

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA – SCIENZA E INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

RISCOPRIRE IL MONDO REALE
ATTRAVERSO I DISPOSITIVI EYEWEAR E
LA REALTÀ AUMENTATA

Elaborato in
SISTEMI EMBEDDED E INTERNET-OF-THINGS

Relatore
Prof. ALESSANDRO RICCI

Presentata da
OLEG KONCHENKOV

Corelatore
Dott. Ing. ANGELO CROATTI

Anno Accademico 2018 – 2019

PAROLE CHIAVE

Wearable Computing

Augmented Reality

Eyewear Computing

Industry 4.0

*Alla mia famiglia
Alla mia ragazza
A tutti gli amici*

Indice

Introduzione	xi
1 Wearable Computing	1
1.1 Wearable Devices	1
1.1.1 Cenni storici	3
1.1.2 I benefici dei dispositivi indossabili	5
1.2 Challenges dei Wearable Devices	6
1.2.1 Energia dissipata e batteria	6
1.2.2 Dissipazione del calore	7
1.2.3 Networking	7
1.2.4 Privacy e sicurezza	8
1.3 Applicazioni e futuro dei wearable devices	9
1.3.1 Impiego quotidiano	9
1.3.2 Impiego in ambito industriale	10
1.3.3 Impiego in ambito militare	10
1.3.4 Impiego in ambito sportivo	10
1.3.5 Impiego in ambito medico	11
2 Augmented Reality	15
2.1 Definizione di Augmented Reality e Virtual Reality	15
2.1.1 Breve storia dell'Augmented Reality	18
2.2 Progettazione e sviluppo di un'applicazione AR	19
2.2.1 Componenti hardware richiesti	20
2.2.2 Software impiegati	21
2.2.3 Software interni all'applicazione	21
2.3 Framework di sviluppo applicazioni AR	23
2.3.1 Metaio	24
2.3.2 Funzionalità	24
2.3.3 Vuforia	25
2.3.4 Funzionalità	25
2.3.5 ARToolKit	25
2.3.6 ARCore	27

2.3.7	ARKit	29
2.4	Esempi di applicazioni di realtà aumentata	29
2.4.1	Ambito scolastico	29
2.4.2	Ambito medico	30
2.4.3	Supporto attività	31
2.4.4	Pubblicità e marketing	32
2.4.5	Arte	32
2.4.6	Intrattenimento	32
3	Eyewear Computing	35
3.1	Eyewear computing come tecnologia abilitante per l'AR	35
3.2	Eyewear devices nella quotidianità	37
3.3	Microinteractions	39
3.4	Caratteristiche tecniche di un dispositivo eyewear	39
3.4.1	Display	40
3.4.2	Metodi di input	40
3.4.3	Sensori	41
3.5	Software di un eyewear device	42
3.5.1	Canoni di progettazione in ambito eyewear	42
3.6	Esempi di dispositivi eyewear	43
3.6.1	Vuzix M300	43
3.6.2	Microsoft HoloLens	44
3.6.3	Epson Moverio BT-350	45
3.6.4	Sony Smarteyeglass	46
3.6.5	Google Glasses	47
4	L'eyewear computing nell'ambito dell'industria 4.0	51
4.1	Introduzione all'industria 4.0 e le relative tecnologie chiave	51
4.1.1	Breve storia delle tre rivoluzioni industriali	51
4.1.2	Che cos'è l'Industria 4.0	52
4.1.3	Cyber-Physical Systems (CPS)	53
4.1.4	Smart Factory	54
4.1.5	Internet of Things (IoT) e Internet of Services (IoS)	55
4.1.6	Big Data	56
4.1.7	Cloud Manufacturing	56
4.1.8	Augmented Reality	57
4.2	La Realtà Aumentata applicata all'Industria 4.0	58
4.2.1	Manutenzione e formazione 4.0	59
4.2.2	Servizi e logistica 4.0	60
4.2.3	Controllo qualità 4.0	61
4.2.4	Robotica per l'industria 4.0	62

4.2.5	Healthcare 4.0	62
4.2.6	Scuola 4.0	63
	Conclusioni	65
	Ringraziamenti	67
	Bibliografia	69

Elenco delle figure

1.1	Attributi dei dispositivi indossabili [1].	2
1.2	Impiego degli Smartglasses in ambito ospedaliero [2].	12
2.1	Rappresentazione del Virtual Continuum [3].	17
2.2	I tre modi di vedere la realtà [4].	18
2.3	Diagramma del legame tra i componenti principali di un sistema AR [5].	22
2.4	Ciclo di lavoro di un application engine [5].	23
2.5	Visualizzazione di un modello 3D di una pianta tramite il marker [5].	30
2.6	Esempio di visualizzazione dell'applicazione di anatomia Daqri [5].	31
3.1	Funzionamento di un dispositivo HMD Optical See-Through [3].	36
3.2	Funzionamento di un dispositivo HMD Video See-Through [3]. .	37
3.3	Procedura di creazione di un ologramma [6].	46
3.4	Esempio di funzionamento proiettore-prisma [7].	48
4.1	Framework di una Smart Factory [8].	54
4.2	Concetto di Cloud Manufacturing [9].	57
4.3	Illustrazione di un'assistenza remota [10].	60

Introduzione

Nella nostra società si sente parlare sempre più frequentemente di *Wearable Device*, *Eyewear Computing* e *Augmented-Reality* (AR). Che cosa sono queste tecnologie? Qual è il loro impiego e campo di utilizzo?

Sebbene il termine *Wearable Device* ha cominciato a utilizzarsi soltanto negli ultimi anni, anche tra i meno esperti di informatica, è da numerosi decenni che questi dispositivi sono stati teorizzati e realizzati.

Uno delle principali ragioni del grande successo di questa tecnologia oltre alla portabilità, è la possibilità di fornire una maggiore interoperabilità e comunicazione tra i dispositivi. Infatti i dispositivi indossabili hanno il compito e l'obiettivo di rendere le interazioni tra l'uomo ed i computer più rapide e piacevoli, minimizzando la distanza tra questi, favorendo così una possibile integrazione pervasiva fra le persone e i dispositivi.

