

Giuseppe Riva, Andrea Gaggioli

# Realtà virtuali

Gli aspetti psicologici delle tecnologie  
simulative e il loro impatto  
sull'esperienza umana

 **GIUNTI**

È vietata la riproduzione dell'opera o di parti di essa con qualsiasi mezzo se non espressamente autorizzata dall'editore.

[www.giuntipsy.it](http://www.giuntipsy.it)  
[www.giunti.it](http://www.giunti.it)

© 2019 Giunti Psychometrics S.r.l.  
Via Fra' Paolo Sarpi 7/A, 50136 Firenze – Italia

Prima edizione: agosto 2019



Stampato presso Rotolito S.p.A. – Seggiano di Pioltello

# Indice

Introduzione	7
1. La realtà virtuale	11
<i>Cenni storici</i>	11
<i>La tecnologia</i>	25
<i>Sistemi di realtà virtuale</i>	32
2. Applicazioni	37
<i>Design</i>	38
<i>Educazione e addestramento</i>	40
<i>Ricerca scientifica</i>	46
<i>Medicina e salute</i>	49
<i>Intrattenimento</i>	57
<i>Marketing e commercio elettronico</i>	59
3. Le capacità simulative della nostra mente	63
<i>La nostra mente è un simulatore</i>	64
<i>L'impatto della simulazione sui processi cognitivi</i>	78
4. La presenza: essere dentro una tecnologia	83
<i>Azione, simulazione e tecnologia</i>	83

<i>Essere presenti in un ambiente reale o virtuale</i>	88
<i>Come creare un ambiente virtuale in grado di farci sentire presenti</i>	93
<i>La presenza sociale: quando l'Altro è presente insieme a noi nell'ambiente virtuale</i>	95
5. Il potere trasformativo della realtà virtuale	107
<i>Dialogo, esperienza e cambiamento</i>	108
<i>Indurre emozioni positive e supportare esperienze piacevoli</i>	115
<i>Facilitare il raggiungimento di esperienze coinvolgenti e autorealizzanti</i>	120
<i>Modificare l'identità, le credenze e gli atteggiamenti</i>	123
6. Dalla realtà virtuale all'interrealtà: verso le tecnologie della confluenza	131
<i>Quando il reale si fonde con il virtuale</i>	133
<i>Interfacce neuro-virtuali</i>	135
<i>Neurostimolazione in realtà virtuale</i>	140
<i>Dagli avatar robotici alla "telepresenza di sciame"</i>	142
<i>L'intelligenza artificiale incontra la realtà virtuale</i>	146
Conclusione	151
<i>Verso un'etica dei media trasformativi</i>	151
Ringraziamenti	159
Bibliografia	161

## Introduzione

Nel corso della sua storia l'uomo ha sviluppato molti modi di rappresentare e raccontare la sua esperienza, come il disegno, la fotografia e il cinema. Il progresso di questi media riflette il tentativo di descrivere la realtà con un grado di fedeltà sempre maggiore. Oggi, la frontiera più avanzata di questa evoluzione è la *realtà virtuale*, una tecnologia che consente di “entrare” in una scena creata dal computer, all'interno della quale è possibile muoversi e interagire come in un luogo reale. Le applicazioni della realtà virtuale sono sempre più numerose e spaziano in diversi ambiti. Per esempio, nel settore aeronautico, l'uso dei simulatori di volo immersivi è diventato un metodo standard per addestrare i piloti civili e militari. Nella ricerca scientifica, la realtà virtuale è utilizzata per aiutare gli scienziati a visualizzare dati complessi e favorire nuove scoperte. La realtà virtuale rappresenta anche un'interfaccia di comunicazione avanzata, che consente alle persone di interagire in modo naturale a distanza. Per esempio, un gruppo di progettisti che opera nelle sedi decentralizzate di un'azienda può utilizzare uno spazio simulato condiviso per collaborare alla soluzione di un problema. In campo medico, la realtà virtuale sta dimostrando un'eccellente potenziale, con applicazioni nell'ambito della riabilitazione neurologica e nella psicoterapia. Questa tecnologia sta conoscendo una crescente diffusione anche nell'industria dell'intrattenimento, dove trova applicazioni, oltre al settore dei videogiochi, nella cinematografia, nei parchi tematici e nei musei. I social network, l'e-commerce, l'educazione, lo sport sono solo alcune delle ulteriori aree che i mondi virtuali promettono di rivoluzionare.

