

## Augmented reality to promote inclusive learning

### Realtà aumentata per favorire un apprendimento inclusivo

---

Valeria Di Martino<sup>a</sup>, Leonarda Longo<sup>b,1</sup>

<sup>a</sup> *Università degli Studi di Catania*, [valeria.dimartino@unict.it](mailto:valeria.dimartino@unict.it)

<sup>b</sup> *Università degli Studi di Palermo*, [leonarda.longo@unipa.it](mailto:leonarda.longo@unipa.it)

#### Abstract

---

In the present work, after having illustrated the Augmented Reality and its main characteristics from a theoretical point of view, the potential of the latter is analyzed. The purpose of the present study is in fact to know the impacts of augmented reality on learning, on motivation and, more specifically, to study its possible effects in the scholastic context according to an inclusive logic.

Keywords: augmented reality; motivation; learning; inclusion.

#### Abstract

---

Nel presente lavoro, dopo aver illustrato da un punto di vista teorico la Realtà Aumentata e le sue principali caratteristiche, si analizzano le potenzialità di quest'ultima. Scopo del presente studio è infatti quello di conoscere gli impatti della realtà aumentata sull'apprendimento, sulla motivazione e, più specificamente studiarne i possibili effetti in ambito scolastico secondo una logica inclusiva.

Parole chiave: realtà aumentata; motivazione; apprendimento; inclusione.

---

<sup>1</sup>Questo articolo è il risultato del lavoro congiunto dei due autori. In particolare Longo ha scritto i paragrafi 1, 2, 6; Di Martino i paragrafi 3, 4, 5, 7.

## 1. Introduzione

Negli ultimi decenni, il rapido sviluppo della tecnologia ha radicalmente cambiato le esperienze di insegnamento e apprendimento. In ambito educativo è ormai comunemente integrato l'uso di computer, LIM e più recentemente dispositivi mobili tra cui smartphone e tablet. Tale trasformazione offre certamente delle opportunità entusiasmanti per progettare un ambiente di apprendimento realistico, autentico, coinvolgente e, in alcuni casi, anche divertente, aumentando il coinvolgimento e la comprensione dei contenuti di apprendimento oltre che gli esiti scolastici ed accademici.

In questo panorama, la Realtà Aumentata (Augmented Reality, AR) è una tecnologia emergente, sempre più al centro di studi in diversi ambiti di ricerca, sia a livello internazionale (Carrera & Asensio, 2017; Cheng & Tsai, 2013; Kim, Matuszka, Kim & Woo, 2017; Lee, Dünser, Kim & Billingham, 2012) che nazionale (De Paolis, 2012; Di Paola & Inzerillo, 2011; Fedeli, 2016; Fiasconaro & Guiducci, 2011; Izzo, Mustilli & Guida, 2015; Parola, 2017; Rivoltella, 2010; Rossi, 2016). Come è noto, “sono in atto esperienze in ambito educativo che in qualche modo pongono l'attenzione sulle possibili applicazioni della Realtà aumentata nei processi di insegnamento-apprendimento” (Arduini, 2012, p. 214). Poiché la AR fonde qualsiasi informazione digitale all'interno del mondo reale, ovvero dati o informazioni elettroniche, in vari formati (visivi, grafici, testuali, audio, video e sovrapposizioni tattili) ha un grande potenziale di applicazione nella ricerca in ambito educativo. Le ricerche mettono in luce come essa possa di fatto essere utilizzata in una vasta gamma di contesti educativi, dalla scuola dell'infanzia alla formazione post laurea, e abbia il potenziale per 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. Inoltre, l'AR ha enormi potenzialità di inclusione dal momento che riesce a coinvolgere simultaneamente più sensi all'interno dell'esperienza di apprendimento (vista, udito, tatto), rispondendo più facilmente non solo ai sempre più eterogenei stili di apprendimento, ma anche ai bisogni educativi degli studenti con disabilità (Shneiderman, 2000).

Il presente lavoro tenta di inserirsi in questo contesto per fornire alcuni spunti di riflessione, attraverso l'analisi della letteratura, sulla possibilità di ricavare benefici, implicazioni didattiche e piste di ricerca per un utilizzo di AR in un'ottica inclusiva che coinvolga tutti gli studenti, anche quelli con difficoltà e/o disabilità.

A tal fine, verranno inizialmente presentate alcune definizioni e caratteristiche della AR; si procederà con la descrizione del loro impatto sull'apprendimento in termini di esiti, contenuti disciplinari, aspetti cognitivi e sociali. Si illustrerà inoltre il ruolo dell'insegnante nell'implementare esperienze di apprendimento supportate da AR e l'influenza di quest'ultima anche sulla motivazione degli studenti. Infine si analizzeranno le possibili modalità di utilizzo dell'AR per favorire l'inclusione nell'ambito dell'Universal Design for Learning.

## 2. Definizione e caratteristiche della Realtà Aumentata

### 2.1. Definizione

La AR è una particolare estensione della realtà virtuale che consiste nel sovrapporre alla realtà percepita dall'utente una realtà virtuale generata dal computer in tempo reale. “In pratica la percezione del mondo dell'utente viene aumentata, arricchita da oggetti virtuali

ricostruiti che forniscono informazioni all'ambiente reale, [...] con l'AR si aumenta la percezione dell'utente con l'ambiente fornendo informazioni visive che l'utente non potrebbe direttamente rilevare con i propri sensi" (Di Martino, 2011, pp. 20-21).

La AR è definita come un insieme di tecnologie che migliorano la percezione della realtà sovrapponendo ad essa oggetti o informazioni virtuali sensibili al contesto (Klopfer & Sheldon, 2010). Essa pertanto si colloca lungo il continuum tra il completamente reale e il completamente virtuale (Milgram & Kishino, 1994).