Ulteriormente nel corso degli ultimi anni il continuo progresso tecnologico che porta ad un costante aumento delle prestazioni dei dispositivi elettronici e alla riduzione delle dimensioni ha permesso di perfezionare tecnologie come la Realtà Aumentata (AR) e *l'Eyewear Computing*. Le origini storiche risalgono alla seconda metà del Novecento, ma in quel periodo la mancanza di adeguate tecnologie non permetteva un adeguato sviluppo e applicazioni concrete.

La Realtà Aumentata permette di combinare le informazioni virtuali con quelle reali e mostrarle tramite un unico *display* anziché su *display* separati, creando così un nuovo tipo di interazione uomo-computer. La combinazione del mondo reale con quello virtuale permette di realizzare interfacce utente intuitive e semplici anche per applicazioni articolate.

L'Eyewear Computing rappresenta tutti i dispositivi indossabili che interagiscono con la vista dell'utente, un esempio ben noto sono gli *Smart-Glasses*. L'obiettivo principale è realizzare dispositivi che siano una vera e propria estensione dell'utilizzatore, in modo tale che l'interazione con il sistema avvenga in maniera del tutto naturale e nel minor tempo possibile. Si cerca dunque di creare le cosiddette micro-interazioni, al fine di permettere all'utente di non interrompere l'attività da lui svolta per compiere un'azione sul dispositivo.

Attualmente la tecnologia AR è in piena evoluzione e diffusione, inoltre la combinazione con i dispositivi *eyewear* come gli *Smart-Glasses*, che hanno

tutte le componenti hardware necessarie per implementarla, ha reso possibile la creazione di nuove applicazioni in svariati campi come quello medico, industriale, sportivo, videogiochi ed altri.

Viste le positive esperienze riscontrate ci sono molte ricerche in atto che hanno l'obiettivo di migliorare la *User Experience* nel campo della Realtà Aumentata applicata ai dispositivi *eyewear*.

L'obiettivo di questa tesi è quello di delineare un quadro generale di cosa siano gli *eyewear devices*, di fornire gli strumenti necessari per approcciarsi allo sviluppo di software mirato per questi dispositivi e mostrarne le applicazioni odierne e future.

Inizialmente verrà introdotto il concetto di *wearable device*, in quanto gli *eyewear* sono una loro sottocategoria, delineandone lo stato dell'arte presentando anche opportuni esempi, i problemi ed i possibili sviluppi futuri.

Si proseguirà introducendo il concetto di Realtà Virtuale, Realtà Aumentata e Realtà Mista evidenziandone le sostanziali differenze. Verranno poi analizzati i componenti *hardware* e *software* necessari per la realizzazione di un'applicazione AR. In aggiunta, si prenderanno in analisi alcuni dei più importanti *framework* per lo sviluppo di applicazioni AR presenti sul mercato ed alcuni esempi di quest'ultime.

Successivamente verrà introdotto il concetto di *Eyewear Computing* come tecnologia abilitante per l'AR ed orientata alle micro-interazioni. Si offrirà un quadro dei dispositivi attualmente sul mercato analizzandone le caratteristiche e le potenzialità. Verranno inoltre analizzate le caratteristiche tecniche di questi dispositivi per individuare i vantaggi che possono offrire, si proporrà quindi una breve linea guida per la progettazione di un'applicazione per un dispositivo *eyewear*.

Per concludere questa tesi verrà esaminato il concetto di *Industry 4.0*, quarta rivoluzione industriale, delineando le sue origini e le tecnologie chiave che hanno reso possibile la sua nascita e sviluppo.

Infine, attraverso alcuni esempi di integrazione dei dispositivi *eyewear* e della realtà aumentata all'Industria 4.0 verranno analizzati i benefici presenti e futuri che possono essere apportati in tale ambito.

Capitolo 1

Wearable Computing

Questo capitolo espone nella prima parte una panoramica generale sui *wearable device* indicando le loro principali caratteristiche. Si proseguirà con una trattazione sulla storia di questa tecnologia, che risulta essere molto più datata di quanto si pensi.

Nella seconda parte del capitolo, invece, verranno analizzate le sfide che gli sviluppatori di questi dispositivi dovranno affrontare e i motivi che hanno portato alla diffusione di queste tecnologie.

Infine, verranno espone le loro applicazioni odierne proponendo alcuni esempi di applicazione e le prospettive future.

1.1 Wearable Devices

I *wearable device* sono tutte quelle tecnologie portabili ed indossabili, modellate attorno al corpo umano, che vengono utilizzate come supporto “naturale” al loro funzionamento.

Possono essere ad esempio un indumento come una giacca o delle scarpe oppure un accessorio, come un braccialetto, un orologio o un paio di occhiali. Inoltre, offrono all’utente che li utilizza alcune funzioni in un design compatto a tal punto da poter essere indossabili.

Spesso capita di sentire anche la parola “*bearable*”, che sta ad indicare quella categoria di dispositivi che non sono sempre per forza indossabili, ma includono anche quelle categorie di dispositivi che possono essere posizionati sul corpo o addirittura all’interno del corpo stesso.

Già dal significato si può infatti intuire che ci sia una differenza piuttosto grande fra i *wearable* (indossabili) device e i *bearable* (portabili) device.

La grande differenza sta nel fatto che i secondi includono i primi, ma possono essere portati con sé dell’utente anche all’interno, appunto, del proprio corpo.

Nella loro configurazione ridotta contengono un numero ragguardevole di sensori che permettono di monitorare i movimenti dell'utilizzatore oppure di fornire all'utente informazioni aggiuntive.