La ragione della rapida diffusione della realtà virtuale non è giustificata solo dall'evoluzione della tecnologia e dalla riduzione dei costi. Se si guarda al fenomeno da una prospettiva esclusivamente tecnologica, si rischia di non cogliere un aspetto più profondo e peculiare di questo mezzo, che coincide con l'ampio spettro di possibilità che esso offre per modellare e trasformare radicalmente l'esperienza umana. In questo senso, per comprendere il suo vero potenziale, è di centrale importanza il concetto di *presenza*, definibile come il grado soggettivo con cui una persona percepisce di essere fisicamente e mentalmente "presente" all'interno della simulazione. Come si vedrà più avanti, un aspetto affascinante e paradossale di questo fenomeno psicologico è che il fatto di sentirsi presenti in una realtà artificiale non dipende solo dal grado di fedeltà con cui la tecnologia riesce a stimolare i nostri sensi per simulare il mondo fisico, ma anche dal contenuto narrativo della simulazione e dal livello di coinvolgimento cognitivo ed emotivo che tale contenuto è in grado di generare nell'utente – come la cosiddetta "esperienza ottimale" dello stato di flow (stato di flusso). Queste osservazioni suggeriscono che i nuovi avanzamenti della frontiera della realtà virtuale non dipenderanno solo dai progressi della potenza dei computer ma anche, e soprattutto, dal miglioramento della comprensione degli aspetti psicologici della realtà virtuale, al fine di progettare esperienze sempre più coinvolgenti ed efficaci.

Alla luce di tali premesse, l'obiettivo che ci siamo posti in questo libro è raccontare la "rivoluzione virtuale" attraverso una prospettiva che vuole evidenziare l'impatto trasformativo di questa tecnologia sull'esperienza umana. In particolare, cercheremo di mettere in luce le opportunità che le tecnologie virtuali possono offrire, ma anche di porre in evidenza i potenziali rischi che esse implicano, attraverso una ricognizione delle ricerche più avanzate in ambito psicologico e neuroscientifico.

Nel primo capitolo introdurremo le tappe fondamentali dello sviluppo della realtà virtuale, presentando una panoramica dei principali sistemi di simulazione. Nel secondo ci focalizzeremo sulle principali applicazioni di questa tecnologia, mostrandone

il potenziale e la grande duttilità. Il terzo capitolo cercherà invece di illustrare dove nasce l'efficacia della realtà virtuale, confrontandone il funzionamento con quello della nostra mente. Come scopriremo, entrambe sono delle "macchine predittive", il cui obiettivo è anticipare e predire correttamente le caratteristiche percettive ed emotive delle nostre esperienze e delle nostre azioni. Il quarto capitolo approfondirà il concetto di "presenza". Cosa vuol dire essere presenti in un ambiente virtuale? Che cosa differenzia la presenza in un ambiente reale rispetto a quella in un ambiente digitale? Il senso di presenza in un ambiente virtuale è generato dalla capacità della tecnologia di prevedere i meccanismi simulativi della nostra mente e di generare dei contenuti digitali coerenti con queste previsioni. Più la previsione è corretta, più il soggetto si sentirà presente nell'ambiente virtuale che sta sperimentando, pur sapendo che l'ambiente non è reale. Il quinto capitolo descriverà invece il potenziale trasformativo della realtà virtuale, mostrando come questa tecnologia possa essere utilizzata per aumentare il benessere individuale. Più precisamente vedremo come con la realtà virtuale sia possibile indurre emozioni positive e generare esperienze piacevoli, facilitare il raggiungimento di esperienze coinvolgenti e autorealizzanti, e come sia possibile pertanto lavorare sulla propria identità, sulle proprie credenze e sui propri comportamenti.

Nella sezione conclusiva passeremo in rassegna le nuove frontiere della realtà virtuale e ci concentreremo sugli scenari futuri che si stanno preparando grazie alla convergenza tra tecnologie della simulazione e neurotecnologie – le cosiddette "tecnologie della confluenza" – cercando di mettere in luce le opportunità e i rischi che queste innovazioni comportano.





## *L'ambiente virtuale*

L'ambiente virtuale è un software la cui funzione è quella di generare un modello tridimensionale interattivo di un ambiente reale. Il dettaglio della scena, ovvero il grado di realismo, varia in funzione del numero di poligoni utilizzati per rappresentare le superfici geometriche degli oggetti. Maggiore è il numero di poligoni, superiore è la potenza di calcolo necessaria per elaborare la rappresentazione della scena nell'unità di tempo. Altri parametri che definiscono un ambiente virtuale sono il tipo di illuminazione, i colori, i materiali e le *texture*, ovvero le immagini utilizzate per rivestire le geometrie dei modelli. I linguaggi di programmazione più utilizzati sono Javascript, C# e C/C++, che sono basati sulla programmazione orientata a oggetti, mentre lo standard grafico è rappresentato dalle librerie OpenGL e Direct3D.

Nel 1994 fu introdotto il VRML (Virtual Reality Modelling Language), un linguaggio di programmazione che permette di sviluppare ambienti virtuali navigabili attraverso un browser internet. L'introduzione del linguaggio VRML, che divenne uno standard ISO a partire dal 1997, rappresentò un'importante innovazione, perché attraverso questo linguaggio si è realizzata per la prima volta la fusione di due media, Internet e la realtà virtuale. Il successore del VRML è X3D, standard ISO dal 2004, che ha aggiunto al linguaggio precedente numerose funzionalità e formati multimediali, estendendo anche la compatibilità dei dispositivi hardware e la varietà delle applicazioni.

## *Gli ambienti virtuali sociali*

Particolare interesse rivestono le piattaforme di *social virtual reality*, ambienti virtuali condivisi tra più utenti. Come si vedrà nei prossimi capitoli, un aspetto di cruciale importanza dell'esperienza virtuale è dato dalla "presenza sociale", ovvero dalla possibilità di interagire con altri attori durante l'esperienza immersiva. Tali attori possono essere sia agenti simulati dal computer (virtual human), oppure rappresentazioni virtuali di utenti

reali (avatar). In quest'ultimo caso, l'obiettivo di una piattaforma di social VR è quello di creare un ambiente virtuale condiviso, nel quale gli utenti interagiscono utilizzando canali comunicativi di vario tipo, come chat vocali e testuali. Un popolare esempio di mondo virtuale sociale è Second Life, una piattaforma di gioco virtuale multiutente creata dall'azienda statunitense Linden Lab, nella quale i giocatori possono non solo interagire all'interno di spazi virtuali condivisi, ma anche rivestire il ruolo di "creatori" dei luoghi stessi, progettando negozi, scuole, discoteche o altri spazi di fantasia, che possono rendere accessibili agli altri abitanti del cyberspazio. Nonostante il successo iniziale (lanciata nel 2003, nel 2007 la piattaforma aveva superato il milione di utenti attivi), Second Life non sembra aver soddisfatto le aspettative che aveva generato, pur continuando ad essere ancora frequentato da qualche migliaio di appassionati. Dall'altro lato, le opzioni di Social VR attualmente disponibili sono ancora piuttosto limitate, sebbene i giganti della Silicon Valley sembrano mostrare un crescente interesse verso queste piattaforme. Come abbiamo visto nell'*Introduzione*, Facebook ha recentemente lanciato la piattaforma Facebook Spaces che, quantomeno nelle intenzioni dell'azienda, dovrebbe rappresentare una sorta di "alter ego" virtuale del popolare social network. La piattaforma consente varie forme di interazione immersiva, come generare e ricevere chiamate video utilizzando Messenger, ma anche effettuare delle interazioni più complesse, come giocare a carte condividendo lo stesso spazio virtuale o, ancora, fare fotografie e riprese video che possono essere condivise sulla propria home page. Microsoft ha invece recentemente acquistato AltSpaceVR, una piattaforma di social VR che consente agli utenti di incontrarsi utilizzando i propri avatar, giocare, guardare video insieme e anche navigare su Internet utilizzando finestre "olografiche". Anche la stessa Linden Lab ha sviluppato un nuovo progetto di piattaforma social VR, chiamata Sansar, da molti osservatori considerata il "successore" di Second Life, che consente agli utenti di creare e vivere spazi immersivi attraverso l'uso di diversi visori virtuali compatibili.

## *I display*

Le periferiche di output o display si distinguono in base al tipo di canale sensoriale stimolato; si possono quindi avere display visivi, uditivi, tattili, gustativi e olfattivi. Indubbiamente, i display visivi rappresentano il canale di stimolazione sensoriale dominante nei moderni sistemi di realtà virtuale, principalmente perché la visione è la funzione sensoriale sulla quale si basa gran parte delle nostre azioni coscienti ed è anche l'organo di senso che è maggiormente rappresentato a livello cerebrale.

Le periferiche visive d'uso più comune nei sistemi di realtà virtuale sono i caschi virtuali, che hanno due principali caratteristiche: escludono dal campo visivo il mondo fisico e sono omnidirezionali, cioè consentono di orientare lo sguardo in tutte le direzioni. Un tipico visore virtuale è costituito da due piccoli display integrati in una montatura indossabile simile a un paio di occhiali o a un elmetto. Le unità ottiche integrate sono per la maggior parte dei dispositivi implementati attraverso display a cristalli liquidi (LCD) o basati su diodi organici a emissione di luce (OLED), tecnologie che hanno progressivamente sostituito i primi, voluminosi e pesanti schermi basati sui raggi catodici.

Un sistema di visualizzazione più complesso è il CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), costituito da una stanza le cui pareti vengono utilizzate come schermi. Sulle pareti sono proiettate due immagini sovrapposte e sfalsate di una distanza equivalente alla disparità retinica. L'utente non indossa un casco, ma occhiali speciali (shutter-glasses) che occludono alternativamente la vista dell'occhio destro e sinistro, con una frequenza corrispondente a quella con cui sono aggiornate le immagini proiettate. Grazie a questo dispositivo, ciascun occhio vede solo una delle immagini, che sono fuse dalla corteccia visiva creando un'immagine stereoscopica. L'utente può muoversi liberamente all'interno della stanza e può condividere l'esperienza con altri individui. Tra le tecnologie di visualizzazione per sistemi di realtà virtuale emerse negli ultimi anni, vale la pena di ricordare i

sistemi di proiezione retinica (Direct Retinal Stimulation), che sono in grado di “dirigere” i fasci di luce direttamente sulla zona della retina interessata utilizzando tecnologie di pico-proiezione (un principio utilizzato per esempio da Hololens, il visore di realtà aumentata sviluppato da Microsoft). Un'altra avveniristica tecnologia ottica è rappresentata dal Light-Field Display, un sistema di proiezione innovativo al quale stanno lavorando ricercatori dell'Università di Stanford, che utilizza in un singolo visore due display stratificati, con pannelli LCD separati da una brevissima distanza. Il sistema impiega un vettore di microlenti per suddividere ciascuna immagine nei singoli raggi di luce che la compongono, tracciandone e visualizzandone sia la sorgente di provenienza sia la direzione. Questa nuova tecnologia dovrebbe essere quindi in grado di facilitare il sistema percettivo visivo umano nel fissare/focalizzare stimoli a differente profondità.

Le periferiche uditive sono utilizzate per generare ambienti sonori tridimensionali e creare effetti di *surround*. La maggior parte dei computer disponibili in commercio è dotato di una scheda audio che genera questi effetti. Infine, le periferiche aptiche sono utilizzate per ricevere delle sensazioni tattili. Per esempio, sono vicini alla commercializzazione guanti aptici che contengono piccole strutture metalliche la cui forma si modifica quando sono attraversate dalla corrente, determinando una pressione variabile sulla cute. Altre periferiche aptiche più complesse sono gli esoscheletri, che esercitano una resistenza variabile in funzione della solidità dell'oggetto simulato e delle proprietà cinematiche dell'interazione.

### *I dispositivi di controllo*

L'utente interagisce con l'ambiente virtuale mediante le periferiche di input, che sono progettate per rendere il controllo delle sue azioni il più naturale e intuitivo possibile. Il tipo di dispositivo di input utilizzato in una particolare applicazione dipende dal livello di complessità dell'interazione.



**Figura 1.4** – La tuta virtuale di Teslasuit (per gentile concessione di Teslasuit, <https://teslasuit.io/>).

Il livello più semplice d'interazione è la navigazione (walk-through). Per consentire la navigazione, è sufficiente utilizzare un mouse, un joystick o un sensore di tracciamento della testa (head-tracking). Il livello intermedio d'interazione consiste nella possibilità di spostare gli oggetti virtuali. Per realizzare questo livello d'interazione, il software dev'essere in grado di calcolare le relazioni spaziali delle strutture geometriche coinvolte, come la distanza tra i baricentri o la collisione delle superfici esterne di due oggetti, in modo da impedire l'attraversamento di oggetti solidi. Per esempio, dotando l'utente di un sistema di tracciamento del movimento (hand-tracking), è possibile far coincidere un puntatore virtuale con la mano reale e, quindi, calcolare le collisioni tra la mano virtuale e gli oggetti dell'ambiente.

Il livello d'interazione più complesso è quello che consente la manipolazione e la modificazione degli oggetti. Questo livello richiede l'implementazione simultanea di dispositivi di tracciamento della testa e della mano, oltre all'uso di sensori per le dita dedicati alla registrazione dei movimenti di prensione.

Recentemente sono allo studio anche interfacce indossabili come la cosiddetta “tuta virtuale” di *Teslasuit*, che consente di rendere le esperienze in realtà virtuale e aumentata ancora più realistiche grazie all'integrazione di sistemi aptici, dispositivi per tracciare i movimenti e strumenti biometrici. Questa tecnologia consente agli utenti di toccare e sentire gli oggetti presenti nello spazio digitale, di essere toccati e di utilizzare il corpo per controllare l'ambiente virtuale (Figura 1.4).

## SISTEMI DI REALTÀ VIRTUALE

I sistemi di realtà virtuale sono generalmente classificati in *immersivi*, *non immersivi*, *di telepresenza* e *di realtà aumentata/mista* (Bailenson, 2018; La Trofa, 2018; Montagna, 2018).

### *Sistemi immersivi*

I sistemi di realtà virtuale di tipo immersivo sono così definiti perché creano nell'utente l'impressione di essere circondato dall'ambiente virtuale, isolandolo parzialmente o completamente dallo spazio fisico in cui si trova. I sistemi immersivi più diffusi sono rappresentati dai “classici” caschi virtuali, che integrano un sensore in grado di tracciare il movimento della testa. I caschi virtuali sono spesso anche dotati di auricolari stereofonici per generare effetti sonori tridimensionali.

Un altro esempio di sistema immersivo, al quale abbiamo già fatto riferimento, è il CAVE (Cave-Like Automatic Virtual Environment), che è rappresentato da una sorta di “stanza” le cui pareti sono costituite da superfici di proiezione sulle quali sono visualizzati scenari tridimensionali. Il CAVE è un sistema altamente

immersivo che ha il vantaggio di consentire all'utente (o a più utenti) di muoversi liberamente all'interno dello spazio simulato senza la necessità di indossare dispositivi o cavi. Sfortunatamente, questo sistema ha un costo molto più elevato del casco virtuale e necessita di uno spazio sufficientemente ampio per l'installazione.

Altri sistemi immersivi sono rappresentati, per esempio, dai cinema IMAX e dai simulatori di volo. L'IMAX (Image Maximization) fu presentato per la prima volta all'Expo'67 a Montreal, in Canada. Da allora ne sono stati sviluppati diversi modelli, caratterizzati da un livello d'immersione sempre maggiore, ottenuto attraverso l'uso di schermi di grandi dimensioni (oltre 700 metri quadrati di superficie) a elevata risoluzione. Gli schermi supportano la visione stereoscopica e le sale sono dotate di sistemi audio ad alta fedeltà che riproducono effetti sonori tridimensionali.

Un altro esempio di sistema immersivo è rappresentato dalle soluzioni di realtà virtuale su larga scala, che consentono all'utente di vivere l'esperienza simulata muovendosi liberamente nello spazio fisico sul quale è "mappata" la scena artificiale. Questo approccio richiede la disponibilità di ampi spazi e particolari accorgimenti per rendere sicura l'esperienza (in quanto l'utente si muove indossando il casco virtuale che impedisce la visione di eventuali ostacoli fisici), ma ha il vantaggio di rendere più naturale l'esplorazione della scena, mediante sistemi di tracciamento che aggiornano in tempo reale la posizione dell'utente.

### *Sistemi non immersivi*

I sistemi non immersivi – definiti anche "desktop VR" – impiegano normali monitor e sono generalmente privi di sistemi di tracciamento della testa. In questo caso, l'utente osserva l'ambiente virtuale attraverso una sorta di "finestra" rappresentata appunto dal monitor e interagisce con i suoi contenuti utilizzando un joystick, una tastiera o un mouse (come nei videogiochi). I sistemi di realtà virtuale di tipo non immersivo sono commercialmente i più diffusi, sia in ragione del basso costo sia per la loro facilità d'uso.

## *Sistemi di telepresenza*

I sistemi di telepresenza consentono all'utente di eseguire operazioni manuali in luoghi difficilmente accessibili o pericolosi, mediante l'uso di telecamere e periferiche robotizzate. Esempi di applicazione dei sistemi di telepresenza includono le esplorazioni interplanetarie o subacquee e la microchirurgia non invasiva. I sistemi di telepresenza possono essere anche combinati con tecnologie di realtà virtuale immersiva. Per esempio, due sistemi CAVE localizzati in luoghi diversi possono essere messi in comunicazione attraverso una rete dedicata a banda ultra-larga, permettendo di inviare i dati dall'uno all'altro e di sincronizzare gli eventi. Quindi, l'utente che opera nel primo CAVE può visualizzare nel proprio spazio virtuale gli eventi che avvengono e gli utenti che agiscono simultaneamente nell'altro CAVE. Questo tipo di sistema di "telecomunicazione immersiva" è attualmente in fase avanzata di sperimentazione e offre potenziali applicazioni nell'ambito del lavoro collaborativo a distanza.

## *Sistemi di realtà aumentata e realtà mista*

Con il termine *realtà aumentata* ci si riferisce solitamente a un insieme eterogeneo di sistemi nei quali la maggior parte degli stimoli visivi è proiettata direttamente attraverso occhiali o schermi dotati di videocamere che permettono di "sovraimporre" strutture sull'ambiente fisico che circonda l'utente. Il termine *realtà mista* è invece più "inclusivo" e comprende l'intero spettro dei sistemi di simulazione, ovvero realtà virtuale e realtà aumentata. Per questa ragione è frequente anche incontrare l'acronimo VR/AR/MR per riferirsi a tale spettro, o continuum, di sistemi virtuali. La realtà aumentata è considerata da molti analisti una tecnologia che potrebbe avere un impatto significativo, in quanto le sue applicazioni sono potenzialmente molto estese. Sono infatti molti i contesti nei quali potrebbe essere vantaggioso per l'utente (o per gli utenti) poter arricchire la propria naturale esperienza percettiva con informazioni senso-



riali addizionali, per esempio, testi, immagini, video o strutture grafiche tridimensionali. Inoltre, la realtà aumentata consente di collegare elementi dello spazio fisico alle illimitate risorse di Internet, favorendo, di fatto, una sorta di “ibridazione” tra il mondo fisico e il web. Tuttavia, al fine di consentire la creazione di un’esperienza percettiva fluida e realistica, queste applicazioni richiedono l’uso di tecniche avanzate di computer vision che consentano il riconoscimento di oggetti in tempo reale, la ricostruzione di forme di varia complessità e l’identificazione delle sorgenti dei raggi luminosi diffusi nell’ambiente fisico circostante; inoltre, si devono stimare le condizioni di illuminazione globale al fine di rappresentare gli oggetti “aumentati” in modo realistico nell’ambiente fisico, aggiungendo le ombre che essi proietterebbero se fossero oggetti reali e allineandoli dinamicamente alla struttura geometrica dello spazio che li contiene.

Esistono diverse possibili soluzioni tecnologiche per visualizzare le informazioni di realtà aumentata. Per esempio, è possibile utilizzare un proiettore digitale per “disegnare” forme, texture e colori su oggetti reali (come si vede sempre più spesso nelle spettacolari proiezioni su alcuni edifici, spesso grattacieli, e sui monumenti). Un’altra forma sempre più diffusa di realtà aumentata è quella basata sugli schermi dei dispositivi mobili, come smartphone e tablet.

Indubbiamente, la forma di realtà aumentata più integrata con il sistema percettivo dell’utente è rappresentata dall’uso di visori indossabili. Attualmente, è possibile implementare questo tipo di setup utilizzando due modalità principali. La prima riguarda l’uso dei visori see-through che consentono all’utente di percepire lo spazio circostante osservandolo attraverso schermi trasparenti sui quali sono proiettati i contenuti virtuali (che andranno a ostruire porzioni variabili dello spazio visivo). Esempi di questa tecnologia sono forniti dai visori commerciali Microsoft HoloLens, Google Glass e Magic Leap. L’approccio alternativo è rappresentato dai cosiddetti visori “pass-through”, che consentono di proiettare su un visore indossabile le immagini catturate da una videocamera puntata verso l’ambiente circostante (Figura 1.5).



a



b

**Figura 1.5** – a. Una ragazza usa un simulatore virtuale toccando lo schermo per fare un acquisto online (© GettyImages/Francesco Carta); b. Una bambina usa il casco virtuale per provare un programma in laboratorio (© GettyImages/Thomas Barwick).