Per Azuma (1997), la AR, piuttosto che sostituire la realtà, come nel caso della realtà virtuale, si limita semplicemente ad integrarla. Egli ha inoltre individuato tre caratteristiche principali: la combinazione di contenuti virtuali con contenuti reali all'interno di un contesto reale, l'allineamento dei contenuti virtuali con quelli reali tramite la tridimensionalità e l'interazione in tempo reale con gli elementi virtuali, che dovranno dunque comportarsi come elementi reali nell'ambiente reale.

A differenza della Realtà Virtuale, che pone completamente l'utente in un mondo fittizio, la AR sovrappone oggetti virtuali alla realtà in tempo reale (Cai, Wang & Chiang, 2014; Tekedere & Göke, 2016). Uno dei più promettenti aspetti della AR è che essa può sovrapporre dati digitali sul mondo reale contestualmente alla capacità di rispondere all'input dell'utente (Akçayir & Akçayir, 2017).

## **2.2. Caratteristiche e componenti hardware, software e di contenuto**

Le varie tecnologie che consentono la AR possono essere classificate in vario modo. Saltan e Arslan (2017) operano ad esempio una classificazione sulla base dell'utilizzo o meno di marker. Nelle applicazioni AR basate su marker, sono presenti alcuni indicatori percepiti da un computer attraverso una telecamera in modo tale che le informazioni virtuali siano presentate agli utenti (Carbonell Carrera & Bermejo Asensio, 2017). Nelle applicazioni senza marker, la posizione reale dell'utente viene raccolta tramite la tecnologia GPS e i dati virtuali contestualmente rilevanti vengono forniti all'utente in posizioni geograficamente significative (Bower, Howe, McCredie, Robinson & Grover, 2014). In entrambi i casi, gli oggetti virtuali sono associati a oggetti del mondo reale e una percezione 3D viene presentata all'utente (Ke & Hsu, 2015). Gli oggetti AR possono essere visualizzati su dispositivi mobili, sistemi di proiezione o schermi montati sulla testa (ad esempio, Google Cardboard) (Ozdemir, Sahin, Arcagok & Demir, 2018).

Santos et al. (2014) individuano tre fattori fondamentali che influenzano la progettazione di situazioni di apprendimento legate alla AR e che sono tra essi correlati:

- hardware – l'hardware determina la potenza di calcolo e l'interfaccia, sia di input che di output. I dispositivi maggiormente utilizzati sono personal computer e display portatili (smartphone e tablet). Nel caso in cui si utilizzano i computer, si hanno tre opzioni per il display: un monitor, un proiettore o piccoli visori, a volte addirittura si tratta di particolari occhiali. La sola scelta del dispositivo influisce su quale software e contenuto sarebbe appropriato. L'AR basato su proiettori consente un maggiore movimento dell'utente in uno spazio ristretto, ad esempio una stanza, rispetto all'utilizzo di sistemi desktop con monitor, anche se la definizione dell'immagine non è ottimale come in quest'ultimo caso. Tuttavia, non offre tanto movimento come nell'AR palmare. Oggi si assiste alla diffusione di display portatili come tablet e smartphone, basati su schermi di piccole dimensioni che si adattano alla mano dell'utente. Man mano che la tecnologia evolve da desktop a piattaforme mobili, gli studi sulla AR si spostano sempre più verso tali dispositivi.

La scelta del display appropriato è una decisione importante che influisce sulla progettazione didattica;

- software – la progettazione del software riguarda l’ottimizzazione della potenza di calcolo dell’hardware, nonché la gestione della visualizzazione del contenuto e la gestione degli input dell’utente. Gli aspetti unici del tracciamento in tempo reale e del rendering 3D sono per lo più ottenuti utilizzando librerie AR open-source o commerciali;
- contenuti – le questioni relative ai contenuti sono strettamente legate a strumenti di authoring e di gestione dei contenuti. Gli strumenti di authoring sono interfacce che consentono ad un insegnante di creare un’esperienza di apprendimento anche nel caso in cui non abbia familiarità con il linguaggio di programmazione. Si tratta quindi di strumenti che consentono di selezionare e caricare informazioni virtuali su un ambiente reale. Rispetto alla creazione di contenuti AR, la principale preoccupazione per gli insegnanti è quella di poter disporre di strumenti di authoring che consentano loro di creare contenuti senza dover essere esperti di programmazione.

### 3. L’impatto della Realtà Aumentata sull’apprendimento

La tecnologia AR ha la capacità di rendere in modello 3D tutto ciò che può essere difficilmente visualizzato in una classe, al computer e nella mente degli studenti. Il contenuto, astratto e difficile, in questo modo diventa visibile e interattivo e quindi favorisce una migliore comprensione degli argomenti della lezione (Sural, 2018).

La AR offre inoltre un modo diverso di interagire con le informazioni. Questa interazione può essere utilizzata per progettare esperienze di apprendimento migliori. Santos et al. (2014) utilizzano il termine esperienze di apprendimento in AR per riferirsi a esperienze di apprendimento facilitate dalla tecnologia AR. Nella stessa ricerca, inoltre, gli autori hanno individuato i principali vantaggi derivanti dalla natura stessa dell’AR:

- *annotazione del mondo reale* – per visualizzare testo e altri simboli su oggetti del mondo reale; ad esempio, Jerry e Aaron (2010) hanno elaborato un’esperienza di apprendimento in cui su una palla reale in movimento vengono annotati i valori di velocità e il grafico corrispondente;
- *visualizzazione contestuale* – consente cioè di visualizzare il contenuto virtuale in un contesto specifico reale che aiuta gli studenti a costruire una rete di conoscenze più elaborata;
- *visualizzazione aptica* – consente cioè di presentare le informazioni visive in due modalità: senso della vista e senso del tatto.