Un'altra caratteristica fondamentale dei dispositivi *wearable* è che, contrariamente ai *laptop*, sono pensati per essere sempre attivi e costantemente in

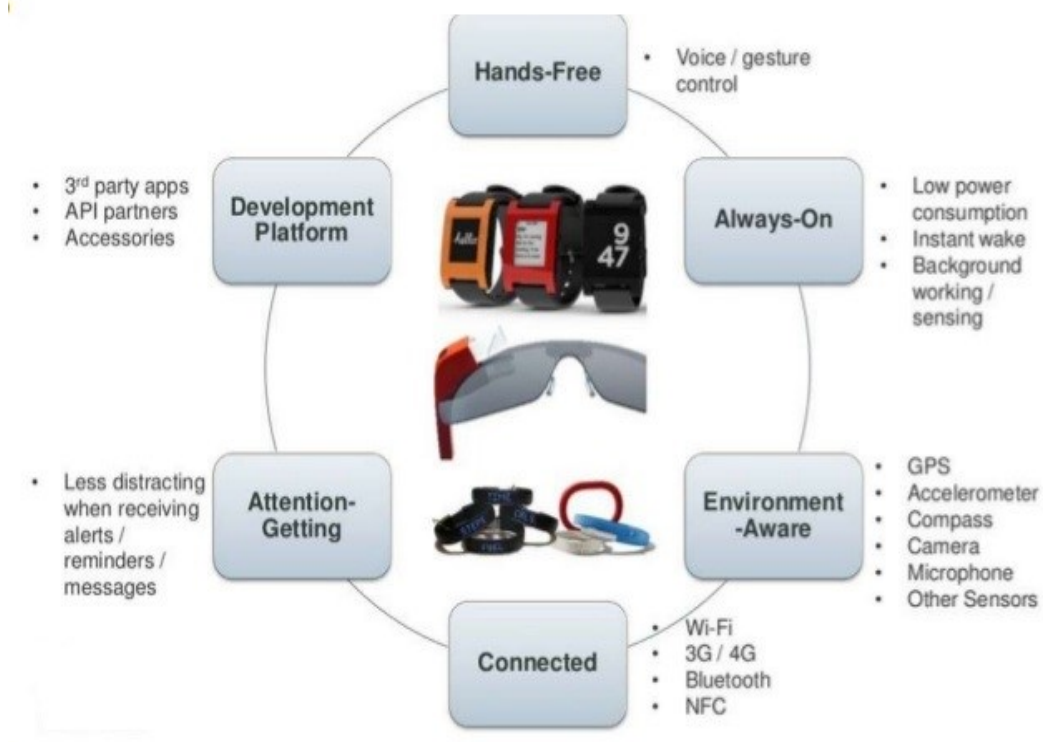


Figura 1.1: Attributi dei dispositivi indossabili [1].

Nella Figura 1.1 si possono osservare i vari tipi di dispositivi indossabili a contatto con il mondo fisico, tramite sensori [11].

In quest'ottica tali dispositivi non solo ampliano le facoltà dell'essere umano, ma diventano parte integrante dell'individuo stesso, aumentandone le capacità sensoriali e mentali.

La necessità di avere dei dispositivi indossabili nasce dal bisogno attuale di essere sempre e costantemente immersi nell'ambiente in cui viviamo. Questo è reso possibile grazie alla tecnologia che sta ormai raggiungendo la maggior

parte della popolazione mondiale e l'evoluzione degli ultimi anni ha portato alla creazione di dispositivi sempre più piccoli e facilmente trasportabili.

1.1.1 Cenni storici

La motivazione di progettare e creare dispositivi *wearable* è sempre stata abbastanza semplice: convenienza per l'indossatore. Vestiti e accessori, se scelti con cura, possono dare *comfort* e aiuto. Ad esempio, aggiungendo più funzioni al proprio vestiario, possiamo combinare il numero degli oggetti di cui abbiamo bisogno per renderci più efficienti mentre siamo in movimento. L'abilità di accedere alle e-mail o fissare appuntamenti in movimento apre nuove possibilità per dove e come si può lavorare.

Prima che i cellulari diventassero un accessorio così diffuso, molte persone indossavano un orologio per indicare il tempo. La storia del comune orologio da polso cominciò nel XV secolo, quando l'orologio fu riprogettato con l'impiego di semplici molle per opporsi all'ingombro; peso, permettendo così al dispositivo di ridurre notevolmente la sua dimensione. Il seguito l'inventore tedesco Peter Henlein iniziò a sviluppare piccoli orologi che potevano essere indossati come una collana. In seguito, sempre in quel periodo comparirono anche i primi orologi da polso, però erano indossati esclusivamente dalle donne e considerati come bracciali.

L'orologio subì ulteriori evoluzioni durante gli anni, diventando sempre più piccolo e più accurato. Nel 1904, il pilota Alberto Santos Dumont commissionò al famoso gioielliere Cartier la creazione di un orologio che poteva essere indossato intorno al suo polso, permettendogli così di avere gli arti superiori liberi per pilotare. Questo si dimostrò un luogo molto adatto dove indossare un orologio e molti soldati incominciarono ad indossare orologi per aiutarsi a sincronizzare il tempo durante azioni di guerra.

Il primo vero sistema di *Wearable Computing* al mondo fu inventato da due matematici, Thorpe e Shannon, nel 1961 [12]. Il loro obiettivo era quello di riuscire ad aumentare la probabilità di vincita nella roulette predicendo con elevata certezza l'ottante nel quale la pallina sarebbe finita. Il sistema doveva avere un ottimo *design*, dimensioni discrete e l'*output* generato doveva essere percepito solo dall'utilizzatore, dato che non potevano rischiare di farsi scoprire in possesso di un dispositivo elettronico ad un tavolo da gioco, viste le gravi conseguenze che ne sarebbero derivate. Infine, riuscirono a realizzare un sistema diviso in due parti, la prima era un computer di dimensioni ridotte (tale che poteva essere nascosto in un pacchetto di sigarette) e un sistema di *timing* (azionato con l'alluce) che veniva indossata dall'osservatore, mentre quello che doveva puntare indossava un auricolare dove riceveva le istruzioni (tramite onde radio) su come scommettere. Quando lo testarono, il sistema aumentò

le possibilità di vittoria del 44%. Però, quando Thorpe e Shannon portarono il dispositivo al casinò per collaudarlo, incontrarono alcuni problemi *hardware* che non gli permisero di effettuare vincite come avevano programmato.

Nonostante fosse ancora abbastanza primitiva, la loro invenzione affrontava molte delle sfide che i progettisti dei dispositivi *wearable* cercano di superare al giorno d'oggi. Infatti, si trattava di un sistema che prevedeva l'unione di diverse caratteristiche tipiche di un sistema *wearable*, tra cui la ricezione di valori di *input*, un processo di calcolo di tali valori, la loro trasmissione e la comunicazione delle informazioni recuperate.

Da allora sono stati effettuati numerosi miglioramenti che hanno portato allo sviluppo di altri progetti.

Di seguito vengono riportati alcuni dei progetti più interessanti ideati e realizzati dopo quello di Thorpe e Shannon [13].

- Nel 1968 il professore di informatica I. Sutherland, con l'aiuto di un suo studente B. Sproull, ideò e realizzò il primo HMD (*head mounted display*) usando due tubi a raggi catodici montati vicino alle orecchie di chi li indossava, con specchi che riflettevano le immagini negli occhi dell'utente. Queste immagini venivano fornite da un altro sistema che si occupava di determinare che cosa stesse guardando l'utente e proiettava un'immagine monografica di un *wireframe* creando così un effetto di un cubo virtuale che aleggiava a mezz'aria. Dato che la maggior parte del sistema era sospesa al soffitto sopra la testa di chi lo indossava si guadagnò il soprannome di "Spada di Damocle";
- Nel 1977 la Hawlett Packard lanciò sul mercato il primo orologio con una calcolatrice da 28 tasti incorporata che possedeva inoltre la funzione di data, ora, sveglia e memoria;
- Nel 1981 il ricercatore e inventore canadese Steve Mann, mentre era ancora al liceo, costruì uno zaino con all'interno un computer 6502 (come quello utilizzato in Apple-II) con una struttura in acciaio che gli permetteva di controllare lampadine, fotocamere e altri sistemi fotografici. Come *display* utilizzò il mirino di una fotocamera attaccato ad un casco, era in grado di visualizzare 40 colonne di testo. L'input proveniva da sette microinterruttori integrati nell'impugnatura di una lampada *flash* e l'intero sistema era alimentato da batterie al piombo;
- Nel 1993 fu creato dalla BBN il dispositivo Pathfinder, il primo *wearable* computer con un sistema GPS e un rilevatore di radiazioni;
- Nel 1993 S. Feiner, B. MacIntyre e D. Seligman, ricercatori dell'università di Columbia, svilupparono KARMA: un sistema di realtà aumentata

basato sulla conoscenza per l'assistenza alla manutenzione. L'utilizzatore doveva indossare un *display* ottico su un occhio, dando così a KARMA la possibilità di sovrapporre uno schema a griglia e le istruzioni per la manutenzione sopra ciò che doveva essere riparato. Per determinare la posizione degli oggetti nel mondo reale il sistema faceva uso di sensori. L'intero sistema veniva gestito da un computer *desktop*;

- Nel dicembre del 1994, sempre S. Mann, sviluppò la “*Wearable Wireless Webcam*”. Questo sistema permetteva di trasmettere delle immagini scattate da una fotocamera posizionata sopra il capo alla base della SIG (*Silicon Graphics Incorporated*) mediante frequenze satellitari. Le immagini venivano processate dalla base, in seguito venivano fatte visualizzare in una pagina web in tempo reale;
- Nel 1998 K. Warwick, docente di cibernetica all'università di *Reading*, è stato uno dei primi al mondo ad impiantare un sensore nel suo corpo (precisamente nel nervo mediano del suo braccio sinistro). Questa procedura gli consentì di collegare il suo sistema nervoso ad un computer. In particolare, usando l'interfaccia neurale era in grado di controllare una sedia motorizzata e una mano bionica [14];
- A Nel 2002 Warwick progettò una collana per sua moglie che, collegata al suo sistema nervoso mediante 2 *chip* incorporati era in grado di modificare il suo colore (da rosso a blu) in base all'umore dello stesso Warwick;
- Nel 2010 la Sony fece uscire nel mercato il primo “*Sony Smart Watch*”, con il quale grazie al suo touch screen era possibile effettuare diverse operazioni comunemente svolte usando uno *smartphone* (inviare e leggere SMS oppure leggere nuove notifiche, ecc.);
- Nel 2013 la Apple ha lanciato l'*iWatch*¹;
- All'inizio del 2013 *Google* ha ultimato il sistema *wearable Google Glass*.

1.1.2 I benefici dei dispositivi indossabili

Vi sono molte ragioni per utilizzare un sistema di *wearable computing*. I dispositivi indossabili aumentano ed estendono le capacità dell'indossatore e riescono a mantenere la privacy mentre funzionano in svariate situazioni e contesti.

¹<http://www.apple.com/it/watch/>

Un'importante funzione offerta da questo tipo di dispositivi è il *multitasking* integrato. Ovvero i vari *software* o programmi sono costantemente in esecuzione in *background* e l'utente non li deve avviare manualmente. Successivamente, negli ultimi 20 anni il *Wearable Computing* si è dimostrato come mezzo perfetto per incorporare l'*Humanistic Intelligence (HI)*.

HI è definita come l'intelligenza che si manifesta nel ciclo di rotazione di un processo computazionale nel quale l'uomo e il computer sono inestricabilmente intrecciati.

È comune, nel campo dell'*Human Computer Interaction (HCI)*, pensare all'uomo e al computer come entità separate. Tuttavia, nella teoria dell'HI, si preferisce non pensare all'utilizzatore e al computer al quale è associato come entità separate. Invece si ritiene più opportuno considerare il computer come un secondo cervello e i suoi sensori come sensi addizionali, che attraverso la sinestesia sintetica si intrecciano in maniera inscindibile all'apparato sensoriale biologico di chi lo indossa.

Quando un computer indossabile funziona con successo in un'incarnazione dell'HI, il computer usa la mente e il corpo dell'uomo come una delle sue periferiche, proprio come l'umano usa il computer come periferica. Questa relazione reciproca, in cui ciascuno utilizza l'altro nel proprio ciclo di *feedback*, è il cuore dell'HI.

La necessità di avere questi dispositivi è sicuramente dovuta al fatto che si vuole poter fare sempre di più in meno tempo e senza errori. Le prestazioni dei dispositivi *wearable* vanno ancora migliorare, però già al giorno d'oggi abbiamo funzioni come il controllo vocale per l'interazione. Questo ci permette di avere le mani libere per poter effettuare una nuova azione mentre ad esempio stiamo visualizzando un'e-mail, una notifica o un video.

1.2 Challenges dei Wearable Devices

Nonostante lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni gli sviluppatori dei *wearable computer* dovranno superare sfide significative. Infatti, questi dispositivi hanno ereditato molti dei problemi che hanno i principali sistemi informatici. Inoltre, attualmente non vi sono ancora stati fatti studi approfonditi sul *design* di questi dispositivi. In seguito, verranno mostrati alcuni di questi problemi e delle possibili soluzioni.

1.2.1 Energia dissipata e batteria

Il consumo dell'energia è uno dei fattori che condiziona di più le prestazioni di un dispositivo *wearable*. La massa di questi dispositivi spesso è determinata

dalla loro batteria anziché dagli altri componenti elettronici. Infatti, quando si progetta un dispositivo di piccole dimensioni, prima si valutano i costi e le dimensioni della batteria e poi il resto. Inoltre, da tutto ciò deriva un altro grande problema di questi dispositivi ovvero, come ricaricare queste batterie, per fortuna vi sono diverse soluzioni anche se ancora hanno bisogno di miglioramenti. Una di queste migliorie consiste nel recuperare energia dalla trasmissione di onde radio o dall'ambiente tramite l'energia solare. Un altro modo consiste nel ricavare l'energia dalle azioni svolte dall'utente. Un esempio è costituito da un sistema all'interno di paio di scarpe che generano energia dal tallone, mentre la suola si flette durante una camminata.

1.2.2 Dissipazione del calore

Analogamente al problema della dissipazione di energia è la dissipazione del calore. Questo fattore può pregiudicare il corretto funzionamento del sistema, se non viene preso adeguatamente in considerazione. Infatti, è un altro dei fattori limitanti e costosi nel *design* dei dispositivi *wearable*.

Un modo semplice per risolvere questo problema sarebbe quello di costruire dispositivi con una superficie che gli permetta di ricevere l'adeguata ventilazione. Ma ciò non è del tutto possibile dato che si cerca un design curato e minimalista. Il miglior approccio consiste in un uso prudente delle risorse per ridurre la generazione del calore. Ad esempio, gli sviluppatori potrebbero scrivere applicazioni per i *wearable* che quando devono eseguire un *task* pesante lo estendano nel tempo ad una velocità ridotta, in modo da ridurre la produzione di calore, anziché eseguirlo alla massima velocità in minor tempo. Questo approccio consentirebbe numerosi benefici, tra cui un utilizzo più efficiente dei convertitori di potenza e un consumo minore delle batterie agli ioni di litio [12].

1.2.3 Networking

Per i dispositivi *wearable*, appartenere ad una rete è di vitale importanza in quanto permette la comunicazione con altri dispositivi o il *download* di informazioni utili all'utente, dunque rimanere senza connessione potrebbe risultare un grosso problema. Nonostante la connessione mobile attualmente a disposizione abbia un'ottima copertura, vi sono ancora alcune zone che non sono del tutto raggiunte. Ciò comporta un problema per questi dispositivi che fanno un grande affidamento sulla rete.

Una possibile soluzione potrebbe essere quella di munire le automobili con dei ricevitori più potenti di quelli dei *wearable*, dato che solitamente il guidatore non si allontana molto dall'automezzo. Un altro modo per evitare il problema di una rete lenta o assente è quello di fare uso di *caching*, ovvero

salvare in locale le informazioni finché non ci si avvicina ad un punto in cui vi è un segnale migliore. Questo approccio permette anche di risparmiare la batteria, in quanto l'invio di un messaggio con una banda lenta richiede più energia. Inoltre, i dispositivi più sofisticati, che sono in grado di prevedere la posizione futura, possono mantenere l'informazione localmente, attendendo che il *wearable* sia più limitrofo al *wearable* destinatario.

Un aspetto molto importante legato al *networking* che attualmente è oggetto di studio è quello riguardante la latenza della rete. Questo studio cerca di diminuire la latenza per cercare di portare l'elaborazione dei dati ad un livello efficiente. Dato che applicazioni come la ricerca vocale che hanno bisogno del supporto del *cloud computing* che permette di fare delle elaborazioni più complesse e restituire il risultato finale al dispositivo. Per esprimere concretamente quanto detto, si pensi ad un utente che richieda al proprio *eyewear* device il comando: “*OK Glass*, invia un messaggio a Mario. Conferma la riunione per questo pomeriggio”. Mentre i tre comandi “*OK Glass*, invia un messaggio a Mario” sono gestiti localmente, il contenuto del messaggio richiede uno sforzo maggiore per essere identificato correttamente dal *cloud*; pertanto con l'impiego di una rete cellulare come *Long Term Evolution* (LTE) l'elaborazione del messaggio avverrebbe molto velocemente, rispetto ad una connessione di tipo *GPRS*.

1.2.4 Privacy e sicurezza

“Those who design systems which handle personal information therefore have a special duty: They must not design systems which unnecessarily require, induce, persuade, or coerce individuals into giving up personal privacy in order to avail themselves of the benefit of the system being designed [15].”

Queste parole di Leonard Foner scritte nella sua tesi di dottorato, sono specialmente adatte al *wearable computers*, dato che questi dispositivi possono diventare dei grandi contenitori di informazioni private dell'utente.

Un recente sondaggio condotto da Apadmi che chiese ai suoi soci “Pensate che i dispositivi *wearable* possano essere una minaccia alla vostra *privacy*?” ha mostrato un consenso del 42%, ciò dimostra come le persone siano preoccupate per questi dispositivi in quanto possono potenzialmente presentare rischi legati alla propria *privacy*, poiché possono registrare o catturare dati personali [16].

Infatti, quello della *privacy* e della sicurezza è un altro grande problema di questa tecnologia. Non solo perché questi dispositivi sono capaci di registrare e catturare informazioni sensibili dell'utente e di ciò che gli sta attorno, ma sono persino in grado di farlo continuamente e discretamente. Per ovviare a questo problema gli sviluppatori dovrebbero cercare di mettere delle barriere per proteggere la *privacy* degli utenti. Una barriera fisica potrebbe consistere nel far

emettere meno emissioni *wireless* al dispositivo quando queste non servono in modo da non farlo rilevare da un potenziale attaccante, oppure si potrebbero mantenere i dati più sensibili in una specie di cassaforte sicura mentre non sono in uso. Un altro approccio potrebbe essere di tipo tecnologico che consiste nel creare dei metodi di sicurezza come la crittografia e l'autenticazione biometrica (impronte digitali, scansioni dell'iride) come barriere. Alternativamente si potrebbero creare delle leggi che regolano le circostanze in cui si può considerare una violazione della *privacy* ed emettano le giuste sanzioni per il violatore. Singolarmente queste soluzioni potrebbero essere poco efficaci, però combinandone alcune insieme, si potrebbe rendere la vita molto più difficile ad un eventuale intruso.

Alternativamente vediamo il caso in cui un utente voglia che queste barriere vengano superate. Prendiamo per esempio il caso in cui l'utente abbia un grave incidente e i soccorritori hanno bisogno di accedere alla sua storia medica (informazione che in altri casi sarebbe molto privata). Una schedina di memoria nel suo portafoglio fornirebbe un livello di sicurezza adeguata contro la curiosità generale e consentirebbe di aiutarlo.

Nonostante i *wearable device* offrono molte funzioni utili come la comunicazione in tempo reale possiedono ancora grandi rischi di sicurezza e *privacy*, che potrebbero essere un ostacolo, per questa tecnologia, per essere ampiamente diffusa sul mercato.

1.3 Applicazioni e futuro dei wearable devices

Il progresso tecnologico degli ultimi anni ha permesso, la miniaturizzazione dei componenti, la riduzione dei costi e l'aumento della potenza computazionale, favorendo così la diffusione dei *wearables* in svariati campi, facendoli così approdare nel mercato dei consumi, mentre precedentemente questi erano principalmente utilizzati nel campo della tecnologia militare e dell'assistenza sanitaria.

1.3.1 Impiego quotidiano

Per quanto riguarda la vita di ogni giorno un'applicazione interessante potrebbe essere il *Remembrance Agent* [17], che è in grado di rilevare informazioni dal contesto circostante (sia fisico che virtuale) e notificarle all'indossatore se queste gli possono essere utili. Questo dispositivo è costantemente attivo e in funzione e non ha bisogno di essere attivato quando serve. Per capire meglio le potenzialità di questo dispositivo pensiamo di essere usciti per fare una passeggiata col nostro cane, ad un certo punto ci arriva una notifica, dal nostro

dispositivo, che ci comunica che nel negozio dall'altra parte della via che stiamo percorrendo sono in sconto le scarpe che stavamo cercando da tempo, non ci resta che entrare e comprarle. Nonostante sembri un esempio banale ci fa capire le possibilità in più che ci offre questa applicazione, dato che senza quella notifica avremmo potuto proseguire in un'altra direzione senza accorgerci delle tanto desiderate scarpe.

1.3.2 Impiego in ambito industriale

In ambito industriale, in base anche al tipo di impianto, questi dispositivi possono avere svariati vantaggi. Un dispositivo con un'interfaccia *hands free* o un *headmounted display* (HMD) possono avvantaggiare molto i lavoratori che devono utilizzare costantemente due mani per svolgere i loro compiti o devono svolgere compiti complessi. La prima organizzazione a riconoscere le potenzialità di questi dispositivi e ad impiegare risorse nel loro sviluppo fu la Boeing nel 1990. Data la complessità del cablaggio che i lavoratori dovevano installare è stato proposto che un lavoratore indossasse un HMD con realtà aumentata che lo guidava nelle operazioni di montaggio, cosicché non avesse più bisogno del manuale di istruzioni. Il sistema si dimostrò praticabile anche se con alcune limitazioni dovute alla tecnologia. Altre applicazioni nel settore potrebbero riguardare il monitoraggio dei parametri vitali o delle condizioni dell'ambiente circostante, tramite l'impiego di sensori indossabili, per coloro che lavorano in condizioni ad alto rischio.

1.3.3 Impiego in ambito militare

Le potenzialità dell'applicazione della tecnologia *wearable* in ambito militare sono state subito notate dalle varie organizzazioni. In particolare, la U.S Army ha fondato il programma "*Land Warrior*" che prevedeva informazioni sul posizionamento, comunicazione sul campo di battaglia e mirini a rilevazione termica.

In seguito, è stato sviluppato IPCS che è un Bluetooth *wireless*, un sistema di localizzazione a tempo reale basato su "SaaS" (RTLS) e forniscono una piattaforma che permetteva l'identificazione in tempo reale di persone ed equipaggiamento [17].

1.3.4 Impiego in ambito sportivo

Nel settore sportivo vi è sempre stato un gran interesse per questi dispositivi, in quanto quantificare il movimento umano durante una prestazione sportiva è di grande interesse, dato che permette agli allenatori di valutare e

migliorare le prestazioni degli atleti, o il recupero da un infortunio. Inoltre, questi dispositivi possono essere impiegati (col supporto di un'applicazione per *smartphone*) per monitorare le metriche relative alla forma fisica dell'utilizzatore, queste possono essere la distanza percorsa camminando o correndo, il consumo di calorie e in alcuni casi il battito cardiaco o la qualità del sonno. Un esempio di tale dispositivo è “*Fitbit*”². Un altro tipo di dispositivo interessante sono le “*Smart Training Shoes*” che rappresentano la nuova generazione di scarpe da ginnastica, che grazie alle sue etichette dotate di identificazione tramite radiofrequenze, sensori di movimento e accelerometri permettono di personalizzare il proprio aspetto, calzatura e reattività del passo³.

1.3.5 Impiego in ambito medico

L'impiego dei dispositivi *wearable* in ambito medico ha ottenuto più successo rispetto a tutti gli altri campi. Questo perché grazie alla loro flessibilità possono avere svariati tipi di impiego. Si può impostare il dispositivo per ricordare all'utente di assumere medicine in determinati orari oppure si può eseguire in tempo reale il controllo dei parametri vitali (battito cardiaco, temperatura corporea, pressione sanguigna e molto altro) dell'utilizzatore. Il sistema di controllo remoto per pazienti con problemi cardiaci, sviluppato dall'organizzazione statunitense non profit “*Mayo Clinic*”, permette ai pazienti di restare a casa mentre un *team* di fisici e infermiere da un centro di controllo monitorano nelle 24 ore i parametri vitali del paziente, e in caso di anomalie avvisano il più vicino centro medico per intervenire. Inoltre, questo tipo di approccio permette di raccogliere dati significativi per future ricerche.

Un'altra applicazione utile è la possibilità, grazie all'impiego degli *eyeglasses* e della nascente tecnologia 5G, è quella di far seguire un intervento da un chirurgo esperto come nella Figura 1.2, che si trova anche dall'altra parte del mondo, in tempo reale e ad alta risoluzione in modo tale che possa guidare chi sta effettuando fisicamente l'intervento.

²<https://www.fitbit.com/it/home>

³https://www.nike.com/it/it_it/c/innovation/hyperadapt



Figura 1.2: Impiego degli Smartglasses in ambito ospedaliero [2].

Vi sono poi molte idee per il supporto di utenti disabili. Per esempio, questi dispositivi possono provvedere informazioni sensoriali per le persone con disabilità sensoriali, ipovedenti o ipovedenti.

Molte di queste applicazioni purtroppo rimangono ancora sperimentali, perché le dimensioni dei dispositivi non hanno ancora raggiunto il livello di miniaturizzazione necessari. Però, oggi è già possibile fornire alle persone disabili informazioni utili tramite i sistemi *wearable*, anche se non si tratta di una completa sostituzione sensoriale. Per esempio, il sistema HMD di realtà aumentata “*Low Vision Enhancement*” [18], aiuta l’indossatore ad utilizzare al meglio la poca vista che gli è rimasta ingrandendo le immagini e aumentando il contrasto di luce/buio. Mentre la tuta tattile *Point Locus*⁴, che tramite delle vibrazioni sui tricipiti dell’utente, è in grado di guidare le persone totalmente cieche. Ciò serve come rimpiazzo per i classici dispositivi GPS che non erano proprio semplici da utilizzare.

Come si può notare siamo in un periodo affascinante per i dispositivi *wearable* che in questi anni si sono sviluppati sotto forma di diverse direzioni. Nonostante questo evidente progresso, tuttavia, c’è ancora molto lavoro da compiere, sia per migliorare le applicazioni già realizzate, che per cercare di realizzarne nuove, che vadano a soddisfare anche settori che non sono stati ancora protagonisti delle ricerche. Infatti, sia le piccole *startup* che le grandi aziende, stanno sperimentando progetti per creare nuovi prodotti da inserire

⁴<https://fashioningtech.com/2011/04/15/point-locus-wearable-way-finding-aid/>

sul mercato, e convincere le persone a comprare questa nuova tecnologia. Il principale bisogno del momento è quello di rendere le persone consapevoli delle nuove tecnologie che stanno entrando nei mercati, dato che potrebbero portare un immenso cambiamento per la loro vita quotidiana.

Capitolo 2

Augmented Reality

Questo capitolo si focalizza sul concetto e sull'utilizzo dell'*Augmented Reality* (AR), mettendo in luce le differenze con la *Virtual Reality* (VR) e definendo la *Mixed Reality*.

In seguito, verranno brevemente illustrati gli avvenimenti più significativi che hanno determinato lo sviluppo di questa tecnologia.

Si proseguirà trattando in modo conciso i principi di funzionamento e quali sono i mezzi necessari per sviluppare un'applicazione di AR citando alcuni *framework* di sviluppo.

Infine, verranno illustrati i principali ambiti di utilizzo di questa tecnologia con i relativi esempi.

2.1 Definizione di Augmented Reality e Virtual Reality

Fin dall'inizio, l'uomo ha cercato e ambito un modo per modificare e accrescere il mondo fisico attraverso l'utilizzo di nuove informazioni. Si pensi alle nuove pitture sulle pareti di una grotta, i primi segni scolpiti dalle antiche popolazioni, fino agli odierni cartelli pubblicitari.

Tutto ciò per sottolineare come il desiderio di aumentare la propria conoscenza riguardante il mondo fisico sia sempre stato radicato in lui.

Grazie all'attuale sviluppo tecnologico, quest'ambizione si è concretizzata in una vera e propria tecnologia nominata *Augmented Reality* (AR).

Se vorremo dare una definizione di AR, dovremo considerarla come un mezzo secondo il quale le informazioni sensoriali artificiali o virtuali vengono aggiunte alla normale realtà percepita attraverso i nostri sensi. Idealmente l'utente percepirà gli oggetti del mondo reale e quello virtuale come se appar-

tenessero allo stesso spazio, infatti, la AR può essere vista come una forma di *Mixed Reality*.

Ronal T. Azuma, leader del team di *Intel Labs*, nel suo articolo “*A survey of Augmented Reality*” del 1997, suppone che vi siano tre principali caratteristiche che definiscono la realtà aumentata:

- La combinazione del reale e del virtuale
- Interattività in tempo reale
- Registrata in 3D

L’esperienza della Realtà Aumentata è dunque interattiva, cioè, una persona può percepire l’informazione e può modificarla se lo desidera. Il livello di interattività può variare da un semplice cambiamento alla prospettiva fisica alla sua manipolazione o addirittura la creazione di nuove informazioni [5].

L’obbiettivo della realtà aumentata è quello di “rimanere” nel mondo fisico, cioè, non vi è un tentativo di far pensare all’utente che non è nella stessa posizione in cui si trova nel mondo reale. Nella AR, si vede, sente, tocca e assapora il mondo fisico esattamente allo stesso modo in cui lo si fa senza il coinvolgimento di essa, cioè, l’informazione digitale viene aggiunta, o sovrapposta sul mondo fisico, ma non la sostituisce. Talvolta, potrebbe nascondere delle informazioni all’utente, poiché non sono necessarie in quel momento, aumentando così la semplicità del mondo reale.

Secondo le parole di Sherman e Craig da “*Understanding Virtual Reality*” [5] la realtà virtuale è:

“A medium composed of interactive computer simulations that sense the participant’s position and replace or augment the feedback to one or more senses giving the feeling of being immersed or being present in the simulation.”

Come si può notare l’obbiettivo è quello di creare una simulazione realistica del mondo reale, che può essere fatto sfruttando la conoscenza della posizione dell’utente. Le informazioni aggiunte dal sistema tendono a sovrastare ciò che l’utente riuscirebbe a percepire normalmente con i cinque sensi. Un altro aspetto chiave è quello di creare un senso di “immersione”, cioè, i sistemi VR tentano di “ingannare” l’utente facendogli credere che ciò con cui sta interagendo sia vero. Anche alcuni sistemi di AR lo fanno, però grazie al fatto che l’utente sia in grado di percepire il mondo reale attorno a sé riesce a distinguere ciò che è reale da ciò che è virtuale.

L’aspetto chiave per aumentare la realtà è l’allineamento nello spazio tra il *Real Environment* e il *Virtual Environment*, ovvero come nella Figura 2.1, l’informazione virtuale possiede una posizione fisica nel mondo reale a meno che l’utente non decida di spostarlo allo stesso modo in cui si fa con gli oggetti reali.

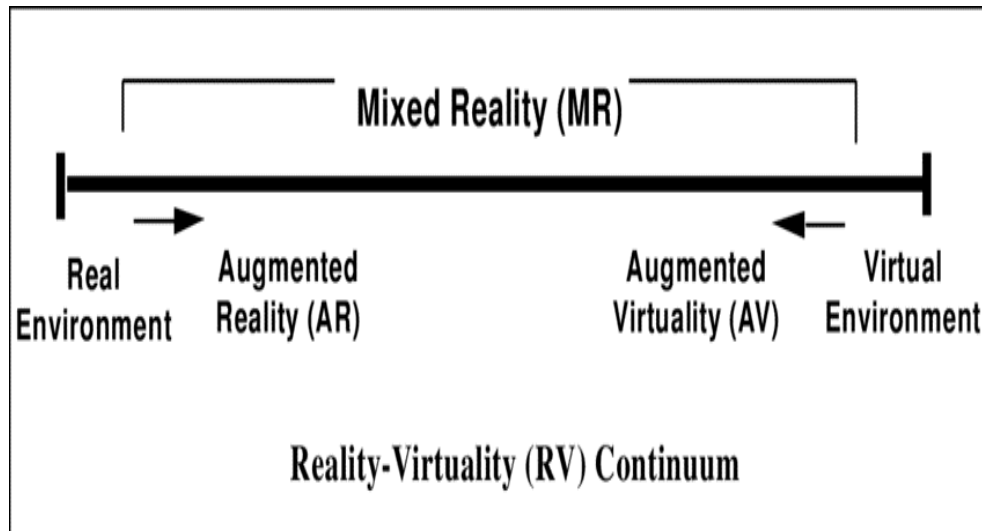


Figura 2.1: Rappresentazione del Virtual Continuum [3].

Il grande vantaggio però di un oggetto virtuale rispetto ad uno reale, è la possibilità di potervi interagire in svariati modi. Precisamente, si può affermare che nella AR è come se possedessimo dei poteri “magici”, che permettono di far fluttuare in aria gli oggetti con un semplice gesto, o di creare oggetti di qualsiasi forma dando sfogo alla nostra immaginazione.

Oltre ad un allineamento nello spazio, è importante che sia presente anche un allineamento temporale. Quest’ultimo è più difficile da raggiungere per via della latenza prodotta dall’elaborazione e la trasmissione delle informazioni virtuali, dato che il sistema deve rielaborarle ogni qual volta l’utente si muova anche di pochi centimetri. Quindi l’immagine che ci verrà mostrata non sarà mai esattamente allineata con ciò che stiamo guardando.

Questa latenza in un ambiente di realtà virtuale sarebbe molto più evidente per l’utente, poiché è completamente immerso nel mondo virtuale e viene influenzato da tutto ciò che gli è intorno. Nella realtà aumentata invece, la latenza riguarda solo gli oggetti virtuali, mentre l’utente rimane immerso nel mondo reale.

Questo problema potrebbe essere risolto implementando nei sistemi di realtà aumentata, la capacità di determinare lo stato corrente del mondo reale, determinando di conseguenza lo stato corrente del mondo virtuale, in modo da ritardare la visione del mondo fisico della stessa quantità di tempo della latenza.

Nella Figura 2.2 troviamo una rappresentazione dei tre tipi di realtà precedentemente introdotti.



Figura 2.2: I tre modi di vedere la realtà [4].

2.1.1 Breve storia dell'Augmented Reality

Nel passato ci furono molte persone talentuose, dedite e ambiziose che fecero grandi scoperte nel campo della realtà aumentata, avendo strumenti tecnologici nettamente inferiori a quelli odierni. In seguito, verranno delineati alcuni di loro e le date di maggior nota per quanto riguarda l'evoluzione della realtà aumentata [19].

- Nel 1962 il cinematografista, Morton Heiling, progettò un simulatore di moto chiamato “*Sensorama*”, considerato come una delle prime tecnologie immersive e multisensoriali (vista, udito, tatto, olfatto);
- Nel 1968 come già citato precedentemente nel primo capitolo, abbiamo la “Spada di Democle” di Ivan Sutherland”;
- Nel 1975 Myron Krueger, ricercatore dell'università del Wisconsin Madison, considerato uno dei pionieri della realtà virtuale creò “*Videoplace*” un sistema che per la prima volta permetteva all'utente di interagire con oggetti virtuali;

- Nel 1993 George Fitzmaurice e William Buxton, ricercatori dell'università di Toronto, progettaronο “*Chamaleon*”: un esempio chiave di come tracciare informazioni spazialmente situate con un dispositivo portatile;
- Nel 2001 l'ingegnere Vassilios Vlahakis ed altri svilupparono “*Archeoguide*” che è un sistema per il turismo e l'educazione. Archeoguide fu costruito attorno al sito storico di Olimpia, in Grecia, ed era composto da un'interfaccia per la navigazione, modelli 3D di antichi templi e statue e *avatar* