privacy e l'uso eccessivo della tecnologia."*

Tabella 7.11 – Categorie Tematiche emerse dalle risposte aperte relative alle criticità percepite rispetto all'implementazione dell'AR

L'analisi tematica pone in rilievo come la principale preoccupazione dei futuri insegnanti sia la mancanza di risorse tecnologiche adeguate (40.6%). Infatti, la disponibilità dei dispositivi nelle scuole, la connessione stabile e i vari costi, sono percepiti come fattori critici che potrebbero limitare l'integrazione dell'AR nelle scuole.

Un altro nucleo tematico emerso è legato alle competenze e alla formazione degli insegnanti (25.8%). Gli studenti hanno espresso il timore di non essere in grado di utilizzare la tecnologia immersiva al pieno delle sue potenzialità senza un valido supporto e un'adeguata formazione.

Una preoccupazione interessante emersa è legata al rischio di distrazione da parte degli studenti (20.3%). I futuri insegnanti hanno evidenziato come l'interesse suscitato dall'AR possa essere legato, spesso, all'effetto di novità apportata dalla tecnologia e, quindi, poi svanire, perdendo di vista gli obiettivi di apprendimento, compromettendo così l'efficacia didattica.

Più contenute, ma pur sempre presenti, sono le preoccupazioni relative al rischio che l'AR possa sostituire i metodi tradizionali di insegnamento o che porti ad una dipendenza tecnologica (10.3%) e quelle riguardanti la privacy e la sicurezza digitale, che temono possano non essere garantite (5.3%).

Dall'integrazione dei dati qualitativi con i dati quantitativi, emerge un quadro coerente e complementare delle principali criticità e ostacoli percepiti dai futuri insegnanti rispetto all'integrazione dell'AR nella prassi didattica.

I risultati, in sintesi, mettono in evidenza come le barriere non siano da annoverare alla validità pedagogica dello strumento, quanto piuttosto a fattori tecnici e formativi, che condizionano l'adozione e creano dei pregiudizi sull'eventuale possibilità di poterne approfondire le potenzialità.

In risposta alla RQ4, dunque, si evidenza come l'AR sia percepita come una risorsa promettente, la cui implementazione efficace, benché richieda condizioni strutturali adeguate, una formazione specifica e una progettualità critica e consapevole.

7.6 Analisi esplorative aggiuntive

Al fine di approfondire ulteriormente le relazioni tra le variabili indagate, sono state condotte alcune analisi esplorative aggiuntive. In particolare, si è voluto verificare in che misura le competenze digitali autopercepite (rilevate attraverso la scala DigCompEdu) potessero agire come predittori degli atteggiamenti verso l'AR e delle competenze tecno-didattiche percepite, misurate rispettivamente attraverso le scale ARAAS e TARC. Inoltre, è stata analizzata la correlazione tra le due scale principali del questionario AR-TECH, al fine di rilevare eventuali relazioni significative tra atteggiamenti e competenze percepite nei confronti dell'integrazione della realtà aumentata in ambito didattico.

7.6.1 Regressioni lineari: DigCompEdu come predittore delle scale ARAAS e TARC

È stato analizzato in che misura la percezione delle proprie competenze digitali potesse rappresentare un predittore significativo degli atteggiamenti e delle competenze tecniche e didattiche verso la realtà aumentata. A tal fine sono state condotte analisi di regressioni lineari semplici, dapprima sulle dimensioni della scala ARAAS e successivamente su quelle della scala TARC.

In entrambi i casi, la variabile indipendente è rappresentata dal livello percepito di competenza digitale (DigCompEdu), trattata come variabile continua, in linea con quanto proposto in letteratura (Norman, 2010). Le variabili dipendenti corrispondono alle dimensioni delle rispettive scale prese in esame.

Per quanto riguarda la scala ARAAS, i risultati mostrano che i valori del DigCompEdu non sono dei predittori significativi per la dimensione *Rilevanza* ($\beta = -.012$, $t = -0.226$, $p = .822$, $R^2 = .000$), né per la dimensione

Soddisfazione (β = .068, t = 1.282, p = .201, R^2 = .002). Tuttavia, la regressione risulta significativa per la dimensione *Affidabilità* (β = .125, t = 2.374, p = .018, R^2 = .014), che indica che un livello più alto percepito di competenza digitale si associa ad una maggiore fiducia nella capacità che lo studente ripone nella realtà aumentata per migliore la qualità della didattica (Tabella 7.12).

Nonostante *l'R^2* abbia un valore modesto, il risultato suggerisce che la competenza digitale può influenzare, seppur limitatamente, la percezione rispetto all'affidabilità della realtà aumentata.

DIMENSIONI ARAAS	**ß STANDARDIZZATO**	**t**	**p**	**R^2**
Rilevanza (Media P)	–.012	–0.226	.822	.000
Soddisfazione (Media S)	.068	1.282	.201	.002
Affidabilità (Media AF)	.125	2.374	.018	.014

Tabella 7.12 – Regressione Lineare: Livelli DigCompEdu - ARAAS

È stata condotta una regressione anche per la scala TARC, per valutare se la percezione del proprio livello di competenza digitale (DigCompEdu) potesse essere predittivo dei risultati riferiti alle quattro dimensioni della scala TARC (Atteggiamenti, Creazione, Uso, Gestione).

I risultati, come mostra la Tabella 7.13, rilevano che il livello percepito di competenza digitale è un predittore, ma in negativo, solo rispetto alla dimensione degli *Atteggiamenti* (β = –0.105, t = –1.99, p = .048), anche se con un effetto molto contenuto (R^2 = 0.011). In riferimento a questo caso, si osserva, infatti, che livelli più elevati nel DigCompEdu sono associati ad atteggiamenti lievemente più negativi rispetto all'uso della realtà aumentata. Questo, probabilmente, è dovuto al fatto che i partecipanti, con livelli più elevati di competenza digitale, hanno sviluppato una maggiore consapevolezza critica rispetto ai limiti e alle sfide connesse con l'uso didattico dell'AR. In alternativa, è possibile pure che nutrissero aspettative più alte, in merito ai software utilizzati o all' esperienza in AR proposta durante il percorso formativo.

Per quanto riguarda le altre dimensioni – *Creazione, Uso e Gestione* – non sono risultate significativamente predette dai valori del DigCompEdu (tutti $p > .05$).

Il risultato indica complessivamente che le percezioni sul proprio livello di competenza digitale non ha un ruolo predittivo rilevante rispetto alle competenze tecno-didattiche per implementare l'AR nella prassi educativa.

DIMENSIONI TARC	**ß STANDARDIZZATO**	**t**	**p**	**R^2**
Atteggiamenti (Media A)	–0.105	–1.99	.048	0.0111
Creazione (Media C)	–0.0302	–0.566	.572	0.0009
Uso (Media U)	–0.0624	–1.17	.242	0.0039
Gestione (Media M)	–0.0998	–1.88	.061	0.0099

Tabella 7.13 – Regressione Lineare: Livelli DigCompEdu – TARC

7.6.2 Analisi delle correlazioni tra le scale ARAAS e TARC

È stata condotta un'analisi di correlazione (*coefficiente rho di Spearman*) tra le dimensioni della scala ARAAS e quelle della scala TARC, con l'obiettivo di esplorare eventuali relazioni tra gli atteggiamenti nei confronti dell'AR e le competenze autopercepite per il suo utilizzo didattico.

Come evidenziato dalla Tabella 7.14, i risultati mostrano chiaramente correlazioni positive e significative tra tutte le dimensioni dell'ARAAS (*Rilevanza, Soddisfazione e Affidabilità*) e le dimensioni *Atteggiamenti* e *Uso* della scala TARC (r compresi tra .57 e .80, $p < .001$). Si osserva, peraltro, che la dimensione *Atteggiamenti* TARC è quella che presenta correlazioni alte con tutte le dimensioni ARAAS, con un picco di r=.805 con la dimensione *Soddisfazione*, suggerendo che un atteggiamento favorevole verso l'AR è strettamente associato alla percezione di sentirsi competenti nel suo impiego didattico.

Invece, la dimensione *Creazione* della scala TARC non ha mostrato correlazioni significative con le varie dimensioni ARAAS (tutti $p > .05$), mentre la dimensione *Gestione* ha evidenziato una correlazione significativa solo con *Uso* ($r = .728$, $p < .001$), ma non con gli *Atteggiamenti* (ARAAS).

In conclusione, l'analisi evidenzia che atteggiamenti positivi verso l'AR si associano prevalentemente alla percezione di competenze generali per l'utilizzo dell'AR, mentre, invece, competenze più specifiche (come, ad esempio, la creazione di contenuti in AR) risultano indipendenti dalle dimensioni attitudinali.

		Media P post	Media S post	Media AF post	Media A post	Media C post	Media U post	Media M post
Media P post	Rho di Spearman	—						
	gdl	—						
	valore p	—						
Media S post	Rho di Spearman	-0.690 ***	—					
	gdl	352	—					
	valore p	< .001	—					
Media AF post	Rho di Spearman	-0.623 ***	0.768 ***	—				
	gdl	352	352	—				
	valore p	< .001	< .001	—				
Media A post	Rho di Spearman	-0.704 ***	0.805 ***	0.755 ***	—			
	gdl	352	352	352	—			
	valore p	< .001	< .001	< .001	—			
Media C post	Rho di Spearman	-0.037	-0.013	-0.005	-0.019	—		
	gdl	352	352	352	352	—		
	valore p	0.484	0.803	0.926	0.719	—		
Media U post	Rho di Spearman	-0.567 ***	0.663 ***	0.665 ***	0.736 ***	-0.016	—	
	gdl	352	352	352	352	352	—	
	valore p	< .001	< .001	< .001	< .001	0.765	—	
media M post	Rho di Spearman	-0.055	0.016	0.026	0.033	0.728 ***	0.047	—
	gdl	352	352	352	352	352	352	—
	valore p	0.301	0.770	0.625	0.535	< .001	0.375	—

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Tabella 7.14 – Matrice di Correlazione tra le scale ARAAS e TARC

7.7 Riflessioni Conclusive

Il percorso formativo ha permesso di esplorare in profondità le percezioni, gli atteggiamenti e le competenze dei futuri insegnanti rispetto all'uso didattico della realtà aumentata nella scuola primaria. L'analisi dei dati ha restituito evidenze significative interessanti, utili a comprendere come i futuri insegnanti percepiscono questa tecnologia innovativa e quali sfide e ostacoli ne condizionano l'implementazione nella loro prassi didattica. Sono emersi, dunque, spunti di riflessione importanti per comprendere sia le effettive opportunità offerte dall'AR che le condizioni

necessarie affinché quest'ultima possa consolidarsi come risorsa educativa autentica e sostenibile.

Il percorso formativo *Teach in AR* ha rappresentato un'occasione significativa per analizzare gli effetti concreti dell'integrazione della realtà aumentata nel curriculum dei futuri insegnanti, in un momento storico in cui l'AR ha acquisito notevole importanza come risorsa digitale per la trasformazione dei sistemi educativi. I cambiamenti nei modi di apprendere portano gli insegnanti a nuove riflessioni pedagogiche e ad integrare nuove strategie e risorse nelle loro progettazioni didattiche.

La letteratura di riferimento mostra una tendenza ormai consolidata, ovvero che gli insegnanti in servizio e in formazione, manifestano un atteggiamento generalmente positivo nei confronti del potenziale della realtà aumentata nell'arricchire l'esperienza didattica (Belda-Medina & Calvo-Ferrer, 2022; Nikou et al., 2024). L'intervento non ha semplicemente aumentato il gradimento verso la tecnologia, ma ha rafforzato la percezione di competenza progettuale, elemento cruciale per un'adozione sostenibile nel tempo. L'impatto formativo dell'intervento può essere ulteriormente interpretato alla luce dei contributi teorici sulla professionalità docente, in particolare rispetto alla *teacher agency*. Secondo Biesta, et al. (2015), l'*agency* del docente non è una caratteristica individuale stabile, ma una capacità situata che emerge dall'interazione tra risorse personali, contesto e possibilità progettuali. Pertanto, il rafforzamento delle competenze progettuali e dell'autoefficacia percepita rispetto all'uso dell'AR può essere interpretato come un ampliamento dello spazio di azione professionale dei futuri insegnanti.

Tuttavia, è bene sottolineare che l'entusiasmo iniziale non si traduce sempre in un'effettiva competenza d'uso e in una predisposizione nell'integrazione concreta nel contesto scolastico.

I dati raccolti suggeriscono che, nonostante ci fossero già in partenza atteggiamenti positivi e favorevoli verso la tecnologia proposta, è stato il percorso stesso a consolidare la fiducia nelle proprie competenze tecno-didattiche e a sviluppare competenze specifiche per l'implementare efficacemente l'AR. Tutto ciò è stato reso possibile grazie a lezioni teoriche, approfondimenti, attività laboratoriali e alle progettazioni guidate, unite alle riflessioni critiche sul percorso.

Grazie al coinvolgimento degli studenti è stato possibile sperimentare un percorso che ha previsto anche la creazione di un artefatto digitale rivolto alle classi delle scuole primarie. Inoltre, questa esperienza ha consentito di introdurre i futuri insegnanti a questa innovativa tecnologia, favorendo la loro partecipazione attiva al cambiamento culturale in atto e contribuendo, parallelamente, ad arricchire il curriculum formativo e professionale.

I futuri insegnanti riconoscono ampie possibilità di applicazione dell'AR in diversi ambiti disciplinari, con particolare attenzione alle discipline scientifiche, confermando la trasversalità di applicazione dell'AR e i suoi vantaggi didattici.

I dati raccolti suggeriscono che, nonostante ci fossero già in partenza atteggiamenti positivi e favorevoli verso la tecnologia proposta, è stato il percorso stesso a consolidare la fiducia nelle proprie competenze tecno-pedagogiche e didattiche e a sviluppare competenze specifiche per l'implementare efficacemente l'AR. Tutto ciò è stato reso possibile grazie a lezioni teoriche, approfondimenti, attività laboratoriali e alle progettazioni guidate, unite alle riflessioni critiche sul percorso.

Dalle analisi delle frequenze iniziali, infatti, oltre la metà dei partecipanti si è definita per nulla o poco competente nell'utilizzo dell'AR per progettare attività didattiche. Questo conferma, peraltro, quanto stabilito da altre ricerche sul tema (Marín-Marín et al., 2023; Lasica et al., 2020). Dall'analisi dei dati ottenuti attraverso la *Correlazione di Spearman* tra le competenze digitali autopercepite – secondo il framework DigCompEdu – e gli atteggiamenti verso l'uso dell'AR, non sono state evidenziate alcune associazioni significative. Per cui, si deduce che la propensione ad integrare la tecnologia immersiva non dipende in maniera diretta dal grado di padronanza digitale, ma può essere influenzata da altri fattori, come la motivazione personale o la curiosità.

Parallelamente, però, emergono alcune criticità e ostacoli legati, in particolare, alla carenza di risorse tecnologiche nelle scuole o alla mancanza di formazione specifica degli insegnanti o alle resistenze al cambiamento degli stessi. Queste evidenze pongono in luce un dato interessante, ovvero il fatto che i futuri insegnanti riconoscono l'AR come una tecnologia promettente, capace di arricchire i processi educativi ma che la sua effettiva integrazione richiede condizioni strutturali adeguate e percorsi di formazione continuativi. Queste percezioni, che mettono in evidenza gli elementi negativi, trovano corrispondenza in letteratura, dove tra gli ostacoli all'implementazione vengono segnalati la mancanza di competenze degli insegnanti per poter integrare in maniera efficace la tecnologia in classe (Arici et al., 2021; Perifanou et al., 2023; Nikou et al., 2021).

L'adozione dell'AR in classe non dipende unicamente dalla disponibilità tecnologica, ma è strettamente legata al grado di accettazione da parte dei docenti, intesa come combinazione di atteggiamento positivo, fiducia e percezione di utilità. È, quindi, fondamentale continuare a progettare interventi che, oltre all'alfabetizzazione tecnica, stimolino la consapevolezza metodologica e la capacità di visione pedagogica.

Nonostante i risultati ottenuti offrano spunti significativi, lo studio presenta alcune limitazioni. In primo luogo, gli strumenti di rilevazione adottati si basano sull'autovalutazione, elemento che introduce un grado di soggettività nelle risposte. In secondo luogo, la specificità del contesto geografico e culturale in cui la ricerca è stata condotta, riduce la possibilità della generalizzazione dei risultati. Inoltre, lo studio ha riguardo esclusivamente i futuri insegnanti, escludendo gli insegnanti in servizio, i quali per loro esperienza professionale diretta, potrebbero offrire prospettive diversificate sul fenomeno. Sebbene l'assenza di un gruppo di controllo rappresenti un limite dal punto di vista della validità interna, il disegno pretest–posttest ha consentito comunque di osservare cambiamenti nelle percezioni, negli atteggiamenti e nelle competenze

autovalutate dei partecipanti in seguito all'esperienza formativa. È opportuno evidenziare che il campione utilizzato nello studio è di tipo non probabilistico, essendo costituito da studenti appartenenti a un unico contesto universitario. Di conseguenza, i risultati ottenuti devono essere interpretati con cautela in termini di generalizzabilità, poiché riflettono le caratteristiche specifiche del contesto formativo considerato.

Pertanto, alla luce di tali limiti, è auspicabile, in studi futuri, ampliare la tipologia di campione, includendo insegnanti in servizio e una maggiore eterogeneità in termini di variabili sociodemografiche, così da incrementare la robustezza delle inferenze.

Tra gli sviluppi futuri si prevede uno studio longitudinale con una formazione ad intervalli regolari, in modo da indagare gli effetti dei cambiamenti sulle percezioni e sulle competenze degli insegnanti a seguito di continuative esperienze di formazione.

Riferimenti Bibliografici

Arici, F., Yilmaz, R. M., & Yilmaz, M. (2021). Affordances of augmented reality technology for science education: Views of secondary school students and science teachers. *Human Behavior and Emerging Technologies*, *3*(5), 1153-1171.

Belda-Medina, J., & Calvo-Ferrer, J. R. (2022). Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework. *Education and Information Technologies*, *27*(9), 12123-12146.

Bergman, M. M. (2008). Advances in mixed methods research: Theories and applications.

Biesta, G., Priestley, M., & Robinson, S. (2015). The role of beliefs in teacher agency. Teachers and teaching, 21(6), 624-640.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, *3*(2), 77-101

Hervás-Gómez, C., Toledo-Morales, P., & Díaz-Noguera, M. D. (2017). Augmented reality applications attitude scale (ARAAS): Diagnosing the attitudes of future teachers. *The New Educational Review*, *50*, 215-226.

Lasica, I. E., Meletiou-Mavrotheris, M., & Katzis, K. (2020). Augmented reality in lower secondary education: A teacher professional development program in Cyprus and Greece. *Education Sciences*, *10*(4), 121

Marín-Marín, J. A., López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., & Moreno-Guerrero, A. J. (2023). Attitudes towards the development of good practices with augmented reality in secondary education teachers in Spain. *Technology, Knowledge and Learning*, *28*(4), 1443-1459.

Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Advances in health sciences education*, *15*(5), 625-632.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2021). Towards a teachers' augmented reality competencies (TARC) framework. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning* (pp. 203-212). Cham: Springer International Publishing.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024). Exploring teachers' competences to integrate augmented reality in education: Results from an international study. *TechTrends*, *68*(6), 1208-1221.

Perifanou, M. A., Tzafilkou, K., & Economides, A. A. (2023). Teacher intention to transfer ICT training when integrating digital technologies in education: The teacher transfer of ICT training model (TeTra-ICT). *European Journal of Education*, *58*(1), 111-129.

Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*.

Redecker, C., & Punie, Y. (2017). Digital competence framework for educators (DigCompEdu). *Brussels: European Union*.

Trinchero, R. (2012). La ricerca e la sua valutazione. Istanze di qualità per la ricerca educativa. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, *6*, 75-96.

Capitolo VIII

Applicazione del framework *Teach in AR* per l'insegnamento della Geometria nella Scuola Primaria

Introduzione

L'insegnamento della geometria nella scuola primaria rappresenta una sfida educativa significativa, poiché richiede agli alunni la capacità di confrontarsi con concetti spesso astratti e di sviluppare abilità di visualizzazione spaziale non immediatamente intuitive. Lo studio della geometria, tuttavia, non si limita alla comprensione di contenuti teorici, ma costituisce anche un'importante opportunità per sviluppare competenze trasversali quali, ad esempio, il pensiero critico, la capacità di astrazione, il ragionamento logico e il *problem solving*, ovvero competenze sempre più rilevanti nella società contemporanea.

In questo complesso scenario, la figura dell'insegnante assume un ruolo cruciale nel mediare l'apprendimento e nel rendere accessibili concetti altrimenti complessi. Ciò implica non solo una solida padronanza dei contenuti disciplinari, ma anche il possesso delle competenze metodologiche e tecnologiche necessarie per progettare ambienti di apprendimento innovativi, significativi e coinvolgenti.

Il presente capitolo esplora il potenziale della realtà aumentata (*Augmented Reality, AR*) nel supportare l'insegnamento-apprendimento della geometria nella scuola primaria, a partire dalla formazione iniziale dei futuri insegnanti. A tal fine, viene presentato un intervento formativo rivolto agli studenti, futuri insegnanti, frequentanti l'insegnamento di *Didattica della Matematica per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio*, corso curricolare del CdLM a Ciclo Unico di Scienze della Formazione Primaria, dell'Università degli Studi di Palermo (a.a. 2024/2025).

Come illustrato nel Cap. VI, il framework *Teach in AR,* basato sul modello di Instructional Design ADDIE, offre una guida operativa per integrare l'AR nella progettazione didattica. Nel presente capitolo se ne propone l'applicazione per l'insegnamento della geometria nella scuola primaria, con particolare attenzione alla progettazione e alla realizzazione di un artefatto digitale aumentato. L'intervento adotta una prospettiva pedagogico-didattica che concepisce la tecnologia immersiva come strumento integrato nei processi di insegnamento-apprendimento e orientato a favorire una maggiore interazione, coinvolgimento e partecipazione degli alunni, per ridurre la complessità dei concetti geometrici.

Elemento chiave del percorso è stata la realizzazione di libri illustrati e aumentati, che rappresentano un prodotto autentico di apprendimento, in grado di sintetizzare le competenze didattiche, disciplinari e tecnologiche acquisite durante il percorso. L'utilizzo del *Digital Storytelling* ha permesso ai futuri insegnanti di facilitare l'acquisizione dei contenuti, mediante

narrazioni visuali e interattive. La componente in AR ha arricchito i contenuti con elementi tridimensionali interattivi, in modo da favorire la visualizzazione spaziale e la manipolazione concettuale delle figure solide.

Il capitolo approfondisce le diverse fasi che compongono il framework *Teach in AR* e le scelte metodologico-procedurali adottate. Particolare attenzione sarà dedicata all'analisi dell'esperienza laboratoriale, alle competenze sviluppate e alla riflessione critica sull'uso dell'AR. Nella seconda parte, verranno presentati e discussi i risultati emersi dall'analisi dei dati raccolti attraverso il questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary Schoo*l), somministrato in modalità pre e post intervento, con l'obiettivo di valutare l'efficacia dell'intervento formativo proposto.

8.1 Realtà Aumentata per l'insegnamento e apprendimento della geometria

La geometria rappresenta una componente fondamentale della matematica, strettamente connessa allo studio delle forme, delle configurazioni spaziali e delle relazioni tra gli oggetti nello spazio. Nonostante la sua importanza nei processi formativi, è spesso percepita dagli studenti come una delle aree più astratte e complesse della matematica, a causa delle difficoltà nel visualizzare e manipolare mentalmente le strutture geometriche (Nadzeri et al., 2024; Ruslau & Dadi, 2025). Tuttavia, la geometria riveste un ruolo chiave sia sul piano teorico che per le numerose applicazioni in ambiti come l'architettura, l'ingegneria, il design e la robotica (Sunzuma, 2023). In virtù del suo profondo legame con la realtà e con l'esperienza diretta quotidiana, offre ampie possibilità per essere trasmessa in modo accessibile e significativo, favorendo un apprendimento situato ed esperienziale. Infatti, le forme geometriche sono presenti in molti aspetti della vita quotidiana, dagli edifici, ai segnali stradali, agli elementi naturali (es. come le strutture esagonali dei nidi d'ape), rendendo possibile un approccio didattico che valorizzi la connessione tra sapere matematico e mondo reale (Ruslau & Dadi, 2025).

La geometria costituisce un pilastro fondamentale nello sviluppo cognitivo degli studenti, in quanto promuove abilità trasversali quali il *problem solving* e il pensiero critico, che sono competenze importanti nella società contemporanea. La letteratura pone in luce come l'apprendimento geometrico, soprattutto se supportato da approcci innovativi come il *problem-based learning* o *l'inquiry based learning* integrati ad ambienti digitali dinamici, contribuisce in modo significativo al potenziamento delle capacità di ragionamento e alla creatività degli studenti. Studi recenti hanno evidenziato il fatto che la risoluzione di problemi geometrici richiede non solo conoscenze concettuali, ma anche capacità di analisi critica e di autoregolazione cognitiva (Bayuningsih et al., 2018). Secondo Nusaibah et al. (2021), il pensiero geometrico rappresenta un indicatore fondamentale

per un apprendimento matematico efficace, poiché riflette la capacità degli studenti di ragionare, visualizzare e risolvere problemi.

Sebbene sia riconosciuta la rilevanza formativa della disciplina, l'apprendimento della geometria si rivela, spesso, un compito complesso per gli alunni, già a partire dalla scuola primaria. Numerosi studi, infatti, evidenziano come gli alunni manifestano difficoltà nella comprensione dei concetti fondamentali, nel ragionamento geometrico e nella risoluzione di problemi. Queste criticità derivano, soprattutto, dall'alto livello di astrazione della disciplina, che richiede uno sforzo collegato alla visualizzazione spaziale, in particolare, in relazione alla comprensione di figure solide tridimensionali (Nadzeri et al., 2024).

A tal proposito, in letteratura, si insiste sull'importanza di trasmettere agli alunni la distinzione tra realtà e geometria, poiché la prima non può essere immediatamente tradotta nelle categorie geometriche (Parzysz, 1988). È necessario, dunque, sviluppare negli alunni la consapevolezza che la disciplina costituisce uno strumento per interpretare e modellizzare il reale, evitando di ridurre tale passaggio ad una semplice sovrapposizione e semplificazione, poiché la maturazione del pensiero geometrico è un processo graduale e complesso che si basa sull'acquisizione progressiva di una consapevolezza della relazione tra visione, figura, concetti, pensiero e parola (Scali, 2020). Per tale ragione, nasce l'esigenza, già a partire dalla scuola primaria, di proporre attività che rendano significativo lo studio dei concetti geometrici, facilitate e sostenute dal ruolo dell'insegnante che ne favorisca la consapevolezza e ne supporti il processo (Scali, 2020).

Peraltro, diversi studi confermano che, spesso, gli alunni della scuola primaria presentano livelli molto bassi di pensiero geometrico, uniti a limitate capacità di visualizzazione spaziale (Ruslau & Dadi, 2025). Questa lacuna incide negativamente sulle loro performance e sulla comprensione, rispetto alla quale si osserva una contraddizione tra l'immaginazione mentale delle forme geometriche e la loro rappresentazione grafica (Nadzeri et al., 2024).

In questo contesto, è bene sottolineare quanto importante sia lo sviluppo della visualizzazione spaziale, che rappresenta una competenza cognitiva fondamentale per l'apprendimento della geometria, poiché consente agli alunni di costruire, manipolare e trasformare mentalmente immagini visive di oggetti nello spazio, compiendo operazioni come rotazioni, trasformazioni e cambiamenti di prospettiva (Garzia & Esposito, 2024; Abdul Hanid et al., 2022; Frick, 2019). Secondo Bertoline (1998), la visualizzazione è la capacità di un individuo di costruire, manipolare e definire mentalmente immagini e di elaborare concetti astratti senza la necessità di un riferimento fisico.

Nel contesto dell'educazione matematica, questa abilità si sviluppa gradualmente durante l'infanzia ed è strettamente connessa alle fasi del pensiero logico e spaziale descritte da Piaget. Lo sviluppo cognitivo degli alunni della scuola primaria, infatti, procede attraverso tre fasi

fondamentali (Piaget, 2013). Nella prima fase, gli alunni lavorano su immagini in 2D per poi passare, nella fase successiva, ad immagini tridimensionali. Infine, nella terza fase, gli alunni esplorano le relazioni geometriche tra le rappresentazioni bidimensionali e quelle tridimensionali, riconoscendo corrispondenze e strutture comuni (Piaget, 2013). Pertanto, risulta fondamentale che gli insegnanti adottino strategie di insegnamento visivo per migliorare le capacità di visualizzazione.

Tuttavia, i metodi tradizionali di insegnamento, basati principalmente su rappresentazioni statiche e bidimensionali, come quelle su lavagna o libri di testo, non sempre sono sufficienti a promuovere modelli mentali più complessi, ostacolando il ragionamento spaziale e generando difficoltà interpretative (Fujita & Jones, 2007; İbili et al., 2020; Önal et al., 2017).

Dina Van Hiele – Geldof e Pierre Van Hiele, ispirati dalla teoria di Piaget sugli stadi dello sviluppo cognitivo, proposero un modello che suddivide lo sviluppo del pensiero geometrico su cinque livelli (Wu et al., 2024). Secondo questo modello, infatti, lo sviluppo della comprensione geometrica è connesso a quello delle abilità cognitive e si articola in fasi progressive che vanno dall'intuizione alla deduzione formale, in modo da strutturare e incentivare il pensiero critico (Crowley, 1987).

I cinque livelli di pensiero geometrico sono così suddivisi (Van Hiele, 1986):

- Livello 1. *Visualizzazione*. Gli studenti riconoscono le figure geometriche in base alle loro caratteristiche fisiche, senza, però, analizzarne le proprietà specifiche;
- Livello 2. *Analisi*. Gli studenti iniziano a identificare le caratteristiche specifiche delle forme e a denominarle correttamente. In questa fase, non sono ancora in grado di mettere in relazione le caratteristiche tra le diverse classi di figure;
- Livello 3. *Deduzione informale*. In questa fase, gli studenti comprendono le relazioni tra le proprietà delle figure geometriche e le argomentazioni a supporto, basandosi su conoscenze pregresse, anche senza ricorrere a dimostrazioni formali;
- Livello 4. *Deduzione formale*. Gli studenti acquisiscono la capacità di analizzare e spiegare le relazioni geometriche attraverso dimostrazioni deduttive, grazie all'uso di assiomi, definizioni e teoremi, giustificando razionalmente le proprie affermazioni.
- Livello 5. *Rigore*. Al livello più avanzato, gli studenti comprendono la geometria in chiave assiomatica e sono in grado di confrontare sistemi geometrici (euclidei e non euclidei) e attuano riflessioni critiche.

È stato riscontrato che gli alunni, spesso, si fermano ai primi due livelli del modello di Van Hiele (Visualizzazione e Analisi), manifestando difficoltà nel percepire le posizioni e risolvere problemi di distanza nello spazio

tridimensionale (Sugiyarti & Ruslau, 2019). Infatti, molto spesso nelle scuole i contenuti geometrici nel curriculum sono ridotti all'identificazione delle forme 3D a partire da quelle 2D, senza particolari approfondimenti sullo sviluppo del pensiero spaziale e della visualizzazione (Flores-Bascuñana et al., 2019).

Alla luce di tale complessità procedurale, è fondamentale che gli insegnanti progettino esperienze didattiche che si allineano ai livelli di sviluppo cognitivo degli studenti, tenendo conto di questo processo graduale nell'apprendimento geometrico (Fachrudin & Juniati, 2023).

Diversi studi hanno dimostrato le difficoltà legate all'apprendimento della geometria solida quando si fa affidamento esclusivamente alla tradizionale grafica bidimensionale (Wu et al., 2024). Il supporto di strumenti didattici digitali, pertanto, si configura come una strategia necessaria per facilitare la comprensione dei concetti e per offrire un apprendimento più interattivo e significativo.

L'integrazione della realtà aumentata nei processi di insegnamento e di apprendimento della geometria si rivela essere uno strumento altamente efficace in grado di offrire attività di simulazione ed esplorazione, facilitando il passaggio tra i diversi livelli del pensiero geometrico e favorendo lo sviluppo in modo graduale e significativo. La possibilità di visualizzare e manipolare oggetti tridimensionali promuove, inoltre, una comprensione più profonda delle relazioni tra le figure piane e solide, elemento chiave per la transizione dal livello di analisi a quello di deduzione informale (Kösa & Yaşar, 2024; Bulut & Borromeo Ferri, 2023). Ad esempio, è stato appurato che l'uso del software dinamico *GeoGebra AR* ha sortito un impatto significativo sullo sviluppo del pensiero geometrico, permettendo agli studenti di riconoscere le strutture e di formulare generalizzazioni in modo più efficace, sperimentando un ambiente attivo e multimodale (Ruslau & Dadi, 2025). Gli ambienti aumentati promuovono la costruzione attiva della conoscenza, stimolando sinanche la riflessione metacognitiva (Yohannes & Chen, 2023).

I principali vantaggi per gli studenti derivanti dall'utilizzo dell'AR per l'apprendimento della geometria, includono (Bulut & Ferri, 2023; Medina Herrera et al., 2019; Rossano et al., 2020):

- *Visualizzazione dinamica*: gli studenti possono esplorare le figure in tre dimensioni, ruotarle e osservarle da angolazioni diverse, superando i limiti delle rappresentazioni classiche bidimensionali;
- *Apprendimento interattivo*: gli studenti manipolano direttamente le forme geometriche, partecipano attivamente alla costruzione del loro sapere, con un conseguente aumento della motivazione nei confronti dello studio;
- *Comprensione facilitata dei concetti geometrici complessi*: la rappresentazione tridimensionale consente agli studenti di cogliere più facilmente le relazioni spaziali e le proprietà delle figure;

- *Sviluppo di competenze trasversali*: attraverso l'interazione con gli oggetti 3D, gli studenti potenziano la capacità di risoluzione dei problemi, il pensiero critico, la creatività e la collaborazione.

Mediante le potenzialità offerte dall'uso dell'AR, è possibile proporre attività di simulazione e di esplorazione, che favoriscono lo sviluppo del pensiero spaziale e delle abilità di visualizzazione (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Bulut & Borromeo Ferri, 2023). Grazie all'ausilio di dispositivi mobili, visori o occhiali intelligenti, gli studenti hanno la possibilità di ruotare, osservare, manipolare figure geometriche da diverse angolazioni, potenziando in questo modo la comprensione (Medina Herrera et al., 2019).

Le evidenze empiriche confermano che gli ambienti di apprendimento che si avvalgono dell'AR migliorano in maniera significativa la comprensione dei concetti di geometria tridimensionale, andando ad incidere nella comprensione concettuale più profonda (Nadzeri et al., 2024). Inoltre, diversi studi sottolineano la validità pedagogica di questo approccio, in quanto consente di costruire esperienze che rafforzano la connessione tra teoria e pratica, promuovendo esperienze di apprendimento significative (Ibili et al., 2020; Wu et al., 2013).

I vantaggi dell'introduzione dell'AR in classe non riguardano soltanto gli studenti, ma anche gli insegnanti. La realtà aumentata, infatti, offre strumenti innovativi per progettare lezioni più coinvolgenti e personalizzabili, supportando anche i processi di feedback diretti e la valutazione (Sunzuma, 2023). Tuttavia, affinché l'implementazione della tecnologia sia realmente efficace, è indispensabile fornire agli insegnanti una formazione mirata, non solo sul piano tecnico, ma anche su quello pedagogico, cosicché siano in grado di integrare l'AR consapevolmente nella loro prassi didattica, adattando i contenuti ai diversi stili di apprendimento e agli obiettivi curricolari (Sáez-López et al., 2020; Marín-Marín et al., 2023).

8.2 *Teach in AR* per l'insegnamento della Geometria nella Scuola Primaria

A partire dalla struttura teorico-metodologica descritta nel Capitolo VI, verrà illustrata la declinazione del framework *Teach in AR* per l'insegnamento-apprendimento della geometria nella scuola primaria. L'obiettivo è quello di esplorare come l'integrazione dell'AR possa favorire e supportare la comprensione di concetti spaziali, complessi e astratti che sono propri della disciplina, attraverso l'integrazione della tecnologia immersiva, in connubio con le metodologie didattiche attive.

Il framework, pertanto, è stato adattato per rispondere alle specificità didattiche dell'insegnamento della disciplina, mantenendo, tuttavia, la struttura portante. I contenuti, gli strumenti e le attività sono stati selezionati e progettati per valorizzare le potenzialità dell'AR come supporto

visuo-spaziale, in coerenza con gli obiettivi formativi previsti dalle Indicazioni Nazionali per il Primo Ciclo (MIUR, 2012).

8.3 Campione e struttura temporale dell'intervento

L'intervento formativo ha coinvolto 315 studenti, futuri insegnanti, frequentanti l'insegnamento di *Didattica della Matematica per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio*, corso curricolare del CdLM a Ciclo Unico in Scienze della Formazione Primaria, presso l'Università degli Studi di Palermo (a.a. 2024/25).

Il campione è composto in prevalenza da studenti di genere femminile (95.9%), con un'età media pari a 23.32 anni (SD= 4.30). La quasi totalità dei partecipanti (98.7 %) è iscritta al terzo anno del CdLM in Scienze della Formazione Primaria.

Il percorso formativo ha avuto una durata complessiva di 16 ore, strutturate in quattro incontri da quattro ore ciascuno, svolti in modalità laboratoriale.

8.4 Descrizione dei moduli formativi

Il percorso formativo è stato articolato originariamente in quattro moduli didattici progressivi, progettati per guidare i futuri insegnanti nello sviluppo di competenze tecniche e didattiche avanzate e favorire il passaggio da semplici fruitori a progettisti di esperienze didattiche in AR. Tuttavia, poiché l'implementazione del percorso ha richiesto un tempo maggiore rispetto a quello previsto dal calendario laboratoriale, sono stati effettivamente realizzati solo i primi tre moduli. Questi ultimi sono stati opportunamente adattati per coprire in modo esaustivo gli obiettivi formativi principali.

L'intervento ha integrato attività teoriche, pratiche e riflessive, finalizzate allo sviluppo dell'alfabetizzazione digitale dei futuri insegnanti, necessaria per l'integrazione consapevole ed efficace delle tecnologie immersive nei contesti educativi.

Il percorso si basa su una visione pedagogica della realtà aumentata, intesa non come semplice supporto strumentale, ma come risorsa per un'azione educativa consapevole e orientata, integrata nei processi di apprendimento, in coerenza con le reali esigenze educative, formative e le caratteristiche epistemologiche della disciplina di riferimento.

La progettazione delle attività ha previsto l'utilizzo di applicazioni educative in AR, finalizzate alla realizzazione di un libro illustrato e aumentato per l'insegnamento e apprendimento della geometria. Inoltre, sono stati sviluppati contenuti didattici innovativi volti a promuovere un apprendimento significativo, esperienziale e accessibile a tutti gli studenti. L'intervento ha fatto riferimento a metodologie didattiche attive che supportano l'insegnamento con AR, quali il *Learning by Doing*, la *Gamification*, il *Problem Based Learning* e il *Collaborative Learning*, ritenute particolarmente efficaci per promuovere competenze trasversali, l'autonomia progettuale e la riflessione critica.

Nella Tabella 8.1 è riportata la struttura dell'intervento, articolata in moduli progressivi.

MODULO	FASI	ATTIVITÀ	OBIETTIVI	TOOLS
Primo Modulo	Introduzione alla tematica del corso	Questionario iniziale	Misurare il livello di conoscenze pregresse sulla realtà aumentata, il grado di accettazione della tecnologia immersiva e le percezioni dei futuri insegnanti rispetto alle proprie competenze tecnologiche e pedagogiche in relazione all'uso dell'AR	Questionario AR-TECH *(Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)* (La Marca & Leone, 2024), somministrato mediante l'applicativo Google Moduli
		Introduzione teorica sul tema della realtà aumentata	Definire i fondamenti della realtà aumentata, le componenti tecniche, caratteristiche, i contesti educativi di applicazione, l'impatto sull'apprendimento, le differenze con altre forme di apprendimento immersivo, i vantaggi educativi e le caratteristiche dell'apprendimento aumentato	
	La realtà aumentata nella prassi didattica della geometria	Presentazione interattiva dell'AR mediante analisi di *case studies* e visione di video esplicativi	Mostrare esempi concreti circa l'uso didattico della realtà aumentata per l'insegnamento e l'apprendimento della geometria, al fine di comprenderne l'utilità e l'efficacia didattica	YouTube e siti referenziati
		Dimostrazione pratica dell'uso dell'AR mediante visore	Sperimentare l'uso pratico dell'AR attraverso l'impiego di visori e software per la partecipazione condivisa in remoto	*Visori Magic Leap Hub 3* e app per connessione remota; Piattaforma Tinalp

Secondo Modulo	Approcci pedagogici e metodologici efficaci per l'integrazione dell'AR nell'attività didattica	Introduzione ai principali approcci presenti in letteratura	Analizzare gli approcci metodologici presenti in letteratura sull'uso dell'AR nella didattica, identificando i modelli pedagogici più efficaci per l'insegnamento e l'apprendimento della geometria all'interno della scuola primaria	Web; letteratura di riferimento
		Riflessioni su *best practices* implementate nella scuola primaria (metodologie didattiche)	Comprendere le metodologie didattiche per l'implementazione dell'AR nella scuola primaria per un'integrazione efficace della tecnologia nel processo di insegnamento-apprendimento	
	Strumenti per implementare l'AR in classe	Presentazione e utilizzo guidato di applicazioni AR educative e software per la creazione di contenuti	Sviluppare competenze di alfabetizzazione digitale legate all'implementazione dell'AR nella prassi didattica della geometria	App di realtà aumentata: *Arloopa, Solidos AR, Ars Book; GeoGebra AR*
		Simulazione di una lezione in AR	Progettare e simulare una lezione utilizzando la realtà aumentata, sotto la supervisione dell'esperto	Software per la creazione di oggetti in AR: *Thinkercad, GeoGebra AR*
		Raccolta e creazione di un repository di risorse in realtà aumentata	Creare uno spazio condiviso per la raccolta di materiali didattici e risorse per AR, applicabili e trasferibili nei diversi ambiti disciplinari	Google Drive
Terzo Modulo	Creazione di materiale didattico in AR e progettazione di lezioni	Laboratorio creativo: divisione della classe in gruppi e progettazione di materiali didattici aumentati, attraverso l'uso di app in AR, con la realizzazione finale di un libro illustrato e aumentato	Sperimentare l'uso di applicazioni e strumenti di realtà aumentata al fine di creare materiali didattici innovativi, per tradurre le conoscenze acquisite nei moduli precedenti in risorse pratiche per l'insegnamento	Microsoft Teams; Applicazioni in AR; strumenti digitali di storytelling

		Progettazione di attività didattiche in AR, basate sui contenuti disciplinari del curriculum della scuola primaria	Sviluppare e progettare attività didattiche integrate con l'AR, mirate all'insegnamento della geometria nella scuola primaria, in coerenza con le metodologie attive e le finalità pedagogiche del percorso formativo	*Canva*
		Questionario post- intervento per confrontare i dati iniziali e finali sulle percezioni e sulle competenze acquisite	Valutare il cambiamento delle percezioni e delle competenze tecno-pedagogiche acquisite dai futuri insegnanti	Questionario AR-TECH somministrato mediante Google Moduli

Tabella 8.1 – Struttura dell'intervento formativo

8.4.1 Primo modulo – Introduzione alla realtà aumentata per la didattica nella Scuola Primaria

L'avvio del percorso formativo ha previsto la somministrazione del questionario AR-TECH *(Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary Schoo*l) (La Marca & Leone, 2024; cfr. Cap. V), al fine di raccogliere dati preliminari sulle conoscenze pregresse degli studenti in merito alla tecnologia proposta, sulle percezioni rispetto alla stessa e sul livello di consapevolezza delle proprie conoscenze tecno-pedagogiche relative al suo utilizzo.

Il percorso è proseguito con un'introduzione teorica sulle potenzialità, benefici e vantaggi dell'uso dell'AR per la didattica della geometria. In questa fase sono state presentate le caratteristiche distintive della realtà aumentata che la differenziano dalle altre tecnologie immersive e i principali ambiti di applicazione in campo educativo, con un focus specifico sui contenuti geometrici. In particolare, è stato posto l'accento sulla capacità di favorire la visualizzazione di concetti astratti, lo sviluppo del pensiero spaziale e la comprensione delle relazioni tra forme e dimensioni, grazie alla possibilità di manipolare solidi geometrici virtuali, esplorarne le sezioni e osservare il passaggio dal piano allo spazio (Sunzuma, 2023).

Questa fase ha previsto, inoltre, una panoramica degli strumenti hardware e software per integrare l'AR – dagli smartphone ai tablet, sino ai visori – accompagnata dalla presentazione e dall'analisi di casi di studio che hanno mostrato applicazioni didattiche efficaci. Questo approccio ha stimolato negli studenti una riflessione sul valore pedagogico della tecnologia e sulle sue potenzialità nel promuovere un apprendimento attivo, significativo ed esperienziale.

Infine, è stata realizzata una dimostrazione pratica attraverso l'uso di visori *Magic Leap Hub 3* e di applicazioni per l'AR, che hanno permesso agli

studenti di interagire in tempo reale con oggetti geometrici tridimensionali. Questa esperienza ha consentito ai futuri insegnanti di sperimentare direttamente l'azione trasformativa dell'AR, maturando una consapevolezza più profonda delle opportunità didattiche della tecnologia.

8.4.2 Secondo Modulo – metodologie didattiche e strumenti per insegnare con la realtà aumentata

Il secondo modulo è stato focalizzato sull'analisi degli approcci pedagogici e metodologici ritenuti più efficaci, secondo la letteratura di riferimento, per promuovere e supportare l'integrazione dell'AR nella didattica della scuola primaria.

Sono state analizzate in modo approfondito alcune tra le metodologie attive più frequentemente utilizzate, quali *Learning by Doing*, il *Problem Based Learning*, la *Flipped Classroom*, la *Gamification* e il *Cooperative Learning*. Queste metodologie promuovono un ruolo attivo degli studenti nel processo di apprendimento, favorendo il coinvolgimento, l'autonomia e la costruzione personale delle conoscenze (Wang et al., 2018). A supporto della trattazione teorica, sono state presentate esperienze e buone pratiche tratte dal contesto della scuola primaria, con l'obiettivo di arricchire la riflessione e di analizzare criticamente le esperienze esaminate.

Un approfondimento specifico è stato dedicato ai libri illustrati e aumentati in AR, il cui valore didattico è sottolineato dalla capacità di stimolare e potenziare le abilità visuo-spaziali e la creatività degli alunni, oltre che ad accrescere la motivazione nei confronti della disciplina. Come evidenziato da una delle prime sperimentazione sul campo, il libro in AR *Magic Boosed* (Reza et al., 2019), l'evoluzione del classico manuale scolastico in un ambiente interattivo e tridimensionale consente agli studenti di superare i limiti tipici delle illustrazioni bidimensionali. Infatti, attraverso un *marker-based* AR, ogni pagina del libro diventa un portale per la visualizzazione dinamica di oggetti solidi geometrici, offrendo la possibilità agli studenti di esplorarne le singole componenti, di manipolare e di collegare direttamente la rappresentazione visiva con le formule matematiche di superficie e di volume (Wu et al., 2024). Tale approccio, inoltre, concorre ad incrementare la motivazione e l'interesse verso la disciplina e favorisce un apprendimento più profondo, grazie al fatto che gli studenti sviluppano competenze di pensiero spaziale, essenziali nello studio della geometria (Reza et al., 2019).

Un'ulteriore riflessione ha riguardato l'uso delle *flashcard* integrate con realtà aumentata. Nel panorama didattico, le *flashcard* rappresentano strumenti consolidati per il potenziamento della memoria e per il supporto nei percorsi di apprendimento personalizzati (Zarrati et al., 2024). L'integrazione con contenuti in realtà aumentata, tuttavia, ne accresce ulteriormente il valore didattico, consentendo un apprendimento cinestetico e spaziale, oltre che visivo, favorendo un'interazione multisensoriale con i concetti proposti (Yousef, 2021).

La seconda parte del modulo è stata dedicata alla presentazione e sperimentazione di strumenti operativi utili per la progettazione e l'implementazione di interventi didattici in AR. Tra questi si annoverano applicazioni come *ArLoopa*, *Solidos AR* e *ARS Book*. Questi ambienti digitali, si basano su un sistema *marked-based* che, mediante l'inquadramento di un codice o di un'immagine tramite fotocamera del telefono o tablet, consente di manipolare oggetti tridimensionali in AR. Inoltre, è stata illustrata la web app per il design 3D, *ThinkerCad*. Questa piattaforma gratuita, si caratterizza per avere un'interfaccia intuitiva e facilmente accessibile, pensata per gli utenti che non possiedono competenze avanzate di modellazione grafica. Grazie a questa piattaforma, gli studenti hanno potuto creare e combinare forme geometriche tridimensionali, da sperimentare in un secondo momento con applicazioni in AR.

Un'attenzione particolare è stata riservata a *GeoGebra,* noto software di matematica dinamica che integra in unico ambiente diversi ambiti della disciplina matematica, mettendo in relazione rappresentazioni multiple dello stesso oggetto matematico (es. un elemento creato nel piano grafico, viene aggiornato automaticamente nella forma algebrica e nella rappresentazione numerica corrispondente) (Bueno et al., 2021). Con l'avanzare delle tecnologie immersive, il software si è arricchito di una nuova versione che integra la realtà aumentata, *GeoGebra AR,* che consente di visualizzare concetti matematici in un ambiente tridimensionale, offrendo un'esperienza di apprendimento immersiva e interattiva (Gusteti et al., 2025). Grazie a questa applicazione, gli studenti non si limitano ad osservare le rappresentazioni, ma possono trasporle nel reale e interagirvi direttamente, sperimentando un approccio esplorativo ed esperienziale.

Attraverso esercitazioni guidate, dunque, i futuri insegnanti hanno avuto l'opportunità di familiarizzare con gli strumenti digitali e di sperimentarne l'utilizzo, progettando una lezione simulata con l'impiego di *flashcard* in AR, appositamente create dagli stessi.

Infine, una componente fondamentale del modulo ha riguardato la costruzione collaborativa di un *repository digitale*, sulla piattaforma *Google Drive*, in cui i futuri insegnanti hanno condiviso risorse e materiali progettati. Questo spazio virtuale ha rappresentato non solo un archivio di strumenti didattici, ma anche un primo passo verso la costituzione di una comunità di pratica, orientata alla condivisione di esperienze, al sostegno reciproco e alla promozione dell'innovazione metodologico-didattica.

8.4.3 Terzo Modulo – Dalla teoria alla pratica: progettare lezioni innovative con la realtà aumentata

Il terzo modulo ha rappresentato un momento di passaggio dall'approfondimento teorico delle fasi precedenti, alla messa in pratica delle conoscenze acquisite, attraverso la progettazione di un artefatto in AR destinato alla scuola primaria.

Gli studenti, suddivisi in gruppi da 4-5 componenti, hanno ideato e sviluppato risorse didattiche aumentate, supportate da metodologie attive, integrando consapevolmente gli strumenti digitali. A ciascun gruppo è stato richiesto di concepire il prodotto finale come parte integrante di una progettazione didattica strutturata, coerente con il curricolo del primo ciclo e concretamente trasferibile nei contesti reali di apprendimento della geometria (cfr. Appendice A).

Questo artefatto ha integrato i contenuti propri della disciplina, all'interno di una cornice narrativa coerente, sviluppata secondo i principi del *Digital Storytelling* (Rodríguez et al., 2021). Ai futuri insegnanti è stato richiesto, infatti, di creare storie originali per veicolare i concetti e gli approfondimenti di geometria in maniera narrativa e stimolante, il tutto arricchito e potenziato dalla realtà aumentata. Quest'ultima è stata resa fruibile tramite QR code inseriti all'interno del libro, facilmente attivabili con la fotocamera del telefono o tablet.

L'uso del *Digital storytelling* è stato fondamentale, in quanto ha consentito di valorizzare la dimensione narrativa come strumento motivazionale, poiché ha stimolato il coinvolgimento emotivo e cognitivo degli studenti, rafforzando la comprensione profonda dei contenuti geometrici.

Per la realizzazione dei contenuti in 3D, gli studenti hanno utilizzato sia strumenti di *authoring*, che applicazioni in AR, già precedentemente citate. L'assemblaggio finale del libro è stato realizzato tramite *Canva*, piattaforma che ha offerto un ambiente creativo e accessibile, permettendo la combinazione integrata di immagini, testi, modelli in 3D e risorse interattive (quali suoni, video, animazioni). Il risultato è stato un artefatto finale ricco e versatile, caratterizzato da una struttura narrativa e interattiva e da una pluralità di canali comunicativi, in grado di rispondere a diversi stili cognitivi e di apprendimento.

All'interno del libro, inoltre, sono state incluse attività didattiche realizzate attraverso applicazioni quali, ad esempio, *Kahoot, Quizziz e Padlet*. Le attività sviluppate mediante questi applicativi sono funzionali al consolidamento dei contenuti, rafforzando ulteriormente l'apprendimento attivo e partecipativo.

Il processo creativo avviato con la progettazione della storia digitale si è configurato come un compito autentico, che ha permesso ai futuri insegnanti di sperimentare concretamente un approccio di tipo *learning by design* (Yelland, 2015). Sono state maturate competenze tecniche nella progettazione e nell'adattamento di risorse in AR, ma anche competenze trasversali quali creatività, pensiero critico, collaborazione e capacità di gestione dei processi progettuali.

Il prodotto finale si configura come un artefatto didattico replicabile per altre discipline e livelli scolastici, in quanto integra diversi codici semiotici -testuale, visivo, tridimensionale- in un'unica esperienza di apprendimento. Inoltre, rappresenta il risultato tangibile del percorso formativo e

dell'evoluzione delle competenze tecno-pedagogiche dei futuri insegnanti per integrare in modo significativo e consapevole l'AR all'interno della didattica della geometria.

8.5 Analisi dei risultati del questionario AR-TECH

Questa sezione è dedicata all'analisi dei dati raccolti prima e dopo l'intervento formativo *Teach in AR*, mediante la somministrazione del questionario AR-TECH *(Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)* (La Marca & Leone, 2024).

L'analisi intende valutare l'impatto del percorso formativo in termini di sviluppo di atteggiamenti favorevoli verso la realtà aumentata e di incremento delle competenze tecniche e didattiche per la sua applicazione nei contesti educativi.

In primo luogo, è stata condotta un'analisi descrittiva per fornire una panoramica generale delle distribuzioni e delle tendenze emerse. Successivamente, è stato applicato un *test t di Student* per campioni appaiati, in modo da confrontare i punteggi pre e post formazione, così da rilevare eventuali cambiamenti statisticamente significativi. A seguire, è stata condotta un'analisi di regressione lineare per esplorare il ruolo predittivo delle competenze digitali autopercepite sia sugli atteggiamenti che sulle competenze tecno-pedagogiche relative all'AR. Inoltre, è stata calcolata una matrice di correlazione tra le due scale del questionario AR-TECH, in modo da esplorare le relazioni tra percezioni e competenze in merito all'integrazione dell'AR nella didattica.

Parallelamente, l'analisi qualitativa ha consentito di delineare un quadro più approfondito dell'intervento, facendo emergere dalle riflessioni degli studenti quali fossero le possibili applicazioni didattiche dell'AR ma, anche, le principali preoccupazioni e criticità percepite in relazione alla sua integrazione.

L'adozione di un approccio metodologico misto ha permesso di triangolare i dati, offrendo una lettura più completa del fenomeno, evidenziando gli effetti del percorso formativo e le prospettive future della ricerca.

L'analisi si propone di rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- RQ1. Il percorso formativo ha prodotto un cambiamento significativo negli atteggiamenti dei futuri insegnanti rispetto all'utilità percepita dell'AR in ambito educativo, a livello di coinvolgimento e soddisfazione nell'utilizzo e alla fiducia nel suo potenziale di miglioramento dell'esperienza didattica?
- RQ2. Qual è l'impatto del percorso formativo sulla percezione, da parte dei futuri insegnanti, delle competenze tecnico-operative e didattiche fondamentali per l'integrazione dell'AR nel contesto educativo?
- RQ3. In quali contesti disciplinari e formativi, oltre a quello matematico, i futuri insegnanti ritengono che la realtà aumentata

possa essere implementata e con quale valore aggiunto rispetto ai metodi didattici tradizionali?
- RQ4. Quali criticità e barriere vengono percepite dai futuri insegnanti in relazione all'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica?

Le prime due domande di ricerca (RQ1 e RQ2) sono state indagate attraverso le due scale validate che compongono il questionario AR-TECH, ovvero l'ARAAS e il TARC. La RQ3 e la RQ4 sono state esplorate mediante item specificatamente elaborati per questa indagine, unite a domande aperte aggiunte nella sezione conclusiva del questionario, con l'obiettivo di approfondire ulteriori dimensioni legate al percorso formativo.

8.5.1 Descrizione dello strumento

Lo strumento utilizzato per la rilevazione dei dati nelle fasi pre e post intervento è il questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School*) (La Marca & Leone, 2024), concepito come uno strumento unitario e concettualmente coerente, in grado di rilevare congiuntamente sia gli atteggiamenti che le competenze autopercepite dei futuri insegnanti in relazione all'uso dell'AR nella prassi didattica.

Il questionario integra due scale validate in letteratura – l'ARAAS (*Augmented Reality Applications Attitude Scale;* Hervás-Gómez et al., 2017), volto a misurare gli atteggiamenti nei confronti delle applicazioni in realtà aumentata e il TARC (*Teachers' Augmented Reality Competencies*; Nikou et al., 2021), orientato a misurare le competenze percepite. A queste scale sono state aggiunte alcune sezioni strutturate appositamente, progettate per approfondire aspetti specifici del percorso formativo oggetto di indagine[16].

8.5.2 Campione

Il campione iniziale, non probabilistico e di convenienza, era costituito da 315 studenti universitari, futuri insegnanti, frequentanti l'insegnamento di *Didattica della Matematica per la Scuola Primaria e dell'Infanzia e Laboratorio*, corso curricolare del CdL in Scienze della Formazione Primaria, presso l'Università degli Studi di Palermo (a.a. 2024/25).

Ai fini dell'analisi inferenziale, tuttavia, sono stati considerati esclusivamente i casi completi, ovvero riferiti agli studenti che hanno compilato entrambe le somministrazioni del questionario (pre e post intervento). Ciò ha determinato un numero di casi validi pari a 208, con un tasso di dropout pari al 33.97%, rispetto al campione iniziale.

Nello specifico, tale riduzione così significativa del campione può essere ascrivibile a diversi fattori, tra cui il fatto che alcuni rispondenti non hanno

[16] Per un'analisi approfondita della struttura, cfr. Capitolo V.

portato a termine la compilazione del questionario in una delle due fasi, producendo dati incompleti e inutilizzabili per le analisi comparative.

Dall'analisi descrittiva emerge che il campione è composto in prevalenza da studenti di genere femminile (95.9%), con un'età media pari a 23.32 anni (SD= 4.30). La quasi totalità dei partecipanti (98.7 %) è iscritta al terzo anno del corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria.

8.5.3 Metodologia

Per affrontare in modo adeguato la complessità del fenomeno analizzato, è stato adottato un approccio *mixed-methods*, che ha consentito di combinare la profondità interpretativa dell'analisi qualitativa con robustezza e la generalizzabilità dei dati quantitativi (Bergman, 2008; Trinchero, 2012). La valutazione dell'impatto dell'intervento formativo è stata condotta attraverso un disegno quasi-sperimentale di tipo *one-group pretest–post test*, che ha previsto la somministrazione del questionario AR-TECH prima e dopo l'intervento didattico.

L'analisi quantitativa è stata condotta con l'ausilio del software Jamovi (2.3), attraverso cui sono state calcolate statistiche descrittive (medie, deviazioni standard, distribuzioni percentuali) e condotte analisi inferenziali (test t per campioni appaiati, coefficienti di correlazione di Spearman, regressioni lineari e matrice di correlazione). Tali analisi hanno avuto come finalità quella di rilevare eventuali differenze significative tra la fase pre e post intervento e di esplorare le possibili relazioni tra le variabili oggetto di studio.

L'elaborazione dei dati qualitativi è stata realizzata mediante analisi tematica delle risposte aperte, con il supporto del software MAXQDA. Attraverso un processo di codifica e successiva categorizzazione, sono stati individuati i nuclei concettuali ricorrenti e sono state costruite le categorie analitiche di riferimento. Sono stati utilizzati focus group e osservazioni partecipate, al fine di approfondire le percezioni degli studenti e triangolare le evidenze emerse dall'analisi statistica.

8.6 Risultati

Nella prima sezione del questionario sono stati raccolti i dati sociodemografici e di contesto, unite ad alcune informazioni relative alla conoscenza pregressa della realtà aumentata.

Dai risultati emerge che l'88.9% dei partecipanti dichiara di aver sentito parlare della realtà aumentata, mentre il 50.8% riferisce di aver utilizzato o sperimentato applicazioni o dispositivi in AR in precedenza, in contesti generici. Soltanto il 28.3 % ha avuto esperienze di impiego dell'AR a fini didattici.

È stato chiesto, a tal proposito, in quale occasione i rispondenti avessero avuto modo di sperimentare l'AR. Dall'analisi qualitativa delle risposte è emerso che la maggior parte degli studenti (51.43%) ha avuto modo di conoscere le potenzialità dell'AR durante i laboratori didattici universitari, svolti durante gli anni precedenti. Una percentuale significativa (21.43 %)

ha riportato esperienze legate alle lezioni universitarie nell'ambito della disciplina *Tecnologie Didattiche per La Scuola Primaria e Dell'infanzia e Laboratorio;* il 14.29 % dei rispondenti ha avuto occasione di utilizzo in contesti personali e informali, principalmente attraverso i giochi e dispositivi mobili o con visori. Infine, il 7.14% ha conosciuto l'AR durante eventi o convegni promossi dall'università di Palermo.

a) Interesse nei confronti della realtà aumentata per fini didattici

È stato misurato l'interesse degli studenti verso l'impiego dell'AR per scopi didattici, attraverso un item su scala Likert a 5 punti (1= per nulla interessato e 5= molto interessato). L'analisi dei dati evidenzia un interesse mediamente alto verso l'uso dell'AR per fini didattici. La maggior parte degli studenti, infatti, si colloca nella fascia medio-alta della scala. In particolare, il valore 4 (interessato) è stato selezionato dal 39.4% dei rispondenti. Segue il valore 3, con una percentuale pari a 30.8%, mentre il punteggio 5, che rappresenta il massimo grado di interesse, ha totalizzato una percentuale di 25.4%. Questi dati suggeriscono una chiara propensione da parte degli studenti ad approfondire e integrare l'uso dell'AR nei processi di insegnamento-apprendimento (Figura 8.1).

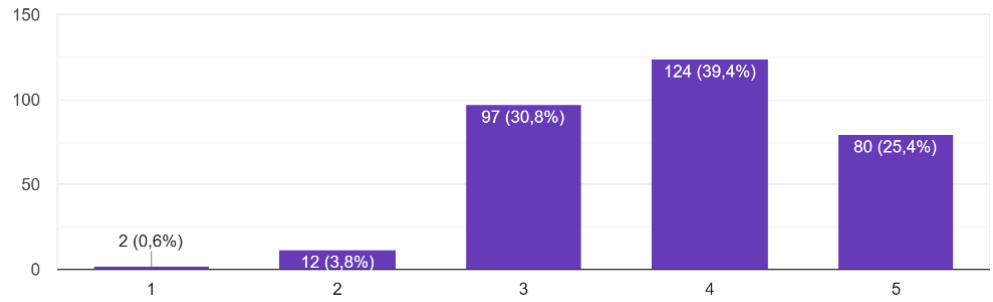


Figura 8.1 - Interesse nei confronti della realtà aumentata per scopi didattici

b) Scopi didattici della realtà aumentata

Su scala Likert a 5 punti (1= fortemente in disaccordo, 5= fortemente d'accordo), è stato chiesto di indicare il grado d'accordo rispetto ai possibili scopi didattici per i quali potrebbe essere utilizzata la realtà aumentata (Figura 8.2).

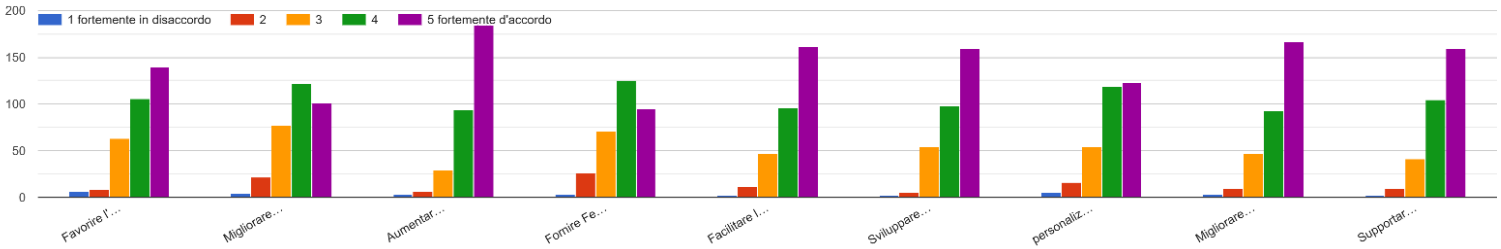


Figura 8.2 - Scopi didattici della realtà aumentata[17]

Dall'osservazione del grafico nella Figura 8.2, emerge chiaramente una tendenza positiva, con netta prevalenza in tutti gli item dei valori 4 e 5. Per tutti gli scopi proposti le frequenze percentuali ottenute rivelano una netta prevalenza per le risposte collocate nei valori positivi 4 (d'accordo) e 5 (fortemente d'accordo). Lo scopo più apprezzato è quello di *Aumentare la motivazione e il coinvolgimento degli studenti*, che raccoglie percentuali molto elevate di accordo (29.8% per il valore 4 e 57.8% per il valore 5), confermando la percezione dell'AR come strumento che, se integrato nella prassi didattica, permette di stimolare interesse e partecipazione attiva. Anche la *Facilitazione della comprensione di concetti astratti* (30.5% per il valore 4 e 50.5% per il 5) e lo *Sviluppo di competenze digitali e trasversali* (rispettivamente 31,1% e 48,9%) risultano tra gli scopi tenuti in considerazione dai futuri insegnanti, così come il *Supporto per le attività laboratoriali* (33% e 49,8%).

Parimenti, ottengono riscontri significativi anche *Favorire l'apprendimento esperienziale* (con 43.5% per il valore 5) e *Migliorare la memorizzazione* (52.1% per il valore 5). Più contenute, invece, le percentuali che si riferiscono allo scopo di *Migliorare l'inclusione* che, pur mantenendosi positivo (38.7% per il valore 4 e 31.1% per il valore 5), raccoglie percentuali inferiori rispetto agli altri ambiti, probabilmente perché le applicazioni sino a quel momento sperimentate dagli studenti non hanno collegato direttamente questa potenzialità con l'AR.

Nel complesso, i dati emersi confermano come i futuri insegnanti attribuiscano all'AR un'ampia gamma di applicazioni didattiche, confermandone le potenzialità percepite e il valore innovativo.

c) Applicazioni didattiche dell'AR

È stata data la possibilità agli studenti di fornire, mediante una risposta aperta, altre possibili finalità educative per cui l'AR può essere impiegata nei contesti didattici. Dall'analisi qualitativa delle risposte (N=44), condotta mediante software MAXQDA, sono emerse diverse aree di interesse. Il

[17] Gli item riportati in figura 8.2, corrispondo ai seguenti scopi didattici: Favorire l'apprendimento esperienziale; Migliorare l'inclusione; Aumentare la motivazione e il coinvolgimento; Fornire feedback immediati; Facilitare la comprensione di concetti astratti; Sviluppare competenze digitali e trasversali; Personalizzare i percorsi di apprendimento; Migliorare la memorizzazione; Supportare le attività laboratoriali.

18.2% dei rispondenti ha menzionato *l'Apprendimento collaborativo e Cooperativo*, evidenziando come l'AR possa stimolare il lavoro di gruppo e la costruzione condivisa del sapere. Un'altra finalità riguarda il supporto dell'AR per sviluppare *Esperienze immersive, esperienziali e interdisciplinari* (9.1%) – come visite a musei virtuali, esplorazioni in outdoor – e per lo *Sviluppo del Pensiero Critico e delle capacità di Problem Solving* (6.8%). Seguono le categorie legate allo *Sviluppo della Creatività* (4.5%) e a quello generico di *Sviluppo delle Soft Skills* (2.3%).

d) Esperienze pregresse di formazione sulla realtà aumentata

Agli studenti è stato chiesto se ritenessero che le attività supportate dall'AR potessero essere collegate agli obiettivi di apprendimento delle discipline previste nel curriculum della scuola primaria. La maggioranza (89.4%) ha risposto affermativamente, mentre solo il 10.6% ha espresso parere contrario. L'elevata percentuale di risposte affermative conferma una percezione positiva sul fatto che l'AR possa essere un valido supporto per arricchire le pratiche educative per il raggiungimento degli obiettivi curricolari.

e) Coerenza tra le attività in AR e gli obiettivi curriculari della scuola primaria

Alla domanda "*Hai mai partecipato a workshop o corsi di formazione sulla realtà aumentata?*", soltanto il 9.8% ha risposto affermativamente, mentre il 90.2% non ha mai avuto esperienze formative strutturate in questo ambito. In modo analogo, alla domanda "*Hai mai creato o personalizzato contenuti in AR*?", il 91.1% degli studenti ha risposto negativamente. Questi dati confermano il livello di partenza degli studenti prima dell'implementazione del percorso formativo sull'AR, evidenziando una limitata familiarità sia sul piano teorico che su quello pratico. Tale risultato è significativo, poiché colloca l'esperienza proposta, *Teach in AR,* nell'ottica di un intervento di carattere innovativo e potenzialmente trasformativo per la maggior parte degli studenti coinvolti.

f) Livello di competenza percepita nell'utilizzo dell'AR per la progettazione di attività didattiche disciplinari

Alla domanda "*Quanto ti senti competente nell'utilizzo della realtà aumentata per progettare attività didattiche rivolte alle varie discipline (italiano, matematica, scienze, geografia, storia, inglese, musica, ecc…)*", in una scala da 1 a 5 (1 = per nulla competente e 5 = molto competente) (Figura 8.3).

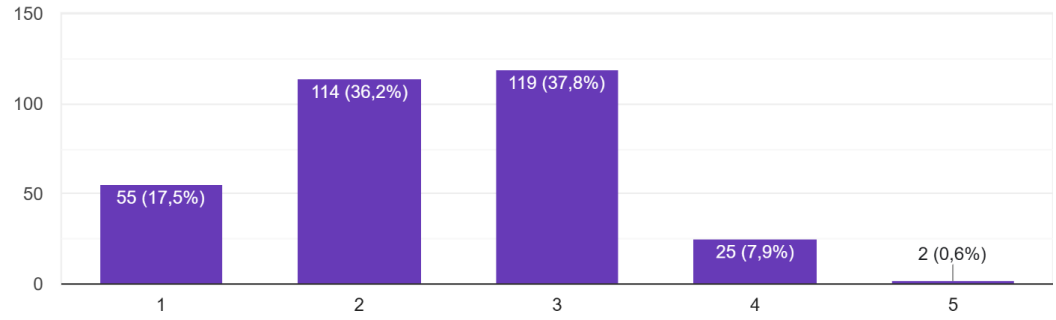


Figura 8.3 - Livello di competenza percepita nell'uso dell'AR per la progettazione di attività didattiche disciplinari

Dall'analisi dei dati emerge un quadro caratterizzato da una competenza percepita complessivamente bassa o intermedia. La maggior parte degli studenti si colloca sul valore 2 (36.2%) e 3 (37.8%), cosa che indica una bassa percezione di competenza o una posizione di neutralità rispetto ad un argomento poco conosciuto. Questi dati evidenziano come, nonostante da parte dello stesso campione siano state riconosciute le potenzialità didattiche dell'AR, tuttavia la sua applicazione pratica per l'inserimento di questa tecnologia in una progettazione didattica, risulta ancora limitata.

g) Competenze digitali ritenute necessarie per l'integrazione dell'AR nella prassi didattica

È stato indagato un ulteriore aspetto ritenuto importante, ovvero le competenze ritenute necessarie affinché un insegnante possa integrare l'AR nella prassi didattica (Figura 8.4). L'item prevedeva la possibilità di selezionare più opzioni, al fine di ottenere una visione più articolata del fenomeno. Come si evince dal grafico nella Figura 4, emergono una serie di priorità chiare. La *Conoscenza tecnica della tecnologia in AR* è stata indicata come la competenza più rilevante (81.60%). A seguire, con percentuali altresì elevate, troviamo le *Abilità nella progettazione di contenuti in AR* (72.70%), la *Competenza nell'uso di strumenti software per l'AR* (73.70%) e la *Capacità di adattare le lezioni all'AR* (73%). Si posizionano ad un livello inferiore ma parimenti significativo, le *Abilità nella gestione delle risorse AR in aula* (50.80%) e *Avere una conoscenza pedagogica per l'uso dell'AR* (50.80%). Infine, una percentuale più bassa riguarda la possibilità di *Avere a disposizione delle risorse strutturate da poter utilizzare in classe* (30.50%). Nel complesso, emerge come i futuri insegnanti riconoscano la centralità delle competenze tecniche e progettuali per l'integrazione efficace dell'AR, ma attribuiscono un peso relativamente minore al supporto pedagogico e organizzativo.

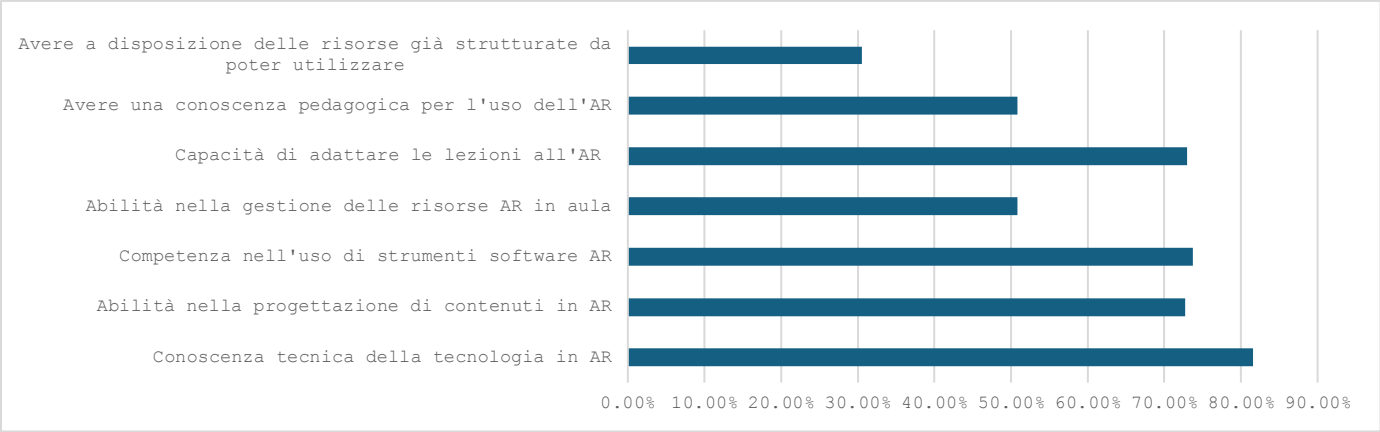


Figura 8.4 - Competenze digitali ritenute necessarie per l'integrazione dell'AR nella prassi didattica

h) Percezione del livello di competenza digitale (DigComp Edu)

In questa prima sezione del questionario è stato esplorato, inoltre, il livello di competenza digitale percepito, con riferimento al framework *DigCompEdu* (Redecker & Punie, 2017). Come si può osservare dal grafico nella Figura 5, la distribuzione delle risposte mette in evidenza una prevalenza per i livelli intermedi. La categoria più rappresentata è quella degli *Insider* (37%), che si riferiscono a coloro che sono in grado di usare le tecnologie in diversi contesti e per diversi scopi e che sono in grado di adattare strumenti digitali e procedure diversificate in base alle situazioni e hanno acquisito una certa autonomia operativa. Segue la fascia degli *Esploratori* (26%), che designa coloro che utilizzano le tecnologie e i media digitali per scopi personali e applicano le conoscenze tecnologiche anche nei contesti lavorativi, pur senza un approccio completo e coerente. Ad una posizione di poco inferiore troviamo gli *Esperti* (23%), riferito a coloro i quali utilizzano gli strumenti digitali in modo autonomo e critico e sono capaci di gestire compiti complessi e guidare gli altri nell'uso delle tecnologie. Molto contenute risultano le percentuali relative ai *Principianti* (10%) che si trovano ancora nella fase iniziale di familiarizzazione con le tecnologie e ai *Leader* (4%), cioè coloro che posseggono un livello avanzato e sanno integrare le tecnologie in maniera strategica, innovativa e consapevole. Nessuno studente, invece, si è collocato nella categoria *Pionieri*, che rappresenta il livello più innovativo e avanzato.

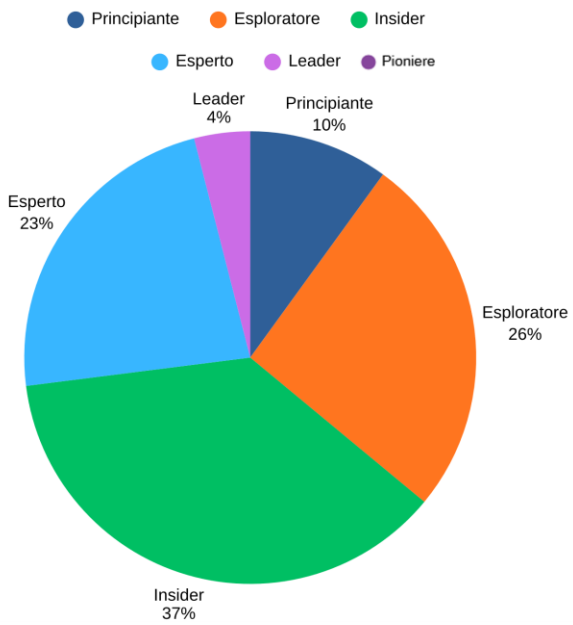


Figura 8.5 - Percezione del livello di comptetenza digitale (DigCompEdu)

i) Correlazione tra competenza digitale e interesse verso l'utilizzo dell'AR

Al fine di indagare il legame tra la competenza digitale percepita dagli insegnanti e il loro interesse nei confronti della realtà aumentata in ambito didattico, è stata condotta una *Correlazione di Spearman* tra i due item (Interesse nei confronti della realtà aumentata per scopi didattici e Percezione del livello di competenza digitale (DigCompEdu). I risultati evidenziano un valore di *Rho di Spearman* pari a -0.027 (p=0.630 e gdl=313). Questo valore indica che esiste una correlazione negativa e molto debole tra le due variabili, pertanto trascurabile. Per cui, all'aumentare del livello di competenza digitale, l'interesse verso l'uso dell'AR tende a diminuire, anche se l'effetto è quasi nullo. In sintesi, i livelli di competenza digitale percepiti dai futuri insegnanti non risultano predittori del grado di interesse manifestato verso l'impiego dell'AR in ambito didattico, suggerendo, dunque, che la motivazione ad integrare la realtà aumentata possa dipendere da altri fattori quali, ad esempio, la motivazione personale o la curiosità verso la tecnologia innovativa.

8.7 Impatto del percorso formativo: analisi pre-post

L'efficacia dell'intervento formativo *Teach in AR* è stata valutata analizzando le differenze tra i punteggi ottenuti nel questionario AR-TECH, somministrato prima e dopo la formazione.

L'analisi inferenziale è stata condotta sulle due scale che compongono il questionario sopracitato, ovvero *l'Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS)* di Hervás-Gómez et al. (2017) – che misura l'atteggiamento verso l'AR - e la *Teachers's Augmented Reality Competencies* (TARC) di

Nikou et al. (2021) – che valuta le competenze autopercepite per l'uso dell'AR -.

8.7.1 Analisi descrittive

L'analisi descrittiva dei dati ha previsto il calcolo delle medie e delle deviazioni standard per i punteggi pre e post ottenuti in entrambe le scale, al fine di riassumere le caratteristiche principali del campione.

Rispetto alla prima scala, ARAAS, sono state analizzate le medie delle tre dimensioni costitutive: *Rilevanza* (Media P), *Soddisfazione* (Media S) e *Affidabilità* (Media AF). I risultati evidenziano differenze contenute tra i punteggi pre e post intervento, con alcune variazioni più marcate nelle dimensioni della Soddisfazione e dell'Affidabilità (Tabella 8.2).

	Time Lab	**Media P**	**Media S**	**Media AF**
Media	pre lab	1.66	3.78	3.70
	post lab	1.87	4.12	4.10
Errore std. media	pre lab	0.0381	0.0487	0.0499
	post lab	0.0379	0.0455	0.0463
Deviazione standard	pre lab	0.549	0.702	0.720
	post lab	0.546	0.656	0.667
Minimo	pre lab	1.00	1.88	2.00
	post lab	1.00	2.38	1.60
Massimo	pre lab	3.50	5.00	5.00
	post lab	3.66	5.00	5.00

Tabella 8.2 – Analisi Descrittiva Pre e Post Scala ARAAS

Per quanto concerne la dimensione della *Rilevanza*, che misura la percezione dell'utilità e del valore pedagogico delle applicazioni didattiche della realtà aumentata, i dati mostrano un leggero aumento dei valori della media dal pre al post test (M = 1.66, DS = 0.549) al post-test (M = 1.87, DS = 0.546), suggerendo che i partecipanti hanno mantenuto costante la loro percezione rispetto al contributo dell'AR nei processi educativi. Tale andamento potrebbe essere, in parte, anche attribuito alla formulazione inversa degli item in questa dimensione, che potrebbe aver reso meno immediata la comprensione delle affermazioni da parte dei rispondenti e, quindi, aver influenzato i punteggi ottenuti. Nella dimensione *Soddisfazione* - che riflette il coinvolgimento emotivo, la motivazione che si

sviluppa dall'uso dell'AR e la soddisfazione percepita durante l'uso della tecnologia - si evidenzia, invece, un incremento significativo della media cha va da 3.78 (DS = 0.702) a 4.12 (DS = 0.656), con una diminuzione della variabilità, che va ad indicare una valutazione più positiva.

Infine, per quanto riguarda la dimensione *Affidabilità* - che si riferisce alla fiducia riposta nell'AR riguardo alla capacità di migliorare la qualità della didattica e di promuovere competenze trasversali - si registra un aumento della media da 3.70 (DS = 0.720) a 4.10 (DS = 0.667), che designa un rafforzamento della fiducia attribuita all'AR da parte degli studenti.

Complessivamente, i risultati suggeriscono che l'intervento *Teach in AR* ha avuto un impatto positivo soprattutto sugli aspetti legati alla soddisfazione e alla percezione di utilità, mentre i valori relativamente bassi relativi alla rilevanza, richiedono un'interpretazione più approfondita.

L'analisi relativa alla scala TARC, anch'essa parte integrante del questionario AR-TECH, ha preso in esame le medie delle quattro dimensioni che la costituiscono: *Atteggiamenti* (Media A), *Creazione* (Media C), *Uso* (Media U) e *Gestione* (Media M). I dati, nel complesso, evidenziano un andamento positivo dal pre al post intervento, con un incremento delle medie in tutte le dimensioni (Tabella 8.3).

	Time Lab	**Media A**	**Media C**	**Media U**	**Media M**
Media	pre lab	4.20	3.56	3.84	3.50
	post lab	4.47	4.47	4.11	3.91
Errore std. media	pre lab	0.0519	0.0577	0.0556	0.0507
	post lab	0.0420	0.0420	0.0478	0.0441
Deviazione standard	pre lab	0.748	0.832	0.802	0.731
	post lab	0.605	0.605	0.690	0.637
Minimo	pre lab	2.00	1.50	1.33	1.40
	post lab	2.25	2.25	2.33	2.40
Massimo	pre lab	5.00	5.00	5.00	5.00
	post lab	5.00	5.00	5.00	5.00

Tabella 8.3 – Analisi descrittiva Pre e Post Scala TARC

L'analisi descrittiva dei dati inerenti alla scala TARC, mettono in evidenza un incremento in tutte le dimensioni considerate. In particolare, la dimensione degli *Atteggiamenti*, che analizza le predisposizioni dei futuri insegnanti rispetto all'integrazione dell'AR in campo educativo, passa da

una media di 4.20 (DS = 0.748) nel pre-test a 4.47 (DS = 0.605) nel post-test. Analogamente, la dimensione della *Creazione*, registra un aumento marcato, da 3. 56 (DS = 0.832) a 4.47 (DS = 0.605), con una riduzione della deviazione standard che indica una percezione più omogenea delle competenze acquisite nella progettazione e realizzazione di contenuti in AR, in seguito all'intervento formativo. La dimensione inerente all'*Uso* evidenzia un miglioramento, passando da una media di 3.84 (DS = 0.802) a 4.11 (DS = 0.690), che evidenzia il fatto che i futuri insegnanti hanno acquisito una maggiore consapevolezza e fiducia nell'adozione dell'AR per gli scopi pedagogici ed educativi. Infine, nella dimensione *Gestione* c'è, altresì, un incremento della media, da 3.50 (DS = 0.731) a 3.91 (DS = 0.637), che pone in luce un'evoluzione positiva nella capacità percepita di organizzare, pianificare, integrare e coordinare le risorse in AR in modo critico e consapevole.

In sintesi, i risultati indicano che, in seguito all'intervento *Teach in AR,* c'è stato un miglioramento significativo in tutte le dimensioni valutate dalla scala TARC, a conferma dell'efficacia dell'intervento nel rafforzare le competenze dei futuri insegnanti in relazione all'integrazione dell'AR nei contesti educativi.

8.7.2 Analisi Inferenziale

RQ1 Il percorso formativo ha prodotto un cambiamento significativo negli atteggiamenti dei futuri insegnanti rispetto all'utilità percepita dell'AR in ambito educativo, a livello di coinvolgimento e soddisfazione nell'utilizzo e alla fiducia nel suo potenziale di miglioramento dell'esperienza didattica?

Per rispondere alla prima domanda di ricerca è stato condotto un *test t di Student* per campioni appaiati, sulle medie delle tre dimensioni della scala ARAAS.

Le ipotesi sono state le seguenti:

- Ipotesi nulla (H_0): non ci sono differenze significative tra i punteggi medi pre e post intervento nelle tre dimensioni considerate;
- Ipotesi alternativa (H_1): ci sono differenze significative tra i punteggi medi pre e post intervento in almeno una delle tre dimensioni considerate.

L'analisi inferenziale ha segnalato differenze statisticamente significative tra i punteggi pre e post intervento, in quasi tutte le dimensioni considerate.

Nel dettaglio, come si evince dalla Tabella 8.4, la dimensione relativa alla *Rilevanza* (P) mostra un incremento significativo dopo l'intervento, con un valore di t pari a 3.74 (gdl = 207), $p < .001$ e un effect size pari a $d = 0.259$. Nonostante l'ampiezza dell'effetto sia contenuta, secondo i criteri di Cohen (1988), i dati testimoniano un miglioramento nella percezione della

rilevanza didattica dell'AR. Più evidenti sono le variazioni osservate nelle altre due dimensioni. La *Soddisfazione (S)* presenta $t\ (207) = 5.17$, $p < .001$ e un effect size pari a $d = 0.359$, riflettendo un incremento nella qualità dell'esperienza formativa percepita dagli studenti. Infine, la dimensione Affidabilità (AF), presenta altresì un miglioramento statisticamente significativo, $t\ (207) = 5.73$, $p < .001$, con un effect size di $d = 0.397$, il più elevato tra le tre dimensioni analizzate. Entrambi i risultati suggeriscono un cambiamento più accentuato rispetto alla prima dimensione, pur mantenendosi comunque entro i limiti di un effetto di piccola entità, vicino alla soglia media.

Nel complesso, i risultati permettono di rifiutare l'ipotesi nulla (H_0) a conferma, invece, dell'ipotesi alternativa (H_1), secondo cui esistono differenze significative tra i punteggi medi pre e post intervento. Di conseguenza, si può affermare che il percorso formativo proposto ha prodotto un cambiamento negli atteggiamenti dei futuri insegnanti rispetto all'utilità percepita dell'AR in ambito educativo, a livello di coinvolgimento e soddisfazione nell'utilizzo e alla fiducia nel suo potenziale di miglioramento dell'esperienza didattica.

			statistica	gdl	p		Dimensione dell'Effetto
P POST	P PRE	t di Student	3.74	207	< .001	d di Cohen	0.259
S POST	S PRE	t di Student	5.17	207	< .001	d di Cohen	0.359
AF POST	AF PRE	t di Student	5.73	207	< .001	d di Cohen	0.397

Tabella 8.4 – Risultati del *t-test per campioni appaiati* sulle dimensioni della scala ARAAS
(confronto pre-post intervento)

RQ2. Qual è l'impatto del percorso formativo sulla percezione, da parte dei futuri insegnanti, delle competenze tecnico-operative e didattiche fondamentali per l'integrazione dell'AR nel contesto educativo?

Per rispondere alla seconda domanda di ricerca, è stato condotto un *test t di Student* per campioni appaiati sulle medie delle quattro dimensioni della scala TARC.

Le ipotesi sono state le seguenti:

- Ipotesi nulla (H_0): non c'è alcuna differenza significativa tra i punteggi pre e post-intervento per le quattro dimensioni della scala TARC (Atteggiamenti, Creazione, Uso e Gestione);

- Ipotesi alternativa (H_1): ci sono differenze significative tra i punteggi pre e post-intervento per almeno una delle quattro dimensioni della scala TARC.

L'analisi inferenziale ha posto in rilievo differenze statisticamente significative tra i punteggi medi pre e post intervento in tutte e quattro le dimensioni della scala TARC.

In particolare, nella dimensione *Atteggiamenti* (A), si nota un miglioramento con un valore di $t\ (207) = 3.85$, $p < .001$ e un effect size pari a $d = 0.267$. Nonostante l'ampiezza dell'effetto sia contenuta (Cohen, 1988), il dato riferisce un cambiamento positivo rispetto alla disponibilità attitudinale degli studenti verso l'adozione dell'AR nei contesti educativi.

La dimensione della *Creazione* (C) presenta un aumento rilevante, con un $t(207) = 12.92$, $p < .001$ e un effect size pari a $d = 0.896$, che rientra all'interno degli effetti significativi di ampia portata (Cohen, 1988). Il risultato segnala un impatto rilevante nella costruzione di competenze operative rispetto alla progettazione e realizzazione di contenuti didattici con l'ausilio dell'AR, confermando l'efficacia del percorso.

Anche la dimensione *Uso* (U) ha registrato un miglioramento, ($t(207) = 3.79$, $p < .001$), con un effect size di $d = 0.263$, benché l'effetto osservato, seppur significativo, è di piccola entità. Il dato segnala l'aumento nella familiarità e predisposizione all'uso dell'AR, anche se in misura contenuta rispetto alle altre dimensioni.

Infine, la dimensione Gestione (M) ha un valore di $t\ (207) = 6.30$, $p < .001$ con un *effect size* pari a $d = 0.437$, che si avvicina alla soglia degli effetti di entità media (Cohen, 1988). Questo sta a d indicare un rafforzamento interessante nella percezione delle proprie competenze di pianificazione, integrazione e coordinazione delle risorse in AR in chiave pedagogica.

In sintesi, i risultati ottenuti mediante *test t di Student* confermano che l'intervento formativo ha impattato positivamente in tutte le dimensioni della scala TARC. In particolare, interessante è il grande effetto osservato nella dimensione Creazione, che sottolinea l'efficacia dell'esperienza formativa, mentre, gli altri effetti seppur mediamente contenuti, indicano un progresso coerente in tutti gli ambiti. Questi dati contribuiscono a rifiutare l'ipotesi nulla (H_0) e a confermare il fatto che il percorso ha effettivamente ridefinito le percezioni dei futuri insegnanti rispetto alle competenze necessarie per integrare efficacemente l'AR nella prassi didattica (Tab.8.5).

			statistica	gdl	p		Dimensione dell'Effetto
A POST	A PRE	t di Student	3.85	207	< .001	d di Cohen	0.267
C POST	C PRE	t di Student	12.92	207	< .001	d di Cohen	0.896
U POST	U PRE	t di Student	3.79	207	< .001	d di Cohen	0.263
M POST	M PRE	t di Student	6.30	207	< .001	d di Cohen	0.437

Tabella 8.5 - Risultati del *t-test per campioni appaiati* sulle dimensioni della scala TARC
(confronto pre-post intervento)

8.7.3 Prospettive, sfide e opportunità percepite nell'integrazione dell'AR

La presente sezione approfondisce le prospettive, le sfide e le opportunità percepite dai futuri insegnanti, in relazione all'integrazione della realtà aumentata nella pratica didattica, con particolare riferimento alle domande di ricerca RQ3 e RQ4.

Nello specifico, la RQ3 indaga le potenziali applicazioni didattiche dell'AR, mentre la RQ4 le principali criticità percepite dai futuri insegnanti in merito relazione alla sua integrazione in classe.

I dati sono stati raccolti nella fase conclusiva dell'intervento formativo, tramite una sezione dedicata del questionario, composta da item sia quantitativi che qualitativi.

L'integrazione tra i due approcci metodologici ha consentito di integrare l'analisi statistica con l'esplorazione interpretativa delle risposte aperte, in modo da giungere ad una comprensione più profonda e completa delle dinamiche emerse.

Di seguito vengono presentati e discussi i risultati riferiti a queste ultime due domande di ricerca.

RQ3. In quali contesti disciplinari e formativi, oltre a quello matematico, i futuri insegnanti ritengono che la realtà aumentata possa essere implementata e con quale valore aggiunto rispetto ai metodi didattici tradizionali?

Sebbene l'intervento formativo fosse orientato all'utilizzo dell'AR per l'insegnamento e l'apprendimento della geometria, si è ritenuto opportuno includere una domanda di ricerca più ampia. Tale scelta metodologica si fonda sull'ipotesi che le competenze acquisite in un dominio circoscritto possano essere trasferite in altri ambiti disciplinari, ampliando così le prospettive di integrazione dell'AR. Per rispondere a questa domanda di ricerca, è stata adottata un'analisi combinata di tipo quali-quantitativo. In particolare, è stato analizzato un item quantitativo volto a rilevare le

percezioni di utilità della realtà aumentata nella pratica didattica e un item a risposta aperta che ha richiesto esempi concreti di applicazione dell'AR nei vari contesti disciplinari.

a) Rispetto ai metodi tradizionali, quanto pensi che la realtà aumentata (AR) migliori la comprensione dei concetti didattici?

Per indagare le opportunità percepite è stato somministrato un item su scala Likert a 5 punti (1= fortemente in disaccordo, 5= fortemente d'accordo) (Fig.8.6).

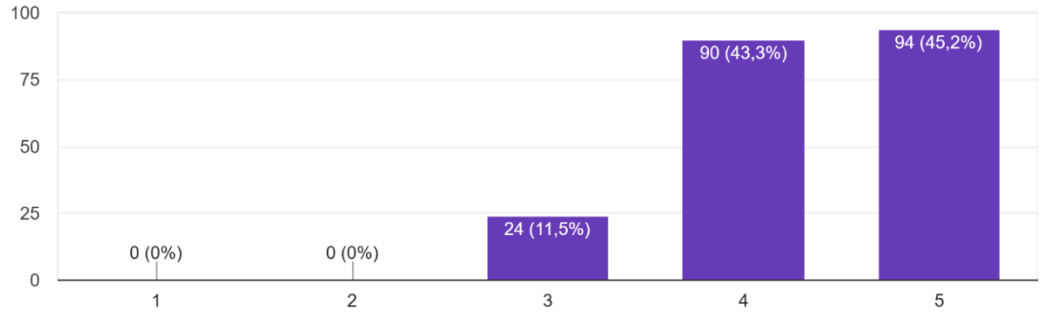


Figura 8.6 - Rispetto ai metodi tradizionali, quanto pensi che la realtà aumentata (AR) migliori la comprensione dei concetti didattici?

I risultati emersi evidenziano una percezione ampiamente positiva sulle potenzialità dell'AR rispetto ai metodi tradizionali. In particolare, la quasi totalità degli studenti si è espressa in modo favorevole, con il 43.3% che si è dichiarato "d'accordo" e il 45.2% "fortemente d'accordo". È significativo notare la completa assenza di posizioni negative sui valori 1 e 2 ("fortemente in disaccordo" e "in disaccordo"). Una percentuale contenuta (11.5%) ha scelto la posizione neutra.

Questi risultati confermano il valore formativo del percorso sperimentato, grazie al quale gli studenti hanno testato il potenziale educativo dell'AR nel supportare i processi di insegnamento e apprendimento.

b) Contesti disciplinari di applicazione dell'AR

Per approfondire in quali contesti disciplinari e formativi gli studenti ritengono che si possa applicare la tecnologia immersiva, è stata somministrata una domanda aperta, che ha rilevato gli esempi concreti di possibili utilizzi dell'AR.

Le risposte fornite sono state sottoposte ad analisi qualitativa, mediante un processo di analisi tematica, con il supporto del software MAXQDA, in modo da individuare le ricorrenze concettuali e organizzare i contenuti emersi in categorie significative, utili ad avere una visione strutturata delle proposte degli studenti (Braun & Clark, 2006). Inoltre, sono state rilevate le frequenze di occorrenza ed estratti alcuni riferimenti testuali significativi. Le frequenze si riferiscono al numero di citazioni relative a ciascuna

categoria e non al numero dei rispondenti, poiché in alcuni casi sono state indicate più risposte (Tabella 8.6).

Categoria disciplinare	Esempi di contenuti citati	Frequenza %	Citazione rappresentativa
Matematica / Geometria	Solidi geometrici, trasformazioni (rotazioni, simmetrie), sezioni piane, funzioni, piano cartesiano, frazioni, proporzioni	**45.6%**	*"In geometria, l'AR è particolarmente efficace per lo studio dei solidi geometrici: consente agli studenti di visualizzare e manipolare figure 3D, osservandole da ogni angolazione."*
Scienze / Biologia	Corpo umano (apparati e organi), cellula e DNA, fotosintesi, ciclo dell'acqua, sistema solare, fenomeni naturali	**37.8%**	*"In scienze, l'AR è efficace per esplorare il corpo umano in 3D, osservare organi e sistemi, o visualizzare processi come la fotosintesi o la mitosi, rendendo concetti astratti più comprensibili e coinvolgenti."*
Geografia	Mappe interattive, rilievi, vulcani, terremoti, ecosistemi, climi	**7.8%**	*"Prendendo in riferimento la geografia, la realtà Aumentata può essere particolarmente efficace nel rendere concetti astratti più concreti e facilitare l'esplorazione attiva del mondo."*
Storia	Civiltà antiche, monumenti, ricostruzioni 3D, contesti storici immersivi	**4.4%**	*"Ad esempio in storia la realtà aumentata permette ai bambini di esplorare visivamente una determinata civiltà, osservandone ambienti, abiti, architetture e usanze."*
Arte / Musica	Opere d'arte, sculture, musei virtuali, architettura, strumenti musicali	**4.4%**	*"La realtà aumentata rappresenta uno strumento innovativo e potente per l'educazione artistica: gli studenti possono analizzare dettagli nascosti di dipinti famosi o ricostruire modelli tridimensionali di sculture."*
Altre discipline / Generale	Italiano, tecnologia, contesti trasversali	**0.6%**	*"Ritengo che la realtà aumentata (AR) possa essere utile per specifiche discipline come per esempio l'Italiano, la matematica e la tecnologia."*

Tabella 8.6 – Categorie Tematiche emerse dalle risposte aperte relative agli ambiti disciplinari di applicazione della realtà aumentata

L'analisi delle risposte ha evidenziato che gli studenti individuano con maggiore frequenza un potenziale applicativo dell'AR per la disciplina Matematica/Geometria (45.6%). Questa percentuale è dovuta chiaramente al percorso formativo che ha come focus l'AR per l'insegnamento e apprendimento della geometria. Tuttavia, è bene notare come l'AR venga percepita come uno strumento efficace in grado di tradurre in esperienze concrete, i concetti astratti e complessi, come lo studio dei solidi geometrici, le trasformazioni isometriche o le sezioni piane.

Queste potenzialità sono, peraltro, evidenziate nelle seguenti citazioni rappresentative:

«In matematica, e in particolare nello studio della geometria, la realtà aumentata può rappresentare un valido supporto per rendere i concetti astratti più concreti e visivamente comprensibili. Un esempio significativo riguarda l'esplorazione delle forme geometriche solide. Attraverso app AR come GeoGebra AR, Solidos o TinkerCad, gli studenti possono osservare e manipolare oggetti tridimensionali nello spazio reale: ruotare un prisma, ingrandire una piramide, o guardare all'interno di una sfera, nonché costruire forme.»

«Prendendo come riferimento la geometria nella scuola primaria, la realtà aumentata può essere particolarmente efficace, ad esempio, per far comprendere concetti astratti come le trasformazioni geometriche (traslazioni, rotazioni, simmetrie).»

«In matematica, l'AR è efficace per far esplorare solidi 3D come prismi, piramidi o sfere, permettendo agli studenti di ruotarli, smontarli e osservarne le sezioni. Questo favorisce una comprensione concreta di volume, superficie e relazioni spaziali.»

«Nel caso della matematica, l'AR renderebbe sicuramente più efficace l'insegnamento della geometria, con particolare riferimento ai solidi, piani o di rotazione, catturando maggiormente l'interesse degli alunni.»

«Ad esempio, in matematica la realtà aumentata non è utile solo dal punto di vista dell'esplorazione dei solidi ma anche dal punto di vista della progettazione di grafici e tabelle nell'ambito della statistica e della probabilità, della creazione di flashcard interattive sulle operazioni, nella realizzazione e misurazione di oggetti tridimensionali.»

«Rispetto alla matematica, credo che l'AR possa essere particolarmente efficace in ambito geometrico, ad esempio, per trattare lo sviluppo dei solidi oppure le trasformazioni isometriche. Ciò potrebbe essere realizzato grazie a delle applicazioni che permettono di visualizzare ciò che altrimenti, per i bambini, rimarrebbe astratto o relativo alla visione 2D.»

«La realtà aumentata può essere particolarmente efficace nell'insegnamento della geometria solida, soprattutto con gli alunni della scuola primaria. Grazie alla possibilità di visualizzare e manipolare oggetti tridimensionali, l'AR permette agli studenti di osservare i solidi geometrici da ogni angolazione, esplorandone in modo diretto le caratteristiche come facce, spigoli e vertici.»

«Un esempio concreto è in matematica, dove l'AR permette di visualizzare i solidi geometrici in 3D, esplorarne facce, spigoli e vertici in modo interattivo, rendendo l'apprendimento più efficace e coinvolgente.»

«Grazie a ciò che è stato sperimentato durante questo laboratorio, mi sono resa conto di quanto sia efficace l'AR soprattutto in matematica poiché permette di applicare trasformazioni geometriche sui solidi e sulle figure piane, come traslazioni, rotazioni, simmetrie e scomposizioni, rendendo i concetti più chiari e accessibili.»

Un ulteriore settore disciplinare fortemente rappresentato è quello della Scienza/Biologia (37.8%). Anche per questo settore disciplinare l'AR viene percepita come una risorsa in grado di rendere visibili e tangibili strutture e fenomeni non accessibili facilmente, come il corpo umano, le cellule, i processi naturali – ad esempio la fotosintesi o il ciclo dell'acqua -.

Risultati più contenuti si riscontrano per Geografia (7.8%), Arte/Musica (4.4%) e Storia (4.4%). Nel dettaglio, per la Geografia, l'uso dell'AR viene associato alla possibilità di esplorare mappe interattive e ambienti naturali, come vulcani, o fenomeni, come i terremoti. Per la Storia, viene mesa in luce la possibilità di dare vita a scenari del passato. Infine, per l'ambito artistico-musicale, l'AR è vista come uno strumento utile per rendere la scoperta dell'arte più immersiva e coinvolgente o per avere la possibilità di suonare strumenti musicali in 3D.

Nel complesso, i dati qualitativi confermano e arricchiscono le evidenze quantitative. Se, da un lato, i futuri insegnanti affermano positivamente che l'AR migliori la comprensione dei concetti didattici rispetto ai metodi tradizionali, dall'altro loro stessi hanno argomentato come e in quali condizioni possa effettivamente essere implementata. Le risposte mettono in luce un chiaro riferimento ad un apprendimento di tipo esperienziale e significativo, in grado di favorire una comprensione profonda dei concetti e di stimolare la motivazione intrinseca degli studenti, per promuovere un approccio più attivo e partecipativo.

RQ4. Quali criticità e barriere vengono percepite dai futuri insegnanti in relazione all'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica?

a) Criticità percepite nell'integrazione dell'AR

Per esplorare le criticità avvertite da parte dei futuri insegnanti rispetto all'integrazione dell'AR nella prassi didattica, è stata posta la seguente domanda "*Quali ritieni possano essere le principali difficoltà o ostacoli legati all'integrazione della realtà aumentata nella didattica delle diverse discipline scolastiche?"* L'item prevedeva più opzioni di risposta predefinite (Figura 8.7).

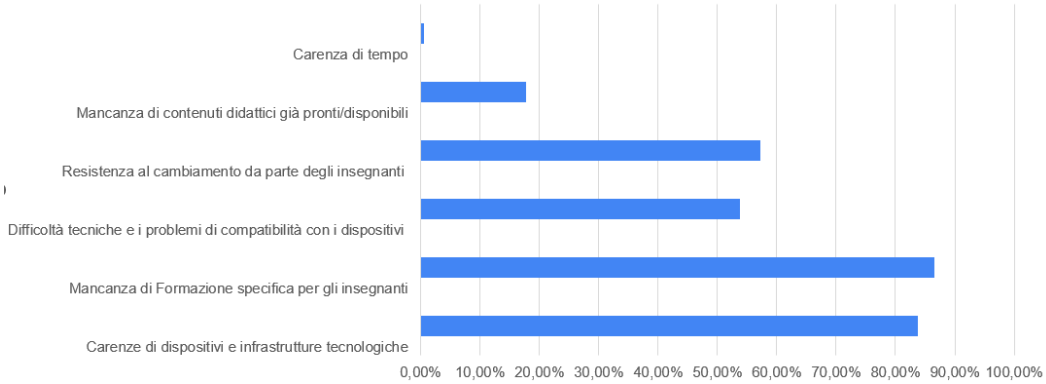


Figura 8.7 - Quali ritieni possano essere le principali difficoltà o ostacoli legati all'integrazione della realtà aumentata nella didattica delle diverse discipline scolastiche?

La mancanza di formazione specifica rivolta agli insegnanti rappresenta la barriera più segnalata (86.5%), seguita dalla *Carenza di dispositivi e infrastrutture tecnologiche* (83.7%). Queste evidenze sono significative perché mettono in luce come non basta la predisposizione degli insegnanti, dato che l'adozione dell'AR dipende anche dalle risorse materiali disponibili e dal possesso di competenze didattico-digitali mirate. Questo trova conferma nella percentuale associata all'altro item, *Difficoltà tecniche e problemi di compatibilità con i dispositivi* (44.1%), che manifesta l'esigenza di un adeguato supporto tecnico. Viene segnalata, inoltre, la *Resistenza al cambiamento da parte degli insegnanti* (57.2%), vista come una barriera culturale e attitudinale che può rallentare l'implementazione della tecnologia innovativa.

Meno rilevante, è la percezione relativa alla *Mancanza di contenuti didattici già pronti/disponibili in AR* (17.8%), percentuale non trascurabile, poiché la possibilità di avere dei contenuti già pronti potrebbe favorire maggiormente l'applicabilità dell'AR in classe e rappresentare un importante fattore abilitante. Una piccola percentuale (0.5%) menziona un ulteriore aspetto, ovvero la *Carenza di tempo*, come ostacolo per l'integrazione.

In sintesi, i dati evidenziano come le barriere percepite non siano legate alla mancanza di interesse verso l'innovazione, quanto piuttosto a fattori strutturali e formativi, che condizionano l'integrazione della tecnologia.

b) Preoccupazioni nell'implementazione dell'AR in classe

Per approfondire in maniera più dettagliata le preoccupazioni dei futuri insegnanti, è stato inserito un ulteriore quesito a risposta aperta: "*Quali sono le tue attuali preoccupazioni relative ad un possibile utilizzo in classe della realtà aumentata?*".

Le risposte ottenute sono state sottoposte ad un processo di analisi tematica, applicando lo stesso procedimento adottato precedentemente (cfr. RQ3), mediante il supporto del software MAXQDA (Tabella 7.7).

Categoria: Preoccupazioni	Descrizione	Frequenza (%)	Citazione rappresentativa
Accessibilità e risorse tecnologiche	Mancanza o inadeguatezza di dispositivi (tablet, smartphone, visori), connessione instabile o assente, disparità di accesso tra studenti.	41.3%	*"Una delle principali preoccupazioni riguarda la disponibilità e l'accessibilità delle risorse tecnologiche. Non tutte le scuole dispongono di dispositivi adeguati (tablet, smartphone, connessione internet stabile), e questo può creare disuguaglianze tra studenti o rendere difficile l'adozione diffusa dello strumento."*
Formazione e competenze degli insegnanti	Insufficiente preparazione tecno-pedagogica e didattica e timore di non saper integrare l'AR in modo efficace nelle pratiche didattiche.	23.9%	*"Sono preoccupata di non essere abbastanza preparata circa l'utilizzo di queste nuove tecnologie. Per questo motivo, vorrei approfondire e sviluppare meglio queste competenze, così da poterle integrare con maggiore sicurezza e consapevolezza nelle attività didattiche."*
Distrazione e uso superficiale	Rischio che gli studenti si concentrino sugli aspetti ludici e spettacolari dell'AR, perdendo di vista i contenuti didattici; uso ridotto a intrattenimento.	18.5%	*"Una possibile preoccupazione riguarda il rischio di distrazione: gli studenti potrebbero concentrarsi più sull'effetto visivo che sui contenuti."*
Tempo e organizzazione didattica	Maggiore tempo richiesto per progettare attività in AR, gestire problemi tecnici e integrare correttamente la tecnologia nelle lezioni	6.5%	"*Le mie attuali preoccupazioni riguardano la difficoltà di accesso alle risorse tecnologiche adeguate a tutti gli studenti, il tempo necessario per formarsi all'uso dell'AR e il rischio che la componente tecnologica prevalga sugli obiettivi didattici."*
Aspetti educativi e pedagogici	Timore che l'AR riduca il ruolo della manualità, della fantasia o delle modalità tradizionali di apprendimento, generando passività o dipendenza.	5.4%	*"Che i bambini possano staccarsi totalmente dalla realtà, mettendo da parte le capacità creative e logiche nel momento in cui vengono proposte loro solo attività di realtà aumentata precedentemente preparate."*
Nessuna preoccupazione	Nessuna particolare preoccupazione rispetto all'uso della realtà aumentata.	4.3%	*"Nessuna, è un'esperienza che riesce a stupire."*

Tabella 7.7 – Categorie tematiche emerse dalle risposte aperte relative alle criticità percepite rispetto all'implementazione dell'AR

L'analisi delle risposte aperte permette di ampliare il quadro offerto precedentemente, in maniera più articolata e approfondita. La criticità maggiormente segnalata riguarda *l'accessibilità e la disponibilità di risorse tecnologiche* (41.3%), con riferimento specifico all'assenza o carenza di dispositivi adeguati (come tablet o smartphone o software per la

progettazione) e alla scarsa stabilità della connessione internet, necessaria per un'implementazione efficace. Segue la questione della *formazione e delle competenze degli insegnanti* (23.9%), che pone in luce la complessità del fenomeno legata ad un'adeguata preparazione per gli attori principali del processo innovativo. Un ulteriore problema evidenziato riguarda la *distrazione e l'uso ludico o spettacolare della tecnologia* (18.5%), che potrebbe interferire con il valore didattico dell'AR, offuscandolo. In misura minore, vengono segnalate le *difficoltà legate alla gestione del tempo e all'organizzazione didattica* (6.5%), soprattutto in riferimento alla progettazione e alla preparazione di attività che integrano l'AR, che devono uniformarsi ed essere in perfetta sintonia con il curricolo. Alcuni rispondenti, inoltre, hanno messo in evidenza alcune criticità di tipo *educativo e pedagogico* (5.4%), esprimendo preoccupazione per una possibile riduzione della fantasia e della manualità degli alunni, che rischiano di trasformarsi in fruitori passivi. È, altresì, significativo che il 4.3% degli intervistati non riscontri, in seguito al percorso formativo, nessuna preoccupazione specifica, piuttosto riconoscendo nell'AR un'opportunità senza precedenti.

In conclusione, le criticità percepite dai futuri insegnanti non riguardano la loro mancanza di interesse verso l'innovazione tecnologica, bensì questioni strutturali e formative. La mancanza di una formazione specifica e di risorse tecnologiche adeguate vengono percepiti come ostacoli che rallentano l'inserimento dell'AR nella prassi didattica, insieme alle resistenze al cambiamento da parte di una buona fetta del personale docente.

8.8 Analisi esplorative aggiuntive

Al fine di approfondire ulteriormente le relazioni tra le variabili indagate, sono state condotte alcune analisi esplorative aggiuntive. In particolare, si è voluto verificare in che misura le competenze digitali autopercepite (rilevate attraverso la scala DigCompEdu) potessero agire come predittori degli atteggiamenti verso l'AR e delle competenze tecno-didattiche percepite, misurate rispettivamente attraverso le scale ARAAS e TARC. Inoltre, è stata analizzata la correlazione tra le due scale principali del questionario AR-TECH, in modo da rilevare eventuali relazioni significative tra atteggiamenti e competenze percepite nei confronti dell'integrazione della realtà aumentata in ambito didattico.

8.8.1 Regressioni lineari: DigCompEdu come predittore delle scale ARAAS e TARC

È stato esplorato se il ruolo della percezione delle proprie competenze digitali si rilevasse un predittore significativo degli atteggiamenti e delle percezioni nei confronti dell'AR. A tal fine, sono state condotte due analisi di regressione lineare semplice, applicate sia alle dimensioni della scala ARAAS che a quelle della scala TARC.

In entrambi i casi, la variabile indipendente è rappresentata dal livello di competenza digitale percepito, misurato attraverso il framework DigCompEdu, trattata come variabile continua, in linea con le indicazioni metodologiche presenti in letteratura (Norman, 2010). Le variabili dipendenti corrispondono, rispettivamente, alle singole dimensioni delle due scale analizzate.

La regressione lineare per le dimensioni della scala ARAAS ha mostrato che le competenze digitali percepite (DigCompEdu) non sono un predittore significativo per quanto riguarda la dimensione della *Rilevanza* $\beta = 0.057$, $t\ (206) = 0.821$, $p = 0.413$, con una quota trascurabile della varianza ($R^2 = 0.003$), indicando un'associazione molto debole. Stesso discorso va riferito alla dimensione *Soddisfazione*, con valori $\beta = -0.055$, $t\ (206) = -0.789$, $p = 0.431$) e una varianza trascurabile ($R^2 = 0.003$). Infine, anche per la dimensione relativa all'*Affidabilità* ci sono evidenze significative ($\beta = -0.019$, $t\ (206) = -0.266$, $p = 0.790$, con $R^2 < 0.001$), confermando l'assenza di una relazione tra le competenze digitali autopercepite e la percezione di affidabilità dell'AR.

Nel complesso, i risultati confermano che il livello di competenza digitale percepita non esercita un'influenza significativa sugli atteggiamenti e sulle percezioni dei futuri insegnanti riguardo all'uso dell'AR (Tabella 8.8).

Dimensione (DV)	β (Standardizzato)	b (Stima)	SE	t	p	R^2
Rilevanza	0.057	0.0315	0.0384	0.821	0.413	0.003
Soddisfazione	−0.055	−0.0364	0.0461	−0.789	0.431	0.003
Affidabilità	−0.019	−0.0125	0.0470	−0.266	0.790	<0.001

Tabella 8.8 – Regressione Lineare: Livelli DigCompEdu– ARAAS

La regressione lineare è stata condotta anche per le dimensioni della scala TARC, al fine di analizzare se la percezione delle proprie competenze digitali è predittiva rispetto all'uso, agli atteggiamenti verso l'AR, alla capacità di creare contenuti aumentati e alla gestione e utilizzo di risorse in AR (Tabella 8.9).

I risultati emersi dalla dimensione *Atteggiamenti* pone in luce il fatto che le competenze digitali non costituiscono un predittore significativo delle disposizioni dei futuri insegnanti verso l'integrazione dell'AR ($\beta = -0.081$, $t\ (206) = -1.17$, $p = 0.245$), con una varianza meno dell'1% ($R^2 = 0.007$). L'apertura e la predisposizione verso questa tecnologia innovativa sembrano svilupparsi indipendentemente dalle competenze digitali autopercepite. Anche per la dimensione *Creazione* c'è un effetto del tutto trascurabile, ($\beta = -0.081$, $t\ (206) = -1.17$, $p = 0.245$) ($R^2 = 0.007$). Il risultato suggerisce che il miglioramento percepito nella progettazione e creazione di contenuti in AR, prescinde dalla competenza digitale autoriferita. Analogamente, anche per le altre due dimensioni della scala vale lo stesso discorso, poiché non ci sono valori significativi: *Uso*, ($\beta = -0.016$, $t\ (206) = -0.228$, $p = 0.820$, $R^2 < 0.001$), *Gestione* ($\beta = 0.011$, $t\ (206) = 0.158$, $p = 0.875$), $R^2 < 0.001$).

Anche per queste dimensioni, la regressione conferma che le competenze digitali non hanno nessun valore predittivo. Pertanto, i progressi osservati in tali aree dipendono non tanto dal livello digitale di partenza, quanto dall'esperienza formativa in sé, capace di incidere trasversalmente sulle competenze degli studenti.

Dimensione (DV)	β (Standardizzato)	b (Stima)	SE	t	p	R^2
Atteggiamenti	−0.081	−0.0496	0.0425	−1.17	0.245	0.007
Creazione	−0.081	−0.0496	0.0425	−1.17	0.245	0.007
Uso	−0.016	−0.0111	0.0486	−0.228	0.820	<0.001
Gestione	0.011	0.0071	0.0448	0.158	0.875	<0.001

Tabella 8.9 – Regressione Lineare: Livelli DigCompEdu – TARC

8.8.2 Analisi delle correlazioni tra le scale ARAAS e TARC

Al fine di esplorare le relazioni tra atteggiamenti e percezioni di competenza nell'uso dell'AR, è stata condotta un'analisi di correlazione mediante *Coefficiente di Spearman (rho)*, prendendo in riferimento le dimensioni della scala ARAAS e quelle della scala TARC.

L'analisi della matrice di correlazione ha evidenziato relazioni significative tra tutte le dimensioni della scala ARAAS (Rilevanza, Soddisfazione e Affidabilità) con quelle della scala TARC (Atteggiamenti, Creazione, Uso e Gestione) ($p < .001$). Nel dettaglio, la dimensione *Rilevanza* (P) dell'ARAAS presenta correlazioni negative ma significative con tutte le dimensioni del TARC, con valori compresi tra -0.45 (M) e -0.632 (A, C). Invece, risultano fortemente correlate con le dimensioni del TARC, *Soddisfazione* (S) e *Affidabilità* (AF). La *Soddisfazione* presenta un valore pari a 0.643 con la dimensione *Gestione* (M) e 0.766, con *Atteggiamenti* (A) e *Creazione* (C). *L'Affidabilità* (AF) riferisce valori di correlazione compresi tra 0.660 con *Creazione* (C) e 0.743 *Uso* (U).

In sintesi, i risultati mettono in luce un andamento coerente e significativo, evidenziando come la percezione di soddisfazione e la fiducia nella tecnologia siano strettamente associate al riconoscimento delle proprie competenze in AR. La dimensione della *Rilevanza* mostra associazioni negative, che potrebbero indicare una discrepanza tra la valutazione dell'utilità complessiva dell'AR e la percezione delle proprie competenze necessarie per poter implementare l'AR (Tabella 8.10).

		P POST	S POST	AF POST	A POST	C POST	U POST	M POST
P POST	Rho di Spearman	—						
	gdl	—						
	valore p	—						
S POST	Rho di Spearman	-0.663	—					
	gdl	206	—					
	valore p	< .001	—					
AF POST	Rho di Spearman	-0.618	0.816	—				
	gdl	206	206	—				
	valore p	< .001	< .001	—				
A POST	Rho di Spearman	-0.632	0.766	0.660	—			
	gdl	206	206	206	—			
	valore p	< .001	< .001	< .001	—			
C POST	Rho di Spearman	-0.632	0.766	0.660	1.000	—		
	gdl	206	206	206	206	—		
	valore p	< .001	< .001	< .001	< .001	—		
U POST	Rho di Spearman	-0.543	0.743	0.731	0.689	0.689	—	
	gdl	206	206	206	206	206	—	
	valore p	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—	
M POST	Rho di Spearman	-0.465	0.643	0.678	0.599	0.599	0.817	—
	gdl	206	206	206	206	206	206	—
	valore p	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—

Tabella 8.10 – Matrice di Correlazione tra le medie delle scale ARAAS e TARC

8.9 Riflessioni Conclusive

Sebbene l'integrazione delle tecnologie digitali nella didattica sia ormai ampiamente diffusa, permangono interrogativi legati alla preparazione degli insegnanti e alla loro capacità di tradurre l'innovazione tecnologica in pratiche didattiche efficaci. La predisposizione individuale e il senso di autoefficacia si confermano fattori chiave per una transizione pedagogicamente orientata (Gomez et al., 2022). In tale contesto, la realtà aumentata (AR) si configura come una tecnologia promettente, ma la sua implementazione richiede percorsi formativi mirati, che integrino competenze tecniche e capacità progettuali e didattiche (Marín-Marín et al., 2023; Nikou et al., 2021).

La presente ricerca si colloca all'interno di questo scenario e si propone di esplorare le potenzialità dell'AR nell'ambito della formazione iniziale degli insegnanti della scuola primaria, con particolare attenzione all'insegnamento della geometria. Il percorso formativo Teach in AR è stato progettato per guidare gli studenti in un'esperienza didattica immersiva e laboratoriale, finalizzata allo sviluppo di competenze tecniche e didattiche, attraverso la progettazione e l'uso consapevole dell'AR.

I dati raccolti confermano come, pur in presenza di un atteggiamento iniziale positivo verso l'AR, i futuri insegnanti non si sentissero pienamente competenti nell'integrarne l'uso nella pratica didattica (Marín-Marín et al., 2023; Lasica et al., 2020). Tuttavia, l'esperienza formativa ha contribuito in modo significativo al consolidamento della fiducia nelle proprie capacità,

promuovendo lo sviluppo di competenze operative, procedurali e organizzative.

In particolare, l'analisi pre e post intervento ha mostrato miglioramenti statisticamente significativi in tre dimensioni fondamentali: *Creazione, Uso e Gestione* di contenuti in realtà aumentata. Anche la dimensione legata agli *Atteggiamenti* ha registrato un rafforzamento, seppur più contenuto, suggerendo che l'esperienza ha consolidato una predisposizione già positiva verso l'innovazione. Inoltre, nella scala ARAAS, la dimensione *Affidabilità* ha mostrato un incremento rilevante, indicando una crescente fiducia nell'AR come risorsa educativa utile e funzionale. Al contrario, Rilevanza e Soddisfazione sono rimaste stabili, confermando percezioni già favorevoli prima dell'intervento.

Tra gli aspetti più innovativi emersi vi è la progettazione di libri illustrati e aumentati, realizzati in modalità collaborativa. Questi artefatti si sono rivelati strumenti didattici efficaci, capaci di supportare l'elaborazione attiva delle informazioni, ridurre il carico cognitivo e favorire l'integrazione multimodale di contenuti (visivi, testuali, interattivi), in linea con quanto suggerito dalla letteratura (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Wu et al., 2024). La possibilità di manipolare oggetti 3D ha rappresentato un valore aggiunto per lo sviluppo del pensiero spaziale e geometrico.

Tuttavia, l'implementazione dell'AR richiede una progettazione consapevole e una mediazione didattica attenta, per evitare il rischio di sovraccarico cognitivo (Rossano et al., 2020). A tale scopo, il percorso formativo ha fornito strumenti metodologici e operativi per orientare l'integrazione dell'AR in modo coerente con gli obiettivi curricolari e i diversi stili cognitivi degli alunni.

In merito alle criticità (RQ4), i principali ostacoli percepiti riguardano la carenza di dispositivi, infrastrutture, formazione tecnica e la compatibilità dei software. Emergono anche resistenze culturali e timori legati alla gestione didattica, nonché alla percezione dell'AR come tecnologia ludica più che educativa. Alcuni partecipanti hanno sollevato il rischio di una riduzione della creatività o della manualità degli studenti, suggerendo la necessità di un uso bilanciato della tecnologia.

L'analisi delle correlazioni tra le competenze digitali autopercepite (framework DigCompEdu) e le dimensioni ARAAS e TARC ha mostrato che tali competenze non sono predittive delle abilità specifiche legate all'uso dell'AR. Questo risultato evidenzia il ruolo di variabili motivazionali e formative, oltre che contestuali, nella predisposizione ad adottare tecnologie immersive in modo efficace.

Il percorso formativo *Teach in AR*, declinato per l'insegnamento della geometria con AR, ha costituito un'importante occasione per analizzare in modo concreto gli effetti dell'implementazione dell'AR nel curriculum dei futuri insegnanti, in un momento storico in cui l'innovazione è la protagonista dei processi educativi, richiedendo nuove riflessioni pedagogiche.

Grazie al coinvolgimento degli studenti del CdL in Scienze della Formazione Primaria, è stato possibile sperimentare un percorso che ha previsto la progettazione di un artefatto finale (crf. Appendice). L'esperienza ha permesso di avvicinare i futuri insegnanti alle tecnologie immersive, stimolando al contempo la partecipazione attiva al cambiamento e promuovendo i processi di alfabetizzazione digitale e professionale.

Lo studio, tuttavia, presenta alcune limitazioni. L'impiego di strumenti basati sull'autovalutazione ha introdotto una componente di soggettività nei dati raccolti, cosa che limita la robustezza delle inferenze e riduce la generalizzabilità dei risultati. A ciò si aggiunge il fatto che il percorso ha coinvolto esclusivamente i futuri insegnanti, escludendo gli insegnanti in servizio che avrebbero apportato prospettive diversificate, grazie alla loro esperienza professionale. Inoltre, non è stato possibile condurre analisi comparative in base al genere e all'età, date le caratteristiche del campione, composto in prevalenza da donne con un'età media pari a 23 anni. Il campione è di tipo non probabilistico e proviene da un unico contesto universitario, circostanza che limita la generalizzabilità dei risultati. Infine, l'assenza di un gruppo di controllo rappresenta un ulteriore limite del disegno quasi-sperimentale adottato.

Alla luce di tali limiti, tra le prospettive di ricerca futura, si auspica di ampliare il campione includendo anche insegnanti in servizio e un campione più eterogeneo dal punto di vista sociodemografico, così da ottenere un quadro più rappresentativo e generalizzabile. Inoltre, uno studio longitudinale potrebbe essere utile per indagare l'evoluzione nel tempo delle percezioni e delle competenze, valutando l'impatto del percorso formativo nel lungo periodo. Un ulteriore ambito di riflessione riguarda lo sviluppo e la sperimentazione di modelli didattici replicabili che integrino stabilmente l'AR nelle diverse discipline, così da verificarne l'efficacia, rispetto anche ai risultati di apprendimento. Infine, ricerche future potrebbero esplorare, in maniera più dettagliata, le condizioni strutturali necessarie per rendere sostenibile e implementabile la realtà aumentata nei contesti educativi.

È prevista, in futuro, anche l'implementazione del quarto modulo del framework Teach in AR, non realizzato per ragioni organizzative. Questo modulo è dedicato alla valutazione tra pari attraverso due rubriche: la rubrica EVAR (Henne et al., 2024), per la valutazione della qualità didattica, tecnologica e motivazionale degli artefatti in AR, e la rubrica CSP-AR (Creatività, Storytelling, Progettazione – La Marca & Leone, 2024), finalizzata a valutare aspetti narrativi e progettuali legati al compito autentico richiesto.

In conclusione, l'esperienza formativa ha rappresentato un'opportunità significativa per esplorare l'impatto dell'AR nella formazione dei futuri insegnanti all'utilizzo consapevole e didatticamente orientato della realtà aumentata per l'insegnamento e apprendimento della geometria nella

scuola primaria, fungendo da modello sperimentale per la progettazione di percorsi replicabili, capaci di integrare l'innovazione tecnologica in modo significativo e sostenibile nei contesti educativi.

Riferimenti Bibliografici

Abdul Hanid, M. F., Mohamad Said, M. N. H., Yahaya, N., & Abdullah, Z. (2022). Effects of augmented reality application integration with computational thinking in geometry topics. *Education and Information Technologies*, *27*(7), 9485-9521.

Bayuningsih, A. S., Usodo, B., & Subanti, S. (2018, May). Problem based learning with scaffolding technique on geometry. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1013, No. 1, p. 012134). IOP Publishing.

Belda-Medina, J., & Calvo-Ferrer, J. R. (2022). Integrating augmented reality in language learning: Pre-service teachers' digital competence and attitudes through the TPACK framework. *Education and Information Technologies*, *27*(9), 12123-12146.

Bergman, M. M. (2008). Advances in mixed methods research: Theories and applications.

Bertoline, G. R. (1998). Visual science: An emerging discipline. *Journal for Geometry and Graphics*, *2*(2), 181-187.

Bueno, R. W. D. S., Lieban, D., & Ballejo, C. C. (2021). Mathematics teachers' TPACK development based on an online course with GeoGebra. *Open Education Studies*, *3*(1), 110-119.

Bulut, M., & Borromeo Ferri, R. (2023). A systematic literature review on augmented reality in mathematics education. *European Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(3), 556-572.

Crowley, M. L. (1987). The van Hiele model of the development of geometric thought. *Learning and teaching geometry, K-12*, *1*, 1-16.

Fachrudin, A. D., & Juniati, D. (2023). Kinds of mathematical thinking addressed in geometry research in schools: A systematic review. *Jurnal Riset Pendidikan dan Inovasi Pembelajaran Matematika*, *6*(2), 154-165.

Flores-Bascuñana, M., Diago, P. D., Villena-Taranilla, R., & Yáñez, D. F. (2019). On augmented reality for the learning of 3D-geometric contents: A preliminary exploratory study with 6-grade primary students. *Education Sciences*, *10*(1), 4.

Fujita, T., & Jones, K. (2007). Learners'understanding Of The Definitions And Hierarchical Classification Of Quadrilaterals: Towards A Theoretical Framing. *Research in Mathematics Education*, *9*(1), 3-20.

Garzia, M., & Esposito, A. (2024). Promuovere lo sviluppo della competenza geometrica: una ricerca nella scuola dell'infanzia. *Journal of*

Educational, Cultural and Psychological Studies (ECPS Journal), (29), 107-131.

Gusteti, M. U., Rahmalina, W., Wulandari, S., Azmi, K., Mulyati, A., Hayati, R., ... & Cahyati, V. N. (2025). GeoGebra Augmented Reality: An Innovation in Improving Students' Mathematical Problem-Solving Skills. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, *13*(3), 584-596.

Henne, A., Syskowski, S., Krug, M., Möhrke, P., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2024). How to Evaluate Augmented Reality Embedded in Lesson Planning in Teacher Education. *Education Sciences*, *14*(3), 264.

Hervás-Gómez, C., Toledo-Morales, P., & Díaz-Noguera, M. D. (2017). Augmented reality applications attitude scale (ARAAS): Diagnosing the attitudes of future teachers. *The New Educational Review*, *50*, 215-226.

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, *123*, 109-123.

İbili, E., Çat, M., Resnyansky, D., Şahin, S., & Billinghurst, M. (2020). An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance students' 3D geometry thinking skills. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, *51*(2), 224-246.

Kösa, T., & Yaşar, E. K. (2024). The Effect of Teaching Geometric Objects with Augmented Reality Applications on Students' Performance and Mathematics Attitudes. *Cumhuriyet International Journal of Education*, *13*(4).

Lasica, I. E., Meletiou-Mavrotheris, M., & Katzis, K. (2020). Augmented reality in lower secondary education: A teacher professional development program in Cyprus and Greece. *Education Sciences*, *10*(4), 121

Marín-Marín, J. A., López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., & Moreno-Guerrero, A. J. (2023). Attitudes towards the development of good practices with augmented reality in secondary education teachers in Spain. *Technology, Knowledge and Learning*, *28*(4), 1443-1459.

Medina Herrera, L., Castro Pérez, J., & Juárez Ordóñez, S. (2019). Developing spatial mathematical skills through 3D tools: augmented reality, virtual environments and 3D printing. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *13*(4), 1385-1399.

MIUR – Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca**.** (2012). *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione*. Roma: MIUR.

Nadzeri, M. B., Musa, M., & Ismail, I. M. (2024). The Effects of Augmented Reality Geometry Learning Applications on Spatial Visualization Ability for Lower Primary School Pupils. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *18*(16).

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2021). Towards a teachers' augmented reality competencies (TARC) framework. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning* (pp. 203-212). Cham: Springer International Publishing.

Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024). Exploring teachers' competences to integrate augmented reality in education: Results from an international study. *TechTrends*, *68*(6), 1208-1221.

Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Advances in health sciences education*, *15*(5), 625-632.

Nusaibah, N., Pramudya, I., & Subanti, S. (2021). Geometric thinking skills of seventh grade students on the topic of triangle and quadrilateral based on Van Hiele geometry learning theory. *Journal of Physics: Conference Series, 1776*(1)

Nusaibah, N., Pramudya, I., & Subanti, S. (2021). Geometric thinking skills of seventh grade students on the topic of triangle and quadrilateral based on Van Hiele geometry learning theory. *Journal of Physics: Conference Series, 1776*(1)

Önal, N., Ibili, E., & Çaliskan, E. (2017). Does Teaching Geometry with Augmented Reality Affect the Technology Acceptance of Elementary School Mathematics Teacher Candidates?. *Online Submission*, *8*(19), 151-163.

P. M. Van Hiele, *Structure and Insight*. London: Academic Press, 1986

Parzysz, B. (1988). "Knowing" vs "seeing". Problems of the plane representation of space geometry figures. *Educational studies in mathematics*, *19*(1), 79-92.

Piaget, J. (2013). *Mental Imaginery in the Child: Selected Works vol 6*. Routledge.

Redecker, C., & Punie, Y. (2017). Digital competence of educators. *Edited by Yves Punie*.

Reza A., Lailiyah, S., Agus, F., & Ramadiani, R. (2019). "Magic Boosed" an elementary school geometry textbook with marker-based augmented reality. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, *17*(3), 1242-1249.

Rodríguez, C. L., García-Jiménez, M., Massó-Guijarro, B., & Cruz-González, C. (2021). Digital storytelling in education: A systematic review of the literature. *Rev. Eur. Stud.*, *13*, 13.

Rossano, V., Lanzilotti, R., Cazzolla, A., & Roselli, T. (2020). Augmented reality to support geometry learning. *IEEE ACCESS*, *8*, 107772-107780.

Ruslau, M. F. V., & Dadi, O. (2025). The impact of GeoGebra AR on students' geometric thinking based on Van Hiele theory. *Journal of Honai Math*, *8*(1), 115-128.

Sáez-López, J. M., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., & Gómez Carrasco, C. J. (2020). Augmented reality in higher education: An evaluation program in initial teacher training. *Education Sciences*, *10*(2), 26.

Scali, E. (2020). Un approccio attivo alla geometria piana nella scuola primaria. *Didattica della matematica. Dalla ricerca alle pratiche d'aula*, (8), 141-163.

Sugiyarti, S., & Ruslau, M. F. (2019). Meningkatkan tingkat berpikir geometri siswa berdasarkan fase belajar model Van Hiele menggunakan media bangun ruang dimensi tiga. *Magistra: Jurnal Keguruan Dan Ilmu Pendidikan*, *6*(1), 065-073.

Sunzuma, G. (2023). Technology Integration in Geometry Teaching and Learning: A Systematic Review (2010-2022). *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, *11*(3), 1-18.

Trinchero, R. (2012). La ricerca e la sua valutazione. Istanze di qualità per la ricerca educativa. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, *6*, 75-96.

Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K., & Peña-Rios, A. (2018). Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, *9*(5), 1391-1402.

Wu, J., Jiang, H., Long, L., & Zhang, X. (2024). Effects of AR mathematical picture books on primary school students' geometric thinking, cognitive load and flow experience. *Education and Information Technologies*, *29*(18), 24627-24652.

Wu, J., Jiang, H., Long, L., & Zhang, X. (2024). Effects of AR mathematical picture books on primary school students' geometric thinking, cognitive load and flow experience. *Education and Information Technologies*, *29*(18), 24627-24652.

Yelland, N. (2015). Pedagogical prompts: Designing experiences to promote deep learning. In *A pedagogy of multiliteracies: Learning by design* (pp. 288-304). London: Palgrave Macmillan UK.

Yohannes, A., & Chen, H. L. (2023). GeoGebra in mathematics education: a systematic review of journal articles published from 2010 to 2020. *Interactive Learning Environments*, *31*(9), 5682-5697.

Yousef, A. M. F. (2021). Augmented reality assisted learning achievement, motivation, and creativity for children of low-grade in primary school. *Journal of Computer Assisted Learning*, *37*(4), 966-977.

Zarrati, Z., Zohrabi, M., Abedini, H., & Xodabande, I. (2024). Learning academic vocabulary with digital flashcards: Comparing the outcomes from computers and smartphones. *Social Sciences & Humanities Open*, *9*, 100900.

Appendice A – Libri Aumentati

I seguenti materiali documentano una selezione di libri aumentati realizzati dai futuri insegnanti partecipanti al percorso formativo *Teach in AR*, implementato nell'ambito della presente ricerca. Tali artefatti rappresentano il prodotto finale del percorso laboratoriale volto a integrare competenze progettuali, digitali e didattiche, con particolare attenzione all'impiego della realtà aumentata nella scuola primaria.

Ogni libro è stato realizzato in piccoli gruppi attraverso un processo di progettazione integrata che ha previsto la modellazione di oggetti tridimensionali con *Thinkercad*, successivamente associati a contenuti in AR mediante *Merge EDU* e altre applicazioni AR *marker-based,* con contenuti già pronti in AR. Questi ambienti hanno permesso agli studenti di creare e fruire di contenuti digitali sovrapposti alla realtà attraverso la semplice scansione di QR Code con la fotocamera del dispositivo mobile. I libri aumentati. Il libro è stato assemblato su *Canva*, una piattaforma di *storytelling digitale*, ed è stato pensato come uno strumento didattico autentico, finalizzato all'insegnamento di contenuti disciplinari in chiave inclusiva e motivante. I materiali sono stati selezionati in base alla loro coerenza con i criteri del framework *Teach in AR*, con particolare riguardo alla creatività, alla pertinenza didattica e alla qualità dell'integrazione AR.

Poiché tutti i libri seguono la medesima struttura, vengono presentati a titolo esemplificativo, alcuni screenshot tratti dal primo libro (a), che mostrano la resa visiva dei contenuti 3D e l'attivazione della realtà aumentata tramite QR code.

a) Il Castello dei solidi perduti. Edizione Magica



SCENARIO EDUCATIVO

In questa attività i bambini esplorano il mondo dei solidi geometrici attraverso la storia di "Lino in Geometrilandia".

Costruiscono e riconoscono cubi, piramidi, cilindri e sfere, imparano le loro caratteristiche principali in modo divertente e pratico.

L'esperienza aiuta a sviluppare il ragionamento spaziale, la manualità e la capacità di osservazione, rendendo la geometria più concreta e stimolante

2

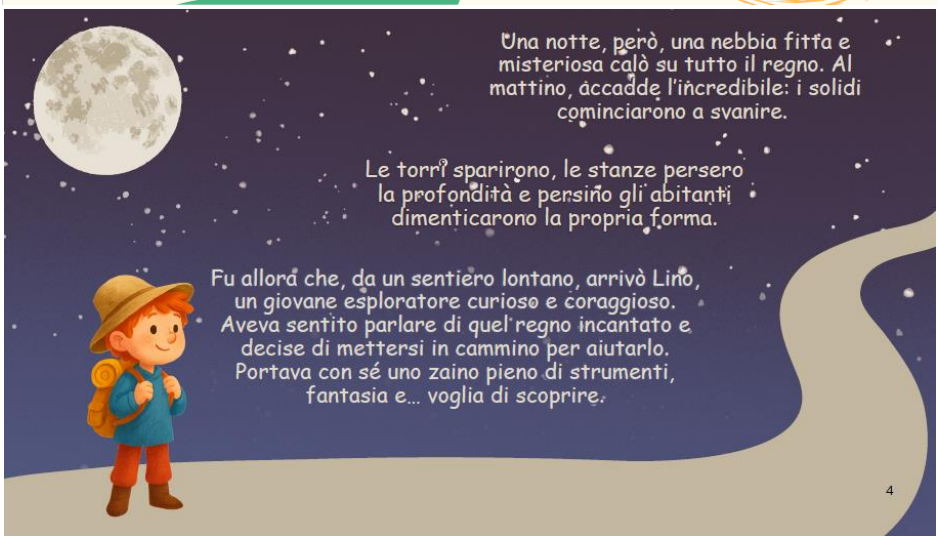
Nel cuore di un mondo lontano, colorato e pieno di angoli magici, sorgeva Geometrilandia, un regno fatto di forme perfette.



Al centro di quel paesaggio tridimensionale si innalzava il maestoso Castello dei Solidi, con le sue torri a forma di piramide e le mura costruite con cubi perfetti. A governarlo c'era Re Dodecaedro, un sovrano saggio e ordinato, proprio come le sue dodici facce pentagonali

Scansiona il QR code per vedere il castello!

3



Una notte, però, una nebbia fitta e misteriosa calò su tutto il regno. Al mattino, accadde l'incredibile: i solidi cominciarono a svanire.

Le torri sparirono, le stanze persero la profondità e persino gli abitanti dimenticarono la propria forma.

Fu allora che, da un sentiero lontano, arrivò Lino, un giovane esploratore curioso e coraggioso. Aveva sentito parlare di quel regno incantato e decise di mettersi in cammino per aiutarlo. Portava con sé uno zaino pieno di strumenti, fantasia e... voglia di scoprire.

4

Al suo arrivo al castello, Lino fu accolto da alcuni strani personaggi:



Sferos:
il cavaliere rotolante, che mostrò a Lino una mappa antica: indicava quattro sale in cui i solidi erano misteriosamente scomparsi.



Cilindrina:
la principessa dei cilindri, che non riusciva più a girare su se stessa senza la sua forma.



Cubix:
il maggiordomo squadrato, disperato per la sparizione dei cubi che tenevano in ordine le stanze.

5



Nel grande salone buio del castello, un enorme libro si aprì con un fruscio magico. Le pagine erano… completamente bianche.

"Il castello sta dimenticando tutto," spiegò Re Dodecaedro con voce grave.
"Solo tu puoi riscrivere la nostra storia. Ogni volta che ritroverai un solido, una pagina tornerà a vivere."
Lino annuì deciso: l'avventura poteva iniziare.

6

LA CRIPTA DEI CUBI



Il cubo è un solido con 6 facce quadrate uguali, 12 spigoli e 8 vertici.

Prima Prova

Entrato nella prima sala, Lino trovò solo un piedistallo vuoto. Una voce riecheggiò:

"Ho sei facce quadrate, tutti i lati uguali… ma ora non sono più nulla."

Apparve una carta magica con un cubo, che si animò in 3D. Si vedevano le facce, i vertici e gli spigoli.

"Costruiscimi con le tue mani, e tornerò!"

Lino prese delle scatoline, le incollò e ne costruì uno perfetto. Quando lo posò sul piedistallo… le pareti della stanza si ricostruirono a cubi!

7

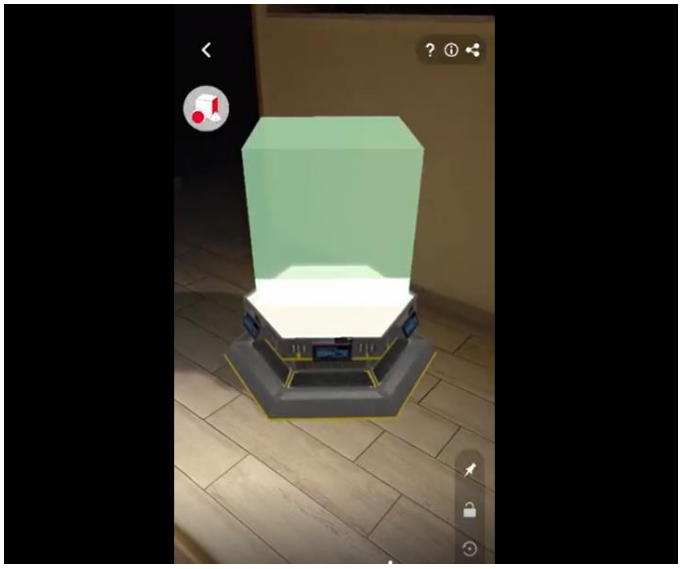


Figura 3 - Esempio di visualizzazione del contenuto in realtà aumentata, attivato tramite scansione del QR code:





Figura 4 - Secondo esempio di contenuto in AR



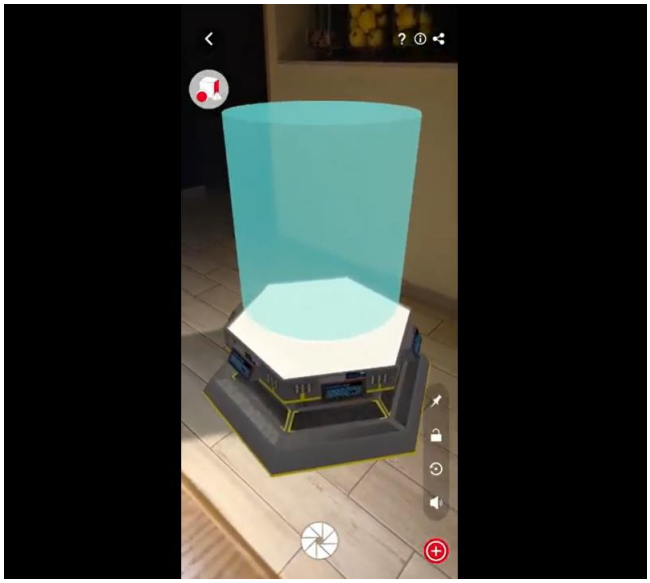


Figura 5 - Terzo contenuto in AR

Tornato nella sala principale,
Lino vide il grande libro che cominciava a riscriversi da solo.
Apparivano parole d'oro, disegni tridimensionali, spiegazioni semplici e solidi danzanti che riempivano ogni pagina.

"Hai riportato la memoria al castello," disse Re Dodecaedro commosso.
"Ora tutto può tornare come prima."



Come segno di gratitudine, ogni personaggio donò a Lino una medaglia dei solidi ritrovati: cubo, piramide, cilindro, sfera...



"Ma la ricompensa più grande," disse Cilindrina:
"è sapere che ora vedrai i solidi ovunque:
nei palazzi, nei giochi, nei sogni..."

E da quel giorno, ogni volta che Lino riconosceva un solido nel mondo...
una nuova pagina del Castello dei Solidi si scriveva da sola.

12

Adesso tocca a te

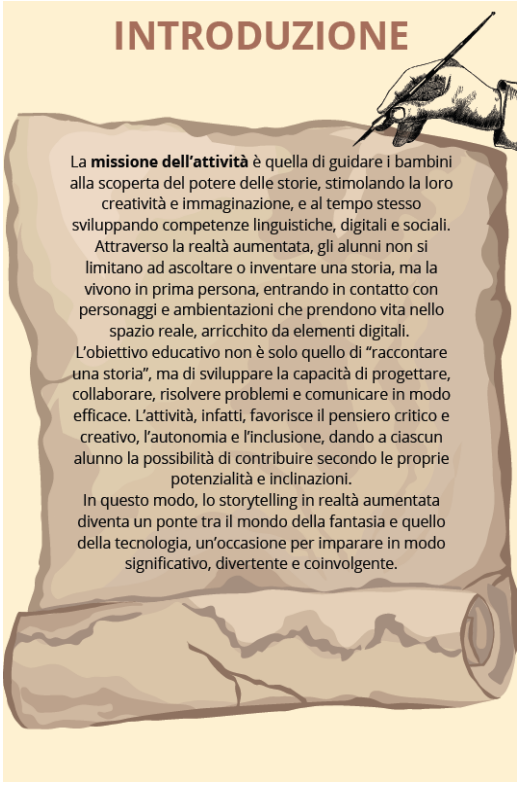
Ora che hai vissuto l'avventura di Lino e hai salvato la Geometrilandia, dimostra quanto sei diventato esperto di solidi! Riuscirai a conquistare la medaglia dei solidi di geometrilandia?
Per scorpirlo inquadra il QR code qui sotto e rispondi alle domande del quiz.





b) Il Ciclo della Metamorfosi della Farfalla





La Magica Trasformazione di Lina la Farfalla

The Magical Transformation of Lina the Butterfly

C'era una volta, in un giardino fiorito, un piccolo **uovo** appeso a una foglia verde.
L'uovo era lucente e sembrava quasi sorridere al sole.



Once upon a time, in a blooming garden, there was a tiny egg hanging from a green leaf. The egg was shiny and seemed to smile at the sun.

Un giorno, con un piccolo "Crack!" dall'uovo uscì Lina, un minuscolo bruco affamato.



One day, with a small Crack!, Lina, a tiny hungry caterpillar, emerged from the egg.

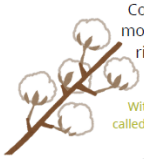


Lina passava le sue giornate a mangiare foglie tenere, crescendo sempre di più. "Che buone queste foglie!" diceva mentre si rotolava felice. Ma un giorno, dopo tanto mangiare, si sentì stanca. "È ora di riposare," sussurrò.

Lina spent her days munching on tender leaves, growing bigger and stronger. "These leaves are so delicious!" she said, rolling around happily. But one day, after eating so much, she felt tired. "It's time to rest," she whispered.



Con un filo di seta, si costruì un **bozzolo** morbido, chiamato **crisalide**. Dentro quel rifugio segreto, Lina iniziò una magica trasformazione.



With a silk thread, she built herself a soft **cocoon**, called a **chrysalis**. Inside this secret refuge, Lina began a magical transformation.





I giorni passavano, e mentre fuori pioveva e splendeva il sole, dentro la crisalide accadeva qualcosa di straordinario.



Days passed, as rain fell and the sun shined outside, but inside the chrysalis, something extraordinary was happening.



Finalmente, dopo tanto tempo, il bozzolo si aprì... e ne uscì **Lina**, ora una splendida **farfalla**!



Finally, after a long time, the cocoon opened... and **Lina** emerged as a magnificent **butterfly**!



Le sue ali erano colorate come l'arcobaleno e brillavano al sole. "Wow, posso volare!" esclamò, spiegando le ali per la prima volta.

Her wings were as colorful as a rainbow and shimmered in the sunlight. "Wow, I can fly!" she exclaimed, spreading her wings for the first time.



Da quel giorno, Lina volò di fiore in fiore, spargendo gioia e polline, finché un giorno depose un piccolo uovo... e il ciclo ricominciò!

From that day on, Lina fluttered from flower to flower, spreading joy and pollen, until one day, she laid a tiny egg... and the cycle began again!

MORALE

Anche le trasformazioni più incredibili richiedono tempo e pazienza, ma alla fine... che meraviglia!

MORAL

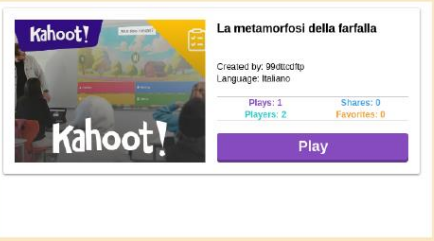
Even the most incredible transformations take time and patience, but in the end... what a wonder!

APPROFONDISCI



VERIFICA



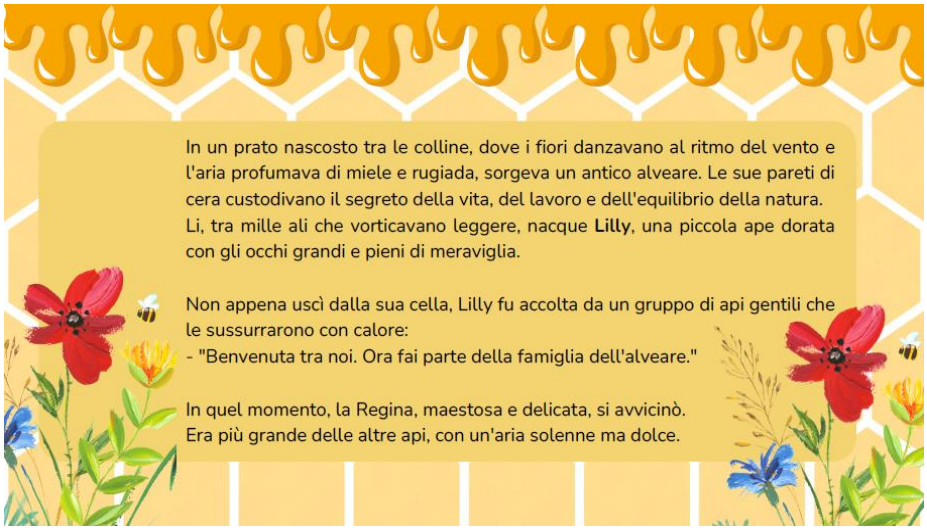


USA QUESTO CODICE:

188054

c) Il meraviglioso mondo delle api. L'avventura di Lilly, l'ape curiosa









Il **favo** era un vero e proprio palazzo d'oro: lì dentro le uova si schiudevano, diventavano larve e infine si trasformavano in api. Tutto iniziava e finiva tra quelle pareti esagonali.

Nei giorni seguenti, Lilly iniziò a capire cosa significava vivere nell'alveare. Non c'era tempo per oziare: ogni ape aveva un ruolo preciso: c'era chi puliva le celle, chi dava da mangiare alle larve, chi faceva la guardiana all'ingresso e chi volava nei campi.

"Tu sei un'**ape operaia**," le disse una sorella più grande. "Noi costruiamo il favo, nutriamo le larve, proteggiamo l'alveare e, quando siamo pronte, usciamo nel mondo per raccogliere il nettare."

Lilly era emozionata: ogni giorno imparava qualcosa di nuovo. Dopo alcune settimane, venne il momento tanto atteso: volare fuori.

Per la prima volta, senti il sole accarezzarle le ali e il profumo dei fiori guidarla come una melodia.
Volò leggera tra margherite, viole, girasoli e lavanda. Quando si posò sul suo primo fiore, una magia accadde.





Mentre raccoglieva il nettare e il polline, Lilly si accorse che parte del polline si attaccava alle sue zampette e si spostava da un fiore all'altro. Così facendo, stava compiendo un atto importantissimo: stava impollinando i fiori, permettendo loro di riprodursi. Era una danza invisibile, ma fondamentale per la vita delle piante... e delle api.

Lilly tornò all'alveare col cuore gonfio di gioia. Non solo aveva fatto il suo dovere, ma aveva capito che ogni piccolo gesto portava equilibrio nel mondo.

Quella notte, mentre le api riposavano, la Regina passò accanto a lei e le disse piano:

- "Ora sai qual è il vero segreto del nostro bosco, Lilly. Il nostro lavoro non è solo per l'alveare, ma per tutta la natura. Senza di noi, i fiori non nascerebbero, i frutti non crescerebbero, e la vita non sarebbe la stessa."



Lilly chiuse gli occhi, stanca ma felice.
Aveva trovato il suo posto nel mondo.
E da quel giorno, ogni volo fu un dono.
Ogni fiore, una promessa.
Ogni goccia di nettare, un piccolo miracolo.

FLASHCARDS

1



APE REGINA

2



FAVO

3



IMPOLLINAZIONE

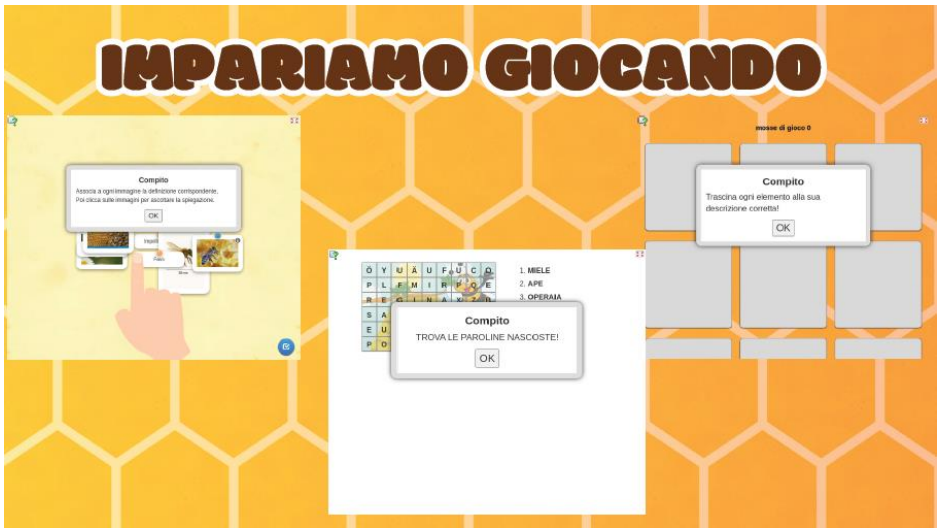
4



APE OPERAIA


Il mondo delle Api - Cartone Animato educativo -
Copy link
un giorno visita circa
225.000 fiori.
Watch on YouTube


Come si chiama l'ape che depone le uova?
Ape operaia
Ape regina
Ape soldato
Ape madre
Loading...
L'ape regina è la piu grande e la sola che depone le uova?
Vero
Falso
Invia
Loading...
Come comunicano tra di loro le api?
Con una danza
Con i versi
Con un loro linguaggio
Con i movimenti degli occhi
Loading...
Le api sono gli unici insetti che producono miele?
Vero
Falso
Invia
Loading...
Solo l'ape regina può volare fuori dall'alveare
Vero
Falso
Invia
Loading...


IMPARIAMO GIOCANDO
Compito
OK
mosse di gioco 0
Compito
Trascina ogni elemento alla sua descrizione corretta!
OK
1. MIELE
2. APE
3. OPERAIA
Compito
TROVA LE PAROLINE NASCOSTE!
OK

APPENDICE B – Strumenti di Rilevazione

B1 – Presence Questionnaire

Il Presence Questionnaire (PQ), sviluppato da Witmer e Singer (1998) misura il senso di presenza negli ambienti virtuali. Nella presente ricerca è stata impiegata la versione 3.0 adattata dal *Cyberpsychology Lab dell'Université du Québec*, composta da 24 item valutati su scala Likert a 7 punti (dove 1= "per niente" e 7 "completamente", utilizzata negli studi di Robillard et al. (2003).

Item	
1	Quanto sei riuscito a controllare gli eventi?
2	Quanto è stato reattivo l'ambiente alle azioni che hai avviato (o eseguito)?
3	Quanto ti sono sembrate naturali le tue interazioni con l'ambiente sperimentato?
4	Quanto ti ha coinvolto l'aspetto visivo dell'ambiente?
5	Quanto era naturale il meccanismo che controllava il movimento attraverso l'ambiente?
6	Quanto è stato convincente il tuo senso degli oggetti che si muovono nello spazio?
7	Quanto le tue esperienze nell'ambiente virtuale sono sembrate coerenti con le tue esperienze nel mondo reale?
8	Sei stato in grado di anticipare cosa sarebbe successo dopo in risposta alle azioni che hai compiuto?
9	In che misura sei stato in grado di esaminare attivamente l'ambiente utilizzando la visione?
10	Quanto è stata convincente la tua sensazione di muoverti all'interno dell'ambiente virtuale?
11	Quanto sei stato in grado di esaminare da vicino gli oggetti?
12	Quanto bene si possono esaminare gli oggetti da più punti di vista?
13	Quanto sei stato coinvolto nell'esperienza dell'ambiente virtuale?
14	Quanto ritardo hai riscontrato tra le tue azioni e i risultati attesi?
15	Quanto velocemente ti sei adattato all'esperienza dell'ambiente virtuale?
16	16. Quanto ti sei sentito abile nel muoverti e interagire con l'ambiente virtuale alla fine dell'esperienza?
17	In che misura la qualità della visualizzazione visiva ha interferito o distratto dall'esecuzione dei compiti assegnati o delle attività richieste?
18	Quanto i dispositivi di controllo hanno interferito con lo svolgimento dei compiti assegnati o con altre attività?
19	Quanto sei riuscito a concentrarti sui compiti assegnati o sulle attività richieste piuttosto che sui meccanismi utilizzati per svolgere tali compiti o attività?
20	Quanto ti hanno coinvolto gli aspetti uditivi dell'ambiente?
21	Quanto sei riuscito a identificare i suoni?
22	Quanto sei riuscito a localizzare i suoni?

23	Quanto sei riuscito a sondare o cercare attivamente nell'ambiente virtuale usando il tocco?
24	Quanto sei bravo a muovere o manipolare oggetti nell'ambiente virtuale?

B2 – Augmented Reality Application Attitude Scale (ARAAS)

L'*Augmented Reality Applications Attitude Scale (ARAAS)* è una scala sviluppata per misurare gli atteggiamenti degli insegnanti nei confronti dell'utilizzo della realtà aumentata in ambito educativo (Hervás-Gómez et al., 2017).

La scala è composta da 23 item, valutati mediante scala Likert a cinque punti (1 = fortemente in disaccordo; 5 = fortemente d'accordo), e si articola in tre dimensioni principali: *Rilevanza*, *Soddisfazione*, *Affidabilità*.

Dimensione	Item	Testo dell'item
Rilevanza (P)	1	Mi annoio mentre utilizzo un'applicazione in AR
	2	È difficile utilizzare le applicazioni AR
	3	Nelle applicazioni AR, gli oggetti 3D danno una sensazione di realtà
	4	Lo studio degli argomenti è più difficile a causa delle applicazioni AR
	5	Vorrei utilizzare le applicazioni AR in altri argomenti e moduli
	6	L'uso delle applicazioni AR in classe è una perdita di tempo
	7	Le applicazioni AR rendono difficile il mio apprendimento perché mi confondono la mente
	8	Non è necessario utilizzare applicazioni in AR in classe
	9	L'AR migliora la mia opinione sul contenuto dell'argomento (visione pratica)
Soddisfazione (S)	10	Mi concentro meglio sull'argomento quando vengono utilizzate le applicazioni AR
	11	Dimostrazione di oggetti 3D, video e animazioni con le applicazioni AR aumentano la mia curiosità
	12	Frequento con entusiasmo una lezione in cui vengono utilizzate le applicazioni in AR
	13	Mi piacciono le lezioni in cui vengono utilizzate le applicazioni AR
	14	Le applicazioni AR non attirano la mia attenzione
	15	Mi piace studiare argomenti con le applicazioni AR
	16	L'uso dell'AR mi motiva a lavorare di più
	17	Mi sento più coinvolto in questo modulo (AR) che se lavorassi in modo più teorico
	18	In generale, penso che l'uso di AR indichi che l'insegnante è interessato a insegnare

Affidabilità (AF)	19	Penso che la generalizzazione di questo tipo di iniziative di AR migliorerebbe significativamente la qualità dell'insegnamento universitario
	20	Lavorare con l'AR mi permette di condividere le mie idee, risposte e punti di vista con il mio insegnante e i miei compagni di classe
	21	Questa attività con AR mi fa sviluppare altre capacità cognitive (analisi, sintesi, pensiero critico)
	22	L'AR ha cambiato il mio atteggiamento da studente, non solo in questo modulo, ma in generale in tutte le materie
	23	L'uso dell'AR mi fa sviluppare altre abilità strumentali (maneggio di strumenti, ricerca di informazioni) nel mio modo di studiare

B3 – Griglia di osservazione sistematica in AR (GOS-AR)

La Griglia di osservazione sistematica in AR (GOS-AR) (La Marca & Leone, 2024) è uno strumento sviluppato per documentare in modo strutturato i comportamenti osservabili degli studenti durante le attività di apprendimento svolte mediante tecnologie di realtà aumentata.

Per ciascuna area sono definiti indicatori specifici e descrittori osservabili, valutati mediante una scala di rilevazione a 5 punti (1 = molto bassa; 5 = molto alta), che permette di stimare l'intensità dei comportamenti manifestati durante l'esperienza di apprendimento in realtà aumentata.

Area di osservazione	Indicatore specifico	Descrittori osservabili	Scala di rilevazione (1–5)
Coinvolgimento e partecipazione	Attenzione e concentrazione	Mantiene lo sguardo sull'attività; segue le istruzioni; evita distrazioni	1 = molto bassa 5 = molto alta
	Interazione attiva	Manipola gli oggetti virtuali, esplora spontaneamente, fa domande o commenti pertinenti	1–5
	Collaborazione con i pari	Condivide l'esperienza con i colleghi, offre aiuto, comunica strategie	1–5
Competenza tecnica	Familiarizzazione con il dispositivo	Tempo e facilità di apprendimento dei comandi principali del visore	1–5
	Gestualità e coordinazione spaziale	Esegue movimenti precisi e coerenti con le richieste del software	1–5
Reazioni emotive e motivazionali	Curiosità e interesse	Mostra entusiasmo e voglia di sperimentare	1–5

	Frustrazione o ansia	Segni di difficoltà, disagio, o disinteresse (espressione facciale, rinuncia)	1–5 (invertita)
Dimensione cognitiva e riflessiva	Comprensione concettuale	Dimostra di comprendere la relazione tra oggetti virtuali e concetti didattici	1–5
	Capacità di autovalutazione	Verbalizza riflessioni sull'esperienza, riconosce errori o difficoltà	1–5

B4 – Questionario sulla conoscenza pregressa della Realtà Aumentata

È stato appositamente elaborato uno strumento volto a rilevare il grado di conoscenza pregressa dell'AR, composto da 10 item, che indagano aspetti di natura cognitiva, esperienziale e motivazionale.

Item	Testo dell'item	Tipologia di risposta
1	Hai mai sentito parlare di Realtà Aumentata (AR)?	Risposta chiusa dicotomica
2	Hai mai utilizzato o sperimentato applicazioni o dispositivi di realtà aumentata in precedenza?	Risposta chiusa dicotomica
3	Se hai risposto sì, in che occasione?	Risposta aperta
4	Ti è mai capitato di utilizzare applicazioni di AR per fini didattici?	Risposta chiusa dicotomica
5	In che misura valuteresti il tuo interesse nei confronti della realtà aumentata per fini didattici?	Scala Likert 1-5
6	Quali applicazioni o dispositivi di Realtà aumentata (AR) conosci?	Risposta aperta
7	Per quale scopo didattico, secondo te, si potrebbe utilizzare la realtà aumentata (AR)?	Risposta multipla
8	Hai mai partecipato ad un workshop o a corsi di formazione sulla realtà aumentata (AR)?	Risposta chiusa dicotomica
9	Quali strumenti o app di realtà aumentata (AR) hai utilizzato o conosci per scopi educativi?	Risposta aperta
10	Hai mai creato o personalizzato contenuti in realtà aumentata (AR)?	Risposta chiusa dicotomica

B4 – Questionario Realtà Aumentata e didattica (Q-RAD)

Il *Questionario Realtà Aumentata e Didattica (Q-RAD)* (La Marca & Leone, 2023), è finalizzato ad indagare le percezioni rispetto ai potenziali benefici avvertiti per l'apprendimento degli studenti e all'approccio pedagogico sottostante l'uso di tecnologie immersive nella prassi didattica.

Il questionario consta di 17 item, strutturati su scala Likert a 5 punti (1= per niente d'accordo, 5=Fortemente d'accordo). Due sono le dimensioni di cui si compone. La prima indaga i vantaggi percepiti per gli studenti (Item

1-10); la seconda rileva l'approccio pedagogico adottato nell'impiego della realtà aumentata (item 11-17);

Item n.	Testo dell'Item	Dimensione
1	Secondo la tua opinione, quanto è efficace l'utilizzo della realtà aumentata nel migliorare l'esperienza di apprendimento, al fine di promuovere il coinvolgimento e l'interattività?	1
2	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa favorire un apprendimento significativo tale da consentire agli studenti di applicare ciò che apprendono in contesti diversi, anche al di fuori dell'ambiente scolastico?	1
3	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire l'apprendimento cooperativo, il lavoro di squadra, la comunicazione e le capacità di risoluzione dei problemi tra gli studenti?	1
4	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa favorire l'apprendimento esplorativo, così da consentire agli studenti di sperimentare idee, prendere decisioni e risolvere problemi in un ambiente sicuro e con l'utilizzo di diverse prospettive?	1
5	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata consenta agli studenti di manipolare oggetti e acquisire esperienza pratica in settori che richiedono abilità pratiche?	1
6	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa aiutare gli studenti a comprendere concetti complessi o astratti attraverso l'utilizzo di rappresentazioni visive interattive?	1
7	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa aumentare la motivazione nello studio, la partecipazione, l'interesse e la creatività degli studenti?	1
8	Sei d'accordo sul fatto che l'utilizzo della realtà aumentata all'interno di una sessione pratica abbia un impatto positivo sull'aumento dell'autoefficacia accademica dello studente?	1
9	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata sia in grado di creare ambienti divertenti per consentire agli studenti di mettere in pratica ciò che stanno imparando?	1
10	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata, grazie alla combinazione dell'esperienza tattile, visiva e spaziale, possa favorire lo sviluppo di abilità spaziali e psicomotorie?	1
11	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire la capacità di risoluzione dei problemi, favorendo il ragionamento critico?	2
12	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire una migliore memorizzazione dei contenuti di apprendimento rispetto alle modalità didattiche tradizionali?	2
13	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa favorire la motivazione intrinseca (cioè, la motivazione derivante dalla propria volontà e interesse personale) e un senso di autodeterminazione (cioè, la capacità di studiare in modo autonomo e autogestito) nello studio?	2
14	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata possa contribuire al miglioramento dei processi di inclusione educativa, consentendo un apprendimento più accessibile ed efficace per tutti gli studenti?	2
15	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata, che coinvolge attività autentiche simili a situazioni reali e richiede l'applicazione di competenze pratiche, possa avviare un apprendimento più significativo per gli studenti?	2
16	Sei d'accordo sul fatto che l'uso della realtà aumentata migliori la comprensione, il richiamo, la concentrazione, l'interazione e renda gli ambienti di apprendimento più attraenti rispetto agli ambienti di apprendimento tradizionali?	2
17	Sei d'accordo sul fatto che la realtà aumentata possa migliorare l'esperienza di apprendimento degli studenti?	2

B5 – Questionario Insegnanti e Realtà Aumentata (Q-IRA)

Il questionario, appositamente strutturato è finalizzato ad esplorare le implicazioni didattiche e progettuali legate al ruolo attivo e consapevole degli insegnanti in relazione all'impiego dell'AR (La Marca & Leone, 2023). È composto da 5 item, sia a risposta aperta che a risposta multipla.

Item	Testo	Opzioni di risposta
1	Secondo la tua opinione, quali sono i fattori che incentivano l'applicazione dell'AR negli ambienti scolastici?	☐ Competenze tecnologiche degli insegnanti ☐ Disponibilità di risorse finanziarie nelle scuole ☐ Infrastrutture tecnologiche adeguate ☐ Esigenze degli studenti ☐ Sviluppo di contenuti didattici in AR ☐ Accettazione da parte degli studenti coinvolti ☐ Fattori tecnici ☐ Altro / Non applicabile
2	Quali aspetti didattico-metodologici ritieni rilevanti nella progettazione di una lezione con realtà aumentata?	☐ Stili di apprendimento degli studenti ☐ Coinvolgimento e motivazione degli studenti ☐ Metodologie didattiche ☐ Valutazione delle prestazioni degli studenti ☐ Adattamento alle esigenze degli studenti ☐ Costruzione di esperienze significative ☐ Collaborazione e interazione tra gli studenti
3	Qual è il ruolo che dovrebbero avere gli insegnanti nel processo di implementazione della realtà aumentata in classe?	Risposta aperta
4	Quali dimensioni delle competenze digitali ritieni che un insegnante debba potenziare per integrare in modo efficace l'AR nella didattica?	Risposta aperta
5	Quali pensi possano essere gli ostacoli e le sfide che impediscono l'integrazione della realtà aumentata nella prassi didattica?	Risposta aperta

B6- Rubrica EVAR (Evaluation of Augmented Reality Application in Education)

Rubrica di valutazione EVAR (Evaluation of Augmented Reality Application in Education) (Henne et. al., 2024).

La versione, tradotta e adattata per il presente studio, consta di 17 item su scala Likert a quattro punti (da 1= Fortemente d'accordo a 4= fortemente

in disaccordo), strutturata in cinque dimensioni: *Implementazione Tecnica, Adattamento della realtà aumentata, Interattività e Coinvolgimento, Visualizzazione e Creatività e Originalità dell'Uso della realtà aumentata*.

Dimensione	Item	
Implementazione Tecnica	1	La realtà aumentata nello scenario di apprendimento funziona in modo fluido e affidabile
	2	Gli insegnanti sono sicuri di riuscire a controllare la realtà aumentata
	3	La gestione della realtà aumentata è intuitiva e semplice per gli studenti
	4	La funzionalità della realtà aumentata è descritta e spiegata in modo sufficientemente chiaro
	5	Il metodo di tracciamento scelto è appropriato allo scenario didattico
Adattamento dell'AR	6	La realtà aumentata supporta almeno un obiettivo di apprendimento specifico
	7	Esiste un collegamento con le sequenze didattiche precedenti e successive
	8	Vengono fatti riferimenti pertinenti a situazioni o applicazioni reali
	9	La realtà aumentata offre chiari vantaggi rispetto alle visualizzazioni convenzionali
	10	La realtà aumentata aiuta gli studenti a comprendere meglio i contenuti
Interattività e coinvolgimento	11	La realtà aumentata incoraggia gli studenti a impegnarsi attivamente nella materia
	12	Oltre alla visualizzazione dell'oggetto, vi sono altre possibilità, ad esempio l'interattività o l'individualizzazione.
	13	Esistono meccanismi di feedback (analogici o digitali) per fornire agli studenti un riscontro sul loro utilizzo della realtà aumentata.
Visualizzazione	14	La complessità dell'AR si adatta all'obiettivo di apprendimento affrontato (in termini di carico cognitivo
	15	Si tiene conto delle leggi di progettazione
Creatività e originalità	16	La progettazione della lezione dimostra un uso originale e creativo della realtà aumentata per supportare il processo di apprendimento.
	17	La realtà aumentata è stata creata dagli insegnanti stessi.

B7- Rubrica C.S.P -RA (Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata)

La rubrica C.S.P.-RA (Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata) (La Marca & Leone, 2024) è stata appositamente sviluppata per la valutazione dei libri illustrati e aumentati realizzati all'interno del percorso formativo.

La rubrica è strutturata in dieci dimensioni, che si riferiscono ad aspetti narrativi, creativi, multimediali, linguistici, didattici e tecnici, ognuna con

descrittori su una scala cha va da “non pertinente” (0 punti), “debole” (1 punto), “buono (2 punti), “eccellente” (3 punti), consentendo una misurazione sistematica della qualità degli artefatti prodotti.

Criterio	Eccellente (3 punti)	Buono (2 punti)	Debole (1 punto)	Non pertinente (0 punti)
Storytelling narrativo	Storia originale, coinvolgente, strutturata in modo chiaro e coerente, perfettamente integrata con contenuti didattici e le attività interattive in AR	Storia ben costruita, ma con integrazione parziale tra la narrazione, gli elementi visivi e i contenuti didattici o in AR	Storia semplice o poco sviluppata, con collegamenti deboli o incoerenti e AR poco presente	Narrazione assente o completamente scollegata dai contenuti. Manca il supporto dell’AR
Creatività grafica e design	Layout accattivante, immagini e icone coerenti e ben posizionate, uso creativo dei colori e ottima qualità visiva	Design chiaro e funzionale, con adeguata varietà e buona leggibilità, sebbene con un impatto estetico contenuto	Grafica basilare o ripetitiva, con elementi talvolta disorganizzati	Aspetto disordinato, poco leggibile o assente di elementi grafici significativi
Attività per l’alunno	Attività coinvolgenti e stimolanti (flashcard, quiz, sfide) ben strutturate e pienamente integrate con l ‘AR	Attività pertinenti e coerenti, ma poco varie o non sempre originali	Attività poco collegate all’AR o ripetitive	Attività assenti o scarsamente strutturate
Coerenza didattica	Obiettivi formativi chiaramente rispettati; contenuti ben organizzati e coerenti con l’argomento	Coerenza generale con gli obiettivi, ma presenza di alcune lacune progettuali	Presenza di contenuti deboli o poco approfonditi	Contenuti non collegati agli obiettivi o didatticamente non pertinenti
Correttezza linguistica	Linguaggio corretto e adeguato al contesto; grammatica e sintassi impeccabili	Linguaggio chiaro con alcune imprecisioni o errori non sostanziali	Presenza di errori grammaticali frequenti, ma comprensibile	Errori gravi che compromettono la comprensione
Integrazione multimediale	Immagini, suoni e video perfettamente	Media e AR ben integrati ma con minime	Alcuni elementi multimediali	Media disorganizzati e

	sincronizzati e coerenti con lo storytelling e le attività. Presenza di diversi contenuti in AR	imprecisioni nella sincronizzazione	sono incoerenti; l'AR non pienamente fruibile	AR non presente
Musica e suoni	Musica e suoni migliorano l'esperienza narrativa, ben selezionati e coerenti	Musica presente e coerente, ma con margini di miglioramento	Musica o suoni presenti ma poco rilevanti	Assenza di musica o audio o uso inappropriato.
Impaginazione e transizioni	Transizioni fluide, senza effetti superflui; l'impaginazione facilita la lettura e la comprensione	Impaginazione ordinata, con qualche effetto non necessario	Layout disomogeneo o poco curato	Effetti e transizioni eccessivi o disarmonici
Qualità complessiva del progetto	Il libro è completo, ben progettato, coinvolgente, tecnicamente solido e didatticamente valido. Ottima l'integrazione dell'AR	Il libro è complessivamente ben realizzato, ma presenta la mancanza di alcuni elementi chiave o si evidenziano aspetti migliorabili	Il libro presenta evidenti lacune strutturali e didattiche	Il libro non è stato progettato in conformità alle linee guida e non risulta adeguato agli obiettivi prefissati

B8- AR-TECH (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School)

Il questionario AR-TECH (*Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School*) (La Marca & Leone, 2024) è stato concepito come uno strumento unitario, coerente e multidimensionale finalizzato a rilevare conoscenze, atteggiamenti, competenze e percezioni dei futuri insegnanti rispetto all'integrazione della realtà aumentata nella pratica didattica.

Il questionario si compone complessivamente di cinque sezioni:

Di seguito è riportata la versione definitiva, risultante dal processo di validazione condotto mediante EFA e CFA. Tale processo ha riguardato le scale tradotte e adattate incluse nella terza e nella quarta sezione del questionario, corrispondenti rispettivamnete all' *Augmented Reality*

*Applications Attitude Scale (ARAAS) (*Hervás-Gómez et al., 2017) e al *Teachers's Augmented Reality Competencies (TARC)* (Nikou et al., 2021):

Gentile Studente,

ti invitiamo a compilare il questionario seguente leggendo con attenzione le informazioni fornite. Tutte le risposte saranno trattate in modo anonimo e riservato.

Ai sensi degli articoli 5, 12, 13 e 14 del Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR), i dati saranno trattati esclusivamente per fini istituzionali e nel rispetto della normativa vigente in materia di protezione dei dati personali.

CONSENSO ALLA PARTECIPAZIONE

1. Dichiarazione di consenso
☐ Dichiaro di voler partecipare al questionario

2. Informativa sui dati
☐ Dichiaro di essere a conoscenza del fatto che i dati raccolti verranno utilizzati solo per fini istituzionali

3. Matricola
Risposta aperta: _____

SEZIONE 1 – DATI DI CONTESTO

4. Corso di Laurea
☐ Scienze della Formazione Primaria
☐ Scienze Pedagogiche
☐ Altro: _____

5. Sede
☐ Palermo
☐ Agrigento

6. Anno di corso
☐ Primo
☐ Secondo
☐ Terzo
☐ Quarto
☐ Quinto

7. Quale scuola secondaria di secondo grado hai frequentato?
☐ Liceo artistico
☐ Liceo classico
☐ Liceo linguistico
☐ Licei musicali e coreutici
☐ Liceo scientifico
☐ Liceo scientifico – Scienze applicate
☐ Liceo scientifico – indirizzo sportivo

☐ Liceo scienze umane
☐ Liceo scienze umane – opzione economico sociale
☐ Istituti tecnici
☐ Istituti professionali
☐ Istruzione e formazione professionale
☐ Altro: _____

8. Età
Risposta numerica: _____

9. Genere
☐ Maschio
☐ Femmina

10. In base ai livelli individuati dal DigCompEdu quale livello di competenza digitale ritieni di possedere?

☐ Nuovo arrivato
☐ Explorer
☐ Integratore
☐ Esperto
☐ Leader
☐ Pioniere
☐ Altro: _____

SEZIONE 2 – CONOSCENZA DELLA REALTÀ AUMENTATA

11. Hai mai sentito parlare di realtà aumentata (Augmented Reality, AR)?
☐ Sì
☐ No

12. Hai mai utilizzato applicazioni o dispositivi di AR in precedenza?
☐ Sì
☐ No

13. Se sì, in quale occasione?
Risposta aperta: _____

14. Quali applicazioni o dispositivi AR conosci?
Risposta aperta

15. Hai mai utilizzato la realtà aumentata per scopi didattici?
☐ Sì
☐ No

16. Quanto sei interessato all'uso dell'AR per fini didattici?

Scala Likert 1–5
1 = Per niente interessato
5 = Molto interessato

17. Per quali scopi didattici la realtà aumentata può essere utilizzata nella pratica educativa?

Indica il tuo grado di accordo (1–5)

Affermazione	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Favorire l'apprendimento esperienziale	☐	☐	☐	☐	☐
Migliorare l'inclusione	☐	☐	☐	☐	☐
Aumentare motivazione e coinvolgimento	☐	☐	☐	☐	☐
Fornire feedback immediato	☐	☐	☐	☐	☐
Facilitare la comprensione di concetti astratti	☐	☐	☐	☐	☐
Sviluppare competenze digitali	☐	☐	☐	☐	☐
Personalizzare i percorsi di apprendimento	☐	☐	☐	☐	☐
Migliorare la memorizzazione	☐	☐	☐	☐	☐
Supportare attività laboratoriali	☐	☐	☐	☐	☐

18. Se lo ritieni opportuno, indica altri scopi didattici rilevanti non presenti tra quelli proposti:
Risposta aperta

19. Ritieni che le attività supportate dalla realtà aumentata si possano collegare agli obiettivi curricolari della scuola primaria?
☐ Sì
☐ No

20. Hai mai partecipato a corsi di formazione sull'AR?
☐ Sì
☐ No

21. Hai mai creato o personalizzato contenuti in AR?
☐ Sì
☐ No

22. Quanto ti senti competente nell'utilizzo dell'AR per progettare attività didattiche rivolte alle varie discipline (italiano, matematica, scienze, geografia, storia, religione, inglese, educazione motoria, musica, ecc...)?

Scala Likert 1–5
1 = Per nulla competente
5 = Molto competente

23. Quali competenze ritieni necessarie per integrare l'AR nella didattica?

Affermazione **1 2 3 4 5**

☐ Conoscenze tecniche AR
☐ Abilità nella progettazione di contenuti AR
☐ Competenza nell'uso di software AR
☐ Abilità nella gestione risorse AR
☐ Capacità di adattare le lezioni per l'uso dell'AR
☐ Avere una conoscenza pedagogica per l'uso dell'AR
☐ Avere a disposizione risorse già strutturate da poter utilizzare

SEZIONE 3 – SCALA ARAAS[18]

Scala Likert 1–5 (fortemente in disaccordo – fortemente d'accordo)

Rilevanza

P1 Mi annoio mentre utilizzo un'applicazione in AR
P3 Nelle applicazioni AR, gli oggetti 3D danno una sensazione di realtà
P4 Lo studio degli argomenti è più difficile a causa delle applicazioni AR
P5 Vorrei utilizzare le applicazioni AR in altri argomenti e moduli
P6 L'uso delle applicazioni AR in classe è una perdita di tempo
P7 Le applicazioni AR rendono difficile il mio apprendimento perché mi confondono la mente
P8 Non è necessario utilizzare applicazioni in AR in classe
P9 L'AR migliora la mia opinione sul contenuto dell'argomento (visione pratica)

Soddisfazione

S1 Mi concentro meglio quando vengono utilizzate le applicazioni AR
S2 Dimostrazioni di oggetti 3D, video e animazioni con le applicazioni AR aumentano la mia curiosità
S3 Frequento con entusiasmo una lezione in cui vengono utilizzate le applicazioni in AR
S4 Mi piacciono le lezioni in cui vengono utilizzate le applicazioni AR
S6 Mi piace studiare argomenti con le applicazioni AR
S7 L'uso dell'AR mi motiva a lavorare di più
S8 Mi sento più coinvolto in questo modulo (AR) che se lavorassi in modo più teorico
S9 In generale, penso che l'uso dell'AR indichi che l'insegnante è interessato ad insegnare

Affidabilità

AF1 Penso che la generalizzazione di questo tipo di iniziative di AR migliorerebbe significativamente la qualità dell'insegnamento universitario
AF2 Lavorare con l'AR mi permette di condividere le mie idee, risposte e punti di vista con il mio insegnante e i miei compagni di classe
AF3 Questa attività con AR mi fa sviluppare altre capacità cognitive (analisi, sintesi, pensiero critico)
AF4 L'AR ha cambiato il mio atteggiamento da studente, non solo in questo modulo, ma in generale in tutte le materie

[18] A seguito delle analisi di validazione, alcuni item sono stati esclusi dalla scala originaria. Nonostante ciò, nella versione finale dello strumento è stata mantenuta la numerazione originaria degli item al fine di preservare la corrispondenza con la struttura iniziale del questionario.

AF5 L'uso dell'AR mi fa sviluppare altre abilità strumentali (maneggio di strumenti, ricerca di informazioni) nel mio modo di studiare

SEZIONE 4 – TARC

Scala Likert 1–5 (fortemente in disaccordo – fortemente d'accordo)

Atteggiamenti

A1 Ho un atteggiamento positivo nei confronti dell'uso dell'AR nell'insegnamento
A2 Credo che sia una buona idea utilizzare l'AR nell'insegnamento
A3 L'uso dell'AR rende l'insegnamento più interessante
A4 Ho un atteggiamento generalmente favorevole nei confronti dell'AR nell'insegnamento

Creazione

C1 Posso progettare esperienze educative in AR utilizzando applicazioni e strumenti AR per soddisfare obiettivi educativi specifici
C2 Sono in grado di sviluppare risorse educative in AR utilizzando modelli di realtà aumentata e librerie di risorse facili da usare

Utilizzo

U1 Posso utilizzare le risorse e gli strumenti educativi in AR impiegando diverse pedagogie e metodi di insegnamento
U2 Posso utilizzare risorse e strumenti didattici in AR per insegnare (ad esempio per presentare, dimostrare, spiegare contenuti didattici) ai miei studenti
U3 Posso utilizzare risorse e strumenti didattici in Realtà Aumentata (AR) (ad es. valutazioni basate su simulazione e/o giochi multimediali e AR) per valutare i progressi degli studenti

Gestione

M1 Posso utilizzare motori di ricerca, archivi digitali e database per trovare risorse e strumenti didattici di AR esistenti utilizzando criteri, filtri di metadati e sistemi di raccomandazione appropriati.
M2 Posso valutare risorse e gli strumenti educativi AR utilizzando criteri appropriati
M3 Sono in grado di organizzare e programmare le risorse e gli strumenti didattici di AR più appropriati per raggiungere obiettivi educativi specifici
M4 Posso garantire e controllare l'uso etico e responsabile delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti alle attività educative (ad esempio, rispettando la personalità, la privacy e i diritti dei partecipanti)
M5 Sono in grado di garantire l'uso sicuro delle risorse e degli strumenti di AR da parte di tutti i partecipanti alle attività educative (ad esempio garantendo le risorse, la sicurezza e la salute dei partecipanti)

SEZIONE 5 – PERCEZIONI E SFIDE

61. Rispetto ai metodi tradizionali, quanto pensi che la realtà aumentata migliori la comprensione dei concetti didattici?

Scala Likert 1–5 (1=fortemente in disaccordo, 5=fortemente d'accrodo)

62. Descrivi un possibile utilizzo efficace dell'AR nella didattica
Risposta aperta

63. Quali ritieni possano essere le principali difficoltà o ostacoli legati all'integrazione della realtà aumentata nella didattica?

(Se vuoi, puoi selezionare tra le opzioni proposte o indicare altre difficoltà nel campo sottostante)

☐ Carenza di dispositivi
☐ Mancanza di formazione
☐ Problemi tecnici
☐ Resistenza al cambiamento
☐ Mancanza di contenuti didattici

64. Quali sono le tue attuali preoccupazioni relative ad un possibile utilizzo in classe della realtà aumentata?
Risposta aperta

65. Saresti interessato a partecipare a comunità di pratica o gruppi di condivisione sull'uso dell'AR nella didattica?
☐ Sì
☐ No

APPENDICE C – Framework Teach in AR

Si presenta la struttura operativa dell'intervento formativo *Teach in AR*, sviluppato nell'ambito della presente ricerca per la formazione dei futuri insegnanti all'integrazione della realtà aumentata nella didattica. Il framework si articola in quattro moduli progressivi che mirano allo sviluppo di competenze tecnologiche, didattiche e progettuali relative all'uso dell'AR nella scuola primaria. La struttura riportata di seguito sintetizza obiettivi, attività formative, strumenti utilizzati e risultati attesi per ciascun modulo.

Laboratorio *Teach in AR*				
MODULO	**FASI**	**ATTIVITA'**	**OBIETTIVI**	**TOOLS**
Primo modulo	Introduzione alla tematica del corso	Questionario iniziale	Misurare il livello di conoscenze pregresse sulla realtà aumentata, il grado di accettazione della tecnologia immersiva e le percezioni dei futuri insegnanti rispetto alle proprie competenze tecnologiche e didattiche in relazione all'uso dell'AR;	Questionario AR-TECH (Augmented Reality – Teachers' Education and Competence in Primary School) (La Marca & Leone, 2024), somministrato mediante l'applicativo Google Moduli
		Introduzione teorica sul tema della realtà aumentata	Definire i fondamenti della realtà aumentata, le componenti tecniche, le caratteristiche, i contesti educativi di applicazione, l'impatto sull'apprendimento, le differenze con altre forme di apprendimento immersivo, i vantaggi educativi e le caratteristiche dell'apprendimento aumentato;	
	La realtà aumentata nella prassi didattica	Presentazione interattiva della realtà aumentata mediante analisi di *case studies* e la visione di video esplicativi	Mostrare esempi concreti circa l'uso didattico della realtà aumentata, al fine di comprenderne l'utilità e l'efficacia didattica;	YouTube, siti referenziati e articoli scientifici
		Dimostrazione pratica dell'uso dell'AR mediante visore (da remoto)	Sperimentare l'uso pratico della realtà aumentata attraverso l'impiego di visori e software per la partecipazione	Visori Magic Leap Hub 3 e app per connessione remota

			condivisa e l'interattività	
Secondo Modulo	Approcci pedagogici e metodologici efficaci per l'integrazione dell'AR nella prassi didattica	Introduzione ai principali approcci presenti in letteratura	Analizzare gli approcci metodologici presenti in letteratura sull'uso della realtà aumentata nella didattica, identificando i modelli pedagogici più efficaci per la scuola primaria	Web, letteratura scientifica di riferimento
	Strumenti per implementare l'AR in classe	Presentazione e utilizzo guidato di applicazioni AR educative e software per la creazione di contenuti	Sviluppare competenze di alfabetizzazione digitale legate all'implementazione dell'AR	App di realtà aumentata: *Arloopa, Quiver, Solidos AR, Ars Book*
		Simulazione di una lezione in AR	Progettare e simulare una lezione utilizzando la realtà aumentata, sotto la supervisione dell'esperto	Software per la creazione di oggetti in AR: *TinkerCad, Merge Edu, Paint 3D*
		Raccolta e creazione di un repository di risorse in realtà aumentata	Creare uno spazio condiviso per la raccolta di materiali didattici e risorse per AR, applicabili e trasferibili nei diversi ambiti disciplinari	Google Drive
Terzo Modulo	Creazione di materiale didattico in AR e progettazione di lezioni	Laboratorio creativo: divisione della classe in gruppi e progettazione di materiali didattici aumentati, l'uso di app in AR, con la realizzazione finale di un libro illustrato e aumentato	Sperimentare l'uso di applicazioni e strumenti di realtà aumentata al fine di creare materiali didattici innovativi, per tradurre le conoscenze acquisite nei moduli precedenti in risorse pratiche per l'insegnamento	*Microsoft Teams*; Applicazioni in AR; strumenti digitali di storytelling
		Progettazione di attività didattiche in AR, basate sui contenuti disciplinari del curriculum della scuola primaria	Sviluppare e progettare attività didattiche integrate con l'AR, mirate all'insegnamento di una disciplina specifica del curriculum della scuola primaria, in coerenza con le metodologie attive e le finalità didattiche del percorso formativo	*Canva*

Quarto Modulo	*Peer assessment* delle lezioni progettate in AR	Valutazione tra pari delle attività didattiche progettate	Valutare tra pari la progettazione di esperienze didattiche in AR mediante l'utilizzo di una scala validata e una rubrica di osservazione	Rubrica di Valutazione EVAR (*Evaluating Augmented Reality in Education)* (Henne et al., 2024); Rubrica C.S.P.-RA (*Creatività, Storytelling, Progettazione – Realtà Aumentata*) (La Marca & Leone)
		Raccolta di feedback sugli scenari didattici in AR creati dagli studenti;	Riflettere sull'esperienza di progettazione di scenari didattici in AR, mediante la raccolta e l'analisi di feedback, al fine di migliorare l'efficacia percepita	*Focus Group*
		Questionario post-test per confrontare i dati iniziali e finali sulle percezioni e sulle competenze acquisite	Valutare il cambiamento delle percezioni e delle competenze tecno-pedagogiche acquisite dai futuri insegnanti	Questionario AR-TECH (La Marca & Leone) somministrato mediante Google Moduli

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine alla Prof.ssa Alessandra La Marca, mia tutor, per avermi accompagnata con competenza, attenzione e disponibilità lungo questi tre anni di ricerca. La sua guida scientifica, unita alla costante fiducia e agli stimoli intellettuali che mi ha offerto, ha rappresentato un punto di riferimento fondamentale per la crescita di questo lavoro e per il mio percorso di formazione accademica.

Un sentito ringraziamento va al mio co-tutor, il Prof. Guido Benvenuto, per i preziosi consigli, per gli stimoli critici e per i numerosi spunti di approfondimento che hanno arricchito e orientato il mio lavoro di ricerca.

Desidero, inoltre, esprimere la mia gratitudine al Prof. Benedetto Di Paola, grazie al quale ho avuto l'opportunità di realizzare una parte significativa della sperimentazione di questo lavoro, dedicata all'utilizzo della realtà aumentata per l'insegnamento della geometria. Lo ringrazio per la disponibilità, per la fiducia accordatami e per la preziosa occasione di confronto scientifico. Il lavoro svolto insieme ha rappresentato per me un'importante opportunità di apprendimento e di crescita nel campo della didattica della matematica.

Ringrazio il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e, in particolare, il mio tutor, il Dott. Manuel Gentile, per la disponibilità e il supporto scientifico offerto durante il periodo di ricerca. L'esperienza svolta presso il CNR ha rappresentato un'importante occasione di confronto con il mondo della ricerca sulle tecnologie educative, contribuendo ad arricchire il mio percorso formativo e scientifico.

Un ringraziamento speciale va al Prof. Fabio Pasqualetti, che mi ha accolta presso la Università Pontificia Salesiana. La sua disponibilità, il confronto scientifico e l'ambiente di ricerca stimolante, che ho avuto modo di vivere hanno rappresentato un'importante occasione di crescita accademica e personale.

Ringrazio la mia amica e collega, la Prof.ssa Ylenia Falzone, cara compagna di viaggio in questo percorso. La sua presenza, il confronto continuo e il sostegno reciproco nei momenti più impegnativi hanno reso questo cammino più leggero e significativo. Condividere dubbi, idee e soddisfazioni ha rappresentato un valore aggiunto in questi anni di lavoro.

Un sentito ringraziamento va al Dipartimento SPPEFF dell'Università degli Studi di Palermo e, in particolare, ai componenti del Laboratorio di Tecnologie Didattiche, che mi hanno offerto un contesto accademico stimolante e ricco di opportunità di confronto e crescita scientifica durante il mio percorso di dottorato.

Infine, desidero ringraziare la mia famiglia per il sostegno costante e i miei amici che mi hanno supportata e incoraggiata lungo questo percorso. Un pensiero particolare va ad Adriano, per i suoi preziosi consigli e per la vicinanza dimostrata nei momenti più impegnativi. Un ringraziamento speciale va a mio marito Marco, che mi ha accompagnata con pazienza, comprensione e incoraggiamento durante questi anni, condividendo con me un percorso impegnativo, ma profondamente significativo.

Un ringraziamento va anche ai colleghi e alle colleghe di dottorato, con i quali ho condiviso questo percorso di ricerca, fatto di confronto, collaborazione e

reciproco sostegno. In particolare, desidero ringraziare Maria Sgambato: dal nostro percorso accademico è nata una sincera amicizia che va oltre la ricerca e che rappresenta per me un valore prezioso.

Infine, desidero rivolgere un pensiero speciale ad una persona cara che ha condiviso con affetto e partecipazione il mio percorso e che mi ha sostenuta nel mio lavoro, ma che purtroppo non ha potuto vedere il compimento di questo traguardo. A lui devo molto, poiché mi ha trasmesso il valore dello studio, dell'impegno e del sacrificio, ponendo le basi per il mio percorso umano e professionale che mi ha portata fino a qui.

Questo traguardo rappresenta il risultato di un cammino non sempre semplice, affrontato con impegno e determinazione, nella consapevolezza che, come ricorda il motto latino *per aspera ad astra*, è proprio attraverso le difficoltà che si raggiungono i risultati più significativi.