Santos et al. (2014) individuano anche alcune strategie di cui tener conto nella progettazione di esperienze di apprendimento basate sulla AR:

- favorire l’esplorazione di contenuti, Li, Gu, Chang e Duh (2011), ad esempio, consentono agli studenti di provare diversi tipi di scenari di collisione di due palline e vedere se la collisione avverrà nel modo in cui avevano ipotizzato;
- promuovere la collaborazione tra studenti al fine di scambiare idee;
- garantire la progettazione di contenuti AR che consenta agli studenti di concentrarsi maggiormente.

Di seguito saranno approfonditi alcuni aspetti relativi all'utilizzo della AR nelle differenti discipline e nei diversi livelli di istruzione, con un'attenzione particolare alla loro influenza su aspetti cognitivi e sociali, alla relazione con gli esiti di apprendimento e al ruolo dell'insegnante nel proporre esperienze didattiche basate su essa.

### **3.1. Le differenti discipline**

La AR ha un ruolo rilevante nel favorire la conoscenza e la comprensione degli studenti nelle diverse discipline (Yuliono, 2018). Billinghamurst e Duenser (2012) riconducono ciò alla possibilità della AR di: illustrare concetti spaziali e temporali, enfatizzare le relazioni contestuali tra oggetti reali e virtuali, fornire un'interazione intuitiva, visualizzare e interagire in 3D.

In letteratura, ci sono molti studi che sottolineano come la AR viene utilizzata nel campo delle scienze mediche (Ferrer-Torregrosa et al., 2016; Moro, Štromberga, Raikos & Stirling, 2017), geografia (Carrera & Asensio, 2017), architettura (Lee et al., 2012), chimica (Cai et al., 2014), matematica e della geometria (Kaufmann & Schmalstieg, 2003; Sommerauer & Müller, 2014), scienze naturali (Chiang, Yang & Hwang, 2014), fisica (Ibáñez, Di Serio, Villaran, & Kloos, 2014; Lin, Duh, Li, Wang & Tsai, 2013), patrimonio culturale (Kim et al., 2017) apprendimento linguistico (Santos et al., 2016).

Le esperienze di apprendimento nella AR sono particolarmente utili ed efficaci per mostrare agli studenti gli eventi astronomici e gli esperimenti pericolosi, che non sono possibili nel mondo reale, rendendo concreti i contenuti astratti, consentendo loro di fare anche su ciò esperienze basate sulla pratica (Shelton & Hedley, 2004).

Le aree disciplinari in cui le tecnologie AR sono più utili ai fini didattici differiscono. Le tecnologie AR sono maggiormente utilizzate nei settori scientifici come la fisica, la chimica, la biologia, la matematica e l'ecologia (Ozdemir, 2017). In questi rami della scienza, l'insegnamento è più semplice quando i concetti astratti e difficili da comprendere vengono presentati in modo concreto con l'aiuto delle tecnologie AR (Ozdemir, 2017). L'AR offre anche molte attività che consentono agli studenti di visualizzare alcuni contenuti educativi (ad esempio il campo magnetico) che non vedranno nel mondo reale (Ibanez, Serio, Villaran & Kloos, 2014). Al contrario, l'utilizzo di applicazioni AR come strumento didattico è molto meno utilizzato nelle scienze sociali, economia e diritto (Ozdemir, 2017). In una meta-analisi basata su 16 ricerche condotta da Ozdemir et al. (2018), è stato trovato che la dimensione dell'effetto di AR per le scienze naturali è superiore a quella per le scienze sociali. Tuttavia, è stato determinato che le dimensioni dell'effetto per entrambe le aree educative erano a un livello medio ed erano quindi positive.

### **3.2. Gli aspetti cognitivi**

Le esperienze di apprendimento nella AR aiutano a sviluppare le abilità spaziali (Kaufmann & Schmalstieg, 2003) e psicomotorie, grazie alla combinazione dell'esperienza tattile e visiva (Feng, Duh & Billinghamurst, 2008). Ibanez et al. (2014) riferiscono i benefici dell'AR nell'aumentare la concentrazione e facilitare una migliore comprensione del soggetto. In un'altra ricerca, Lin, Duh, Li, Wang e Tsai (2013) enfatizzano il ruolo di supporto nella costruzione della conoscenza degli studenti legato alla possibilità di chiarire le relazioni tra concetti e principi teorici. In questo contesto, i materiali di apprendimento preparati utilizzando la AR offrono un mezzo di apprendimento vicino al mondo reale (Cai et al., 2014) e consentono agli studenti di svolgere un ruolo attivo nel processo di apprendimento.

Inoltre la AR migliora la memorizzazione dei contenuti di apprendimento rispetto a modalità didattiche tradizionali (Pérez-López & Contero, 2013).

Garret et al. (2015) hanno scoperto che la AR supporta l'apprendimento autodiretto fornendo agli studenti la possibilità di accedere alle risorse in modo indipendente. Dunleavy, Dede e Mitchell (2009) hanno però sottolineato che i processi di apprendimento con AR possono causare un sovraccarico cognitivo a causa della complessità della tecnologia e delle attività portate avanti.

### **3.3. Gli aspetti sociali: interazione e collaborazione**

La ricerca attuale sull'uso delle applicazioni AR in situazioni formali di apprendimento evidenzia l'impatto positivo sugli esiti di apprendimento e sugli atteggiamenti degli studenti (Lu & Liu, 2015).

La AR può anche fornire ambienti di apprendimento interattivi (Chen & Wang, 2015). I sistemi AR, possono essere utilizzati per aumentare le esperienze di apprendimento collaborativo (Billinghurst, Kato & Poupyrev, 2001), consentendo modalità di insegnamento innovative e interattive in cui le informazioni in formato 3D facilitano l'acquisizione delle conoscenze e la discussione degli studenti (Wu, Lee, Chang & Liang, 2013).

### **3.4. Gli esiti di apprendimento**

Numerose ricerche (Chen & Tsai, 2012; Gavish et al., 2015; Huang, Chen & Chu, 2016; Ibanez et al., 2014; Kamaraine et al., 2013; Ke & Hsu, 2015; Lin et al., 2013; Liou, Bhagat & Chang, 2016; Sommerauer & Müller, 2014) hanno indicato che la AR può avere un impatto positivo sull'apprendimento. In particolare, Yilmaz e Batdı (2016) attraverso una meta-analisi hanno esaminato la dimensione degli effetti di AR sul successo scolastico in 12 ricerche internazionali. Nella metanalisi condotta da Santos et al. (2014) la dimensione media dell'effetto di 0,56.

Diverse sono le ragioni per cui le esperienze di apprendimento supportate da AR influenzano positivamente i risultati accademici degli studenti. Ad esempio, Chiang et al. (2014) hanno affermato che la AR consente agli studenti di praticare ciò che stanno imparando in un ambiente divertente. In un altro studio, Hsiao, Chiang e Tang (2016) hanno sottolineato che la AR fornisce una migliore comprensione, richiamo, concentrazione, interazione e ambienti di apprendimento più attraenti rispetto agli ambienti di apprendimento tradizionali.

Anche i dispositivi di visualizzazione sono stati individuati come un'importante variabile in grado di influenzare il rendimento scolastico degli studenti nel processo di apprendimento. Secondo i risultati della ricerca condotta da Buchner e Zumbach (2018) la dimensione dell'effetto più grande è stata osservata con i dispositivi mobili, un effetto minore sulle applicazioni desktop che mostrano dispositivi basati su webcam.

### **3.5. Il ruolo dell'insegnante**

Tra i tanti benefici legati all'introduzione della AR nella didattica, Liou et al. (2016) hanno evidenziato la possibilità per gli insegnanti di poter trasmettere più facilmente e rapidamente i concetti ai loro studenti che abbiano interagito con i materiali di apprendimento supportati da AR prima delle loro lezioni.

Kamarainen et al. (2013) hanno indagato le opinioni degli insegnanti su AR. Esse sono sostanzialmente positive in quanto mettono in evidenza la centralità degli studenti. Salmi, Kaasinen e Kallunki (2012) hanno anche riferito che gli insegnanti considerano la AR come uno strumento innovativo per spostare maggiormente le pratiche di insegnamento e apprendimento verso lo studente.

L'AR ha anche facilitato gli insegnanti nella realizzazione di esperienze di apprendimento maggiormente correlate ai contesti reali (Salmi et al., 2012). Martín-Gutiérrez, Fabiani, Benesova, Meneses e Mora (2015) hanno dimostrato che la AR potrebbe consentire agli insegnanti di fornire maggiore assistenza durante la didattica laboratoriale.

### **3.6. Il livello di istruzione**

Inoltre, gli studi analizzati hanno evidenziato che le applicazioni AR sono un fattore importante per aumentare il rendimento degli studenti a tutti i livelli di istruzione (Bacca, Baldiris, Fabregat & Graf, 2014; Ozdemir, 2017). Studi sperimentali sull'uso didattico dell'AR sono stati condotti a vari livelli educativi, dall'istruzione secondaria e universitaria alla scuola primaria (Ozdemir, 2017).

Le ricerche nell'ambito della AR nel 71,43% dei casi riguardano studenti universitari, ciò probabilmente è legato al fatto che questi ultimi possono più facilmente utilizzare le tecnologie personali ai fini dell'apprendimento (Yuliono, 2018). Il dato, comunque, risulta in contrasto con quanto riportato da Akcayir e Akcayir (2017), secondo cui sono principalmente gli studenti delle scuole primarie e secondarie ad essere coinvolti maggiormente nelle esperienze di apprendimento con AR.

## **4. L'Impatto della Realtà Aumentata sulla motivazione**

Diverse ricerche hanno indagato l'influenza delle esperienze di apprendimento nella AR sulla motivazione degli studenti (Buchner & Zumbach, 2018; Radu, 2014). Secondo la teoria dell'autodeterminazione (Ryan & Deci, 2000), l'autonomia, la competenza e la relazione sono i bisogni fondamentali degli esseri umani. Se questi tre bisogni sono soddisfatti, la motivazione ad agire è più intrinseca che estrinseca. Questo vale anche per l'apprendimento. Gli educatori possono progettare ambienti di apprendimento che tengano conto di queste esigenze. Opportunità di scelta e feedback diretto sono solo due modi in cui i docenti possono sostenere la sensazione di autonomia e competenza. Altri indicatori di motivazione intrinseca sono l'interesse e il divertimento. Le caratteristiche delle esperienze di apprendimento con AR sembrano andare incontro a tutte queste condizioni. Oltre all'apprendimento autodiretto, Dunleavy e Dede (2014) sottolineano l'importanza delle esperienze sociali durante l'apprendimento con AR. La teoria dell'autodeterminazione definisce questa *correlazione dell'esperienza sociale* che può essere realizzata in ogni classe quando gli studenti possono lavorare insieme in gruppo.

In una ricerca condotta da Buchner e Zumbach (2018) è stato testato l'impatto di un ambiente di apprendimento della AR mobile sulla motivazione, sugli esiti di apprendimento e sul carico cognitivo. Gli studenti hanno partecipato ad una lezione di storia di due ore mentre utilizzavano i loro smartphone per trasformare le immagini statiche in animazioni con AR. Sono stati valutati l'interesse, la competenza percepita e la percezione di possibilità di scelta come indicatori per la motivazione intrinseca. I risultati del gruppo di apprendimento AR sono stati confrontati con un ambiente di apprendimento incentrato sulla didattica tradizionale dello stesso argomento in modalità non-AR. I risultati

rivelano che l'apprendimento della AR può promuovere la motivazione intrinseca e ha un impatto sull'apprendimento della storia. Il carico cognitivo non è stato rilevato come problema all'interno del gruppo AR.

Nella ricerca di Di Serio, Ibáñez e Kloos (2013) è stato analizzato l'effetto sulla motivazione di due corsi d'arte sul Rinascimento italiano realizzati con e senza la AR. Anche in questo caso, dall'analisi dei dati si evince che il gruppo con AR ha mostrato una motivazione moderatamente superiore rispetto al gruppo di apprendimento non-AR. Inoltre è stato riscontrato un maggiore interesse e attenzione per i contenuti di apprendimento. Un aumento di interesse è stato trovato anche da Sotiriou e Bogner (2008).

La ricerca condotta da Akcayir e Akcayir (2017) evidenzia come la AR contribuisce ad aumentare la piacevolezza dell'esperienza di apprendimento e ad innalzare il livello di coinvolgimento degli studenti.

## **5. L'impatto della Realtà Aumentata ai fini dell'inclusione**

Negli ultimi anni, è gradualmente emersa una tendenza di ricerca per le applicazioni AR rivolta a studenti con diversi livelli di abilità e/o disabilità (Shneiderman, 2000). In questi casi l'integrazione della AR nella didattica può fornire una speciale impalcatura per alcuni aspetti chiave dei processi di apprendimento, ovvero la connessione al contesto del mondo reale (Roschelle, Pea, Hoadley, Gordin & Means, 2000), la manipolazione delle componenti della conoscenza (Glenberg, Gutierrez, Levin, Japuntich & Kaschak 2004) e l'esplorazione in 3D (Cohen, 2013).

La ricerca condotta da McMahon, Cihak e Wright (2015) mira ad esaminare l'uso della AR nell'insegnamento del lessico scientifico a quattro studenti universitari con disabilità intellettiva e disturbi dello spettro autistico. L'analisi dei dati indica che al termine del percorso di apprendimento tutti gli studenti hanno memorizzato il termine scientifico e la relativa definizione.

L'utilizzo di AR a fini didattici ha il potenziale per diventare un potente mezzo per Universal Design for Learning (UDL) fornendo nuovi strumenti per molteplici modi di rappresentazione, azione, espressione e coinvolgimento. Come già evidenziato, uno dei vantaggi dell'utilizzo di applicazioni AR è la possibilità di visualizzare informazioni digitali pertinenti al contesto per supportare le esigenze degli studenti in tempo reale e in contesti specifici. Sebbene molte applicazioni AR educative siano ancora solo in fase di sviluppo, è probabile che la rapida crescita di AR continui.

La combinazione di AR con i principi dell'UDL può aiutare gli educatori a creare lezioni accessibili, coinvolgenti e potenti per una vasta gamma di studenti (Walker et al., 2017).

L'AR può costituire una nuova risorsa per le strategie UDL, in quanto ben aderisce ai tre principi generali alla base di quest'ultimo:

- il primo principio, *Multiple Means of Representation*, sottolinea l'importanza dei metodi flessibili di visualizzazione delle informazioni per rendere il *cosa* o il contenuto dell'apprendimento disponibile a tutti gli studenti;
- il secondo principio, *Multiple Means of Action and Expression*, è il *come* dell'apprendimento e affronta i metodi che possono essere utilizzati per fornire agli studenti opzioni per dimostrare le loro conoscenze, organizzare il loro pensiero e interagire con i contenuti;



- il terzo principio di UDL, *Multiple Means of Engagement*, presenta opzioni flessibili per sedurre, creare interesse, persistenza ed entusiasmo per l'apprendimento ed è il *perché* dell'apprendimento.

L'AR si posiziona in maniera univoca a supporto dell'apprendimento all'interno di questo framework dal momento che gli oggetti virtuali che possono essere utilizzati nel sistema AR sono forme flessibili di media che possono essere sfruttate per fornire ulteriore supporto accademico e sociale agli studenti con disabilità e/o difficoltà. Gli oggetti virtuali, che possono essere costituiti da testo, immagini fisse, clip video, suoni, modelli 3D e animazioni, consentono agli insegnanti di personalizzare le istruzioni in base alle esigenze individuali (Bower et al., 2014; Enyedy, Danish & DeLiema, 2015). In quest'ottica, dunque, la AR può contribuire a rimuovere gli ostacoli all'apprendimento. Ad esempio, il primo principio di UDL afferma che i contenuti e le competenze devono essere presentati in diversi modi ricorrendo allo scaffolding, se necessario. Pertanto, un insegnante rimuoverà gli ostacoli all'apprendimento creando lezioni con strumenti AR ad esse incorporate. Gli strumenti AR verrebbero utilizzati per migliorare le istruzioni fornendo accesso a risorse aggiuntive e materiale didattico, nonché supporti per lo scaffolding durante la lezione. Un altro esempio dell'uso di AR per presentare il materiale in più modi è l'utilizzo di oggetti virtuali ingranditi o rimpiccioliti. Ciò offre agli studenti l'opportunità di esplorare e acquisire una più profonda comprensione delle proprietà e delle relazioni di oggetti che sono inaccessibili nella vita quotidiana, come ad esempio le molecole o il sistema solare (Walker, McMahon, Rosenblatt & Arner, 2017).

Tesolin e Tsinakos (2018) hanno individuato alcune caratteristiche delle AR basata su dispositivi mobili che possono ulteriormente andare incontro ai precedenti principi:

- interazione – le caratteristiche della AR basata su dispositivi mobili nel promuovere le interazioni con i compagni e i docenti, riguardano principalmente la portabilità e l'ubiquità, ma anche la capacità di creare attività di apprendimento condivise tra pari e qualità di assistenza che possono rimuovere eventuali barriere per l'interazione (Tesolin & Tsinakos, 2018).
- discussione – le discussioni di gruppo favoriscono in modo specifico gli studenti con abilità diverse offrendo agli studenti la possibilità di sintetizzare e valutare idee e concetti. Morrison et al. (2009) hanno dimostrato che le caratteristiche di AR di una mappa creata su dispositivi mobili ha suscitato discussioni di gruppo che hanno consentito di risolvere i problemi in modo più efficace rispetto ai partecipanti che utilizzavano solo una mappa cartacea (Tesolin & Tsinakos, 2018).

La ricerca condotta da Dryer, Tyson e Shaw (2014) ha dimostrato che studenti motivati con abilità diverse raggiungono un successo di apprendimento maggiore. In particolare, molti studi mostrano correlazioni tra fiducia in sé stessi e apprendimento autonomo e didattica basata su AR tramite dispositivi mobili. Bacca et al. (2014) hanno sviluppato un'applicazione di AR per dispositivi mobili per 13 studenti con disabilità cognitive in un programma di istruzione e formazione professionale che ha valutato la motivazione dello studente basata sul *Design for Learning and Performance* di Keller (2010). È stata utilizzata un'indagine sulla motivazione dei materiali didattici per determinare le dimensioni dell'attenzione, della pertinenza, della fiducia e della soddisfazione dello studente. Nonostante tutte le dimensioni siano state valutate positivamente, i punteggi relativi alla fiducia e alla soddisfazione sono stati più elevati. Anche se il campione era di piccole dimensioni, questa ricerca apre comunque delle piste di approfondimento sulle possibilità delle AR, basate in particolare su dispositivi mobili, di influire positivamente

sulla fiducia in sé stessi, sulla soddisfazione e, di conseguenza, sulla motivazione per gli studenti con disabilità cognitive (Bacca et al., 2014).

## **6. Alcune criticità**

L'effettiva integrazione delle tecnologie emergenti, come AR, ha diverse sfide che richiedono la necessità di superare numerosi impedimenti, come l'integrazione nei metodi di apprendimento tradizionali, i costi per lo sviluppo e la manutenzione del sistema AR e una più generale resistenza alle nuove tecnologie (Lee, 2012). Inoltre, il design efficace delle applicazioni AR (Estapa & Nadolny, 2015) e le soglie tecniche (Lu & Liu, 2015) sono considerati come aventi un effetto inibitore per gli insegnanti. Molti sistemi non consentono modifiche del contenuto pertanto l'implementazione di nuovi strumenti di authoring sarebbero essenziali per tenere conto delle esigenze specifiche degli studenti (Radu, 2014). La mancanza di formazione, i problemi tecnici sistemici e la mancanza di pianificazione possono anche essere percepiti come ostacoli all'adozione di AR nei processi di insegnamento-apprendimento (Berge & Muilenburg, 2000). Tuttavia, è utile sottolineare come di fatto la tecnologia non sia né intrinsecamente limitante né intrinsecamente inclusiva, ma è sempre soggetta alle modalità di utilizzo in ambito didattico.

## **7. Conclusioni**

Il presente contributo si è proposto di illustrare le potenzialità dell'AR nell'unire mondi virtuali e reali insieme dando vita a nuove possibilità nel migliorare la qualità dell'insegnamento e dell'apprendimento. Ci si è focalizzati in particolare sui numerosi vantaggi che la AR può svolgere nel facilitare l'apprendimento, aumentando il rendimento scolastico, l'interesse, l'attenzione e favorendo un ruolo più attivo dello studente che può portare ad una conoscenza più approfondita dei contenuti di apprendimento e alla riduzione delle misconcezioni. Emerge anche come la AR consenta agli studenti di apprendere secondo i propri ritmi e modalità, supportando un apprendimento individualizzato. Più nello specifico, il contributo ha fornito approfondimenti su come l'AR possa essere utilizzata per supportare le tre linee guida principali di Universal Design for Learning fornendo: a) molteplici mezzi di presentazione b) molteplici mezzi di espressione e c) molteplici mezzi di coinvolgimento. Sono stati riportati inoltre gli esiti di alcune ricerche che riconoscono il potenziale dell'applicazione dell'AR per bambini con diverse disabilità fisiche e cognitive (Hong, Jeong, Arriaga & Abowd, 2010, Richard, Billaudeau, Richard & Gaudin, 2007), ma le tecniche di valutazione utilizzate per tali applicazioni meriterebbero ulteriori approfondimenti, in quanto rimangono qualitative o non supportate da una rigorosa analisi quantitativa.

Si evidenzia anche la necessità di coordinare progetti di ricerca multidisciplinari che coinvolgano attivamente ingegneri, ricercatori e insegnanti per implementare interfacce AR che rispondano alle reali esigenze didattiche degli studenti. Riteniamo, infatti, che una valutazione approfondita delle esperienze di apprendimento con AR dovrebbe considerare, oltre agli aspetti tecnici, anche quelli pedagogici, al fine di determinare il grado di raggiungimento degli obiettivi e valutare fino a che punto la soluzione proposta contribuisca ad apportare una maggiore efficacia didattica e a migliorare il processo di insegnamento-apprendimento anche in un'ottica inclusiva.

## Bibliografia

- 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.
- Arduini, G. (2012). La realtà aumentata e nuove prospettive educative. *Education Sciences & Society, 3*(2), 209–216.
- 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. *Journal of Educational Technology & Society, 17*(4), 133–149.
- Berge, Z., & Muilenburg, L. (2000). Barriers to distance education as perceived by managers and administrators: Results of a survey. In M. Clay (ed.), *Distance learning administration annual* (pp. 1-5). Baltimore, MD: University of Maryland.
- Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer, 45*(7), 56–63.
- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001). The magicbook-moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and applications, 21*(3), 6–8.
- 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.
- Buchner, J., & Zumbach, J. (2018). Promoting intrinsic motivation with a mobile augmented reality learning environment. *14th International Conference Mobile Learning, 55–61*.
- 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.
- 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.
- Carrera, C.C., & Asensio, L.A. (2017). Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. *Cartography and Geographic Information Science, 44*(3), 259–270.
- Chen, C.P., & Wang, C.H. (2015). Employing augmented-reality-embedded instruction to disperse the imparities of individual differences in earth science learning. *Journal of Science Education and Technology, 24*(6), 835–847.
- Cheng, K.H., & Tsai, C.C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of Science Education and Technology, 22*(4), 449–462.
- Chiang, T.H.C., Yang, S.J., & Hwang, G.J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in

- natural science inquiry activities. *Educational Technology & Society*, 17(4), 352–365.
- Cohen, R. (2013). *The development of spatial cognition*. Hillsdale, NJ: Psychology Press.
- De Paolis, L.T. (2012). Applicazione interattiva di realtà aumentata per i beni culturali. *SCIRES-IT-SCientific RESearch and Information Technology*, 2(1), 121–132.
- Di Martino, A.R. (2011). *Applicazioni di Interfacce aptiche e Realtà Aumentata in ambiti di manutenzione industriale, formazione, medicina e beni culturali*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Salerno, Salerno, Italia.
- Di Paola, F., & Inzerillo, L. (2011). Augmented reality. The case of Salinas Museum of Palermo. *Le Vie dei Mercanti*, 1–7.
- 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.
- Dryer, R., Tyson, G., & Shaw, R. (2014). 15 Motivation to learn and quality of life issues in higher education students with a disability. *Student Motivation and Quality of Life in Higher Education*, 17, 128.
- Dunleavy, M., & Dede, C. (2014). Augmented reality teaching and learning. In *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 735-745). New York, NY: Springer.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7–22.
- Enyedy, N., Danish, J. A., & DeLiema, D. (2015). Constructing liminal blends in a collaborative augmented-reality learning environment. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 10(1), 7–34.
- Estapa, A., & Nadolny, L. (2015). The effect of an augmented reality enhanced mathematics lesson on student achievement and motivation. *Journal of STEM education*, 16(3), 40–48.
- Fedeli, L. (2016). Tecnologie educative. *Pedagogia oggi*, 2, 261–264.
- Feng, Z., Duh, H.B.-L., & Billinghamurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. *Gehalten auf der 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR)*. Cambridge, UK.
- 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.
- Fiasconaro, V., & Guiducci, S. (2011). Realizzazione di un Prototipo di Realtà aumentata applicato ai siti archeologici. *AI & Cultural Heritage*, 39.
- Gavish, N., Gutierrez, T., Webel, S., Rodriguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798.

- Glenberg, A.M., Gutierrez, T., Levin, J.R., Japuntich, S., Kaschak, M.P. (2004). Activity and imagined activity can enhance young children's reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 424.
- Hong, H., Jeong, H.Y., Arriaga, R.I., & Abowd, G.D. (2010). TriggerHunter: Designing an educational game for families with asthmatic children. *CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 3577–3582. New York, NY: ACM.
- Hsiao, C.H., Chang, J.J., & Tang, K.Y. (2016). Exploring the influential factors in continuance usage of mobile social Apps: Satisfaction, habit, and customer value perspectives. *Telematics and Informatics*, 33(2), 342–355.
- Huang, T.C., Chen, C.C., & Chou, Y.W. (2016). Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers & Education*, 96, 72–82.
- Ibanez, M.B., Di Serio, A., Villaran, D., & Kloos, C.D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1–13.
- Izzo, F., Mustilli, M., & Guida, M. (2015). Realtà aumentata e valorizzazione dei beni culturali. Riflessioni sull'offerta culturale casertana. *XXVII Convegno annuale di Sinergie Heritage, management e impresa: quali sinergie?* 797–809. Verona: CUEIM Comunicazione srl.
- Jerry, T.F.L., & Aaron, C.C.E. (2010). The impact of augmented reality software with inquiry-based learning on students' learning of kinematics graph. *2010 2nd international conference on education technology and computer*, 2(1-5). IEEE.
- 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.
- Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers & Graphics*, 27(3), 339–345.
- Ke, F., & Hsu, Y.C. (2015). Mobile augmented-reality artifact creation as a component of mobile computer-supported collaborative learning. *The Internet and Higher Education*, 26, 33–41.
- Keller, J. M. (2010). *What is motivational design? In Motivational design for learning and performance*. New York, NY: Springer.
- Kim, H., Matuszka, T., Kim, J.I., Kim, J., & Woo, W. (2017). Ontology-based mobile augmented reality in cultural heritage sites: information modeling and user study. *Multimedia Tools and Applications*, 76(24), 26001–26029.
- Klopfer, E., & Sheldon, J. (2010). Augmenting your own reality: student authoring of science-based augmented reality games. *New Directions for Youth Development*, 128, 85–94.
- Lee, G.A., Dünser, A., Kim, S., & Billinghamurst, M. (2012). Cityviewar: A mobile outdoor ar application for city visualization. *Mixed and Augmented Reality (ISMARAMH) 2012 IEEE International Symposium*, 57–64. IEEE.
- Lee, K. (2012). Augmented reality in education and training. *TechTrends*, 56(2), 13–21.

- Li, N., Gu, Y.X., Chang, L., & Duh, H.B.L. (2011). Influences of AR-supported simulation on learning effectiveness in face-to-face collaborative learning for physics. *2011 IEEE 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 320–322. IEEE.
- Lin, T.J., Duh, H.B.L., Li, N., Wang, H.Y., & Tsai, C.C. (2013). An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68, 314–321.
- Liou, W.K., Bhagat, K.K., & Chang, C.Y. (2016). Beyond the flipped classroom: A Highly Interactive Cloud-Classroom (HIC) embedded into basic materials science Courses. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 460–473.
- Lu, S.J., & Liu, Y.C. (2015). Integrating augmented reality technology to enhance children's learning in marine education. *Environmental Education Research*, 21(4), 525–541.
- Martín-Gutiérrez, J., Fabiani, P., Benesova, W., Meneses, M.D., & Mora, C.E. (2015). Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, 51, 752–761.
- McMahon, D., Cihak, D.F., & Wright, R. (2015). Augmented reality as a navigation tool to employment opportunities for postsecondary education students with intellectual disabilities and autism. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(3), 157–172.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information System*, 77(12), 1321–1329.
- Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical sciences education*, 10(6), 549–559.
- Morrison, A., Oulasvirta, A., Peltonen, P., Lemmela, S., Jacucci, G., & Reitmayr, G., (2009). Like bees around the hive: A comparative study of a mobile augmented reality map. *Proceedings of the SIG- CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*.
- Ozdemir, M. (2017). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi ile Öğrenmeye Yönelik Deneysel Çalışmalar: Sistematik Bir İnceleme [Experimental studies on learning with augmented reality technology: A systematic review]. *Mersin University Journal of the Faculty of Education*, 13(2), 609–632.
- Ozdemir, M., Sahin, C., Arcagok, S., & Demir, M.K. (2018). The effect of augmented reality applications in the learning process: A meta-analysis study. *Eurasian Journal of Educational Research*, 74, 165–186.
- Parola, A. (2017). Ricerca mediaeducativa e realtà complessa. In R. Trinchero & A. Parola (Eds), *Educare ai processi e ai linguaggi dell'apprendimento* (pp. 48-76). Milano: FrancoAngeli.
- Pérez-López, D., & Contero, M. (2013). Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: A case study on its impact on knowledge acquisition and retention. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 12(4), 19–28.

- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing, 18*(6), 1533–1543.
- Richard, E., Billaudeau, V., Richard, P., & Gaudin, G. (2007). Augmented reality for rehabilitation of cognitive disabled children: A preliminary study. *Virtual Rehabilitation, 102–108*. IEEE.
- Rivoltella, P.C. (2010). Oltre il virtuale: La nostra è una “realtà aumentata”. *Vita Pensiero, 5*, 102–108.
- Roschelle, J.M., Pea, R.D., Hoadley, C.M., Gordin, D.N., and Means, B.M. (2000). Changing how and what children learn in school with computer-based technologies. *The future of children, 76–101*.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist, 55*(1), 68–78.
- Salmi, H., Kaasinen, A., & Kallunki, V. (2012). Towards an Open Learning Environment via Augmented Reality (AR): Visualising the invisible in science centres and schools for teacher education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 45*, 284–295.
- Saltan, F., & Arslan, Ö. (2017). The use of augmented reality in formal education: A scoping review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 13*(2), 503–520.
- Santos, M.E.C., Chen, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Miyazaki, J., & Kato, H. (2014). Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. *IEEE Transactions on learning technologies, 7*(1), 38–56.
- Santos, M.E.C., 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.
- Shelton, B.E., & Hedley, N.R. (2004). Exploring a cognitive basis for learning spatial relationships with augmented reality. *Technology, Instruction, Cognition and Learning, 1*(4), 323.
- Shneiderman, B. (2000). Universal usability. *Communications of the ACM, 43*(5), 84–91.
- Sommerauer, P., & Müller, O. (2014). Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. *Computers & Education, 79*, 59–68.
- Sotiriou, S., & Bogner, F.X. (2008). Visualizing the invisible: augmented reality as an innovative science education scheme. *Advanced Science Letters, 1*(1), 114–122.
- Sural, I. (2018). Augmented reality experience: Initial perceptions of higher education students. *International Journal of Instruction, 11*(4), 565–576.
- Tekedere, H., & Göke, H. (2016). Examining the effectiveness of augmented reality applications in education: A meta-analysis. *International Journal of Environmental and Science Education, 11*(16), 9469–9481.
- Tesolin, A., & Tsinakos, A. (2018). Opening real doors: Strategies for using mobile augmented reality to create inclusive distance education for learners with different-

- abilities. In S. Yu, M. Ally, & A. Tsinakos (eds), *Mobile and Ubiquitous Learning* (pp. 59-80). Singapore: Springer.
- Walker, Z., McMahon, D.D., Rosenblatt, K., & Arner, T. (2017). Beyond Pokémon: Augmented reality is a universal design for learning tool. *SAGE Open*, 7(4), 1–8.
- 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.
- Yılmaz, Z.A., & Batdı, V. (2016). Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Eğitimle Bütünleştirilmesinin Meta-Analitik ve Tematik Karşılaştırmalı Analizi [A meta-analytic and thematic comparative analysis of the integration of augmented reality applications into education]. *Education and Science*, 41(188), 273–289.
- Yuliono, T. (2018). The promising roles of augmented reality in educational setting: A review of the literature. *International Journal of Educational Methodology*, 4(3), 125–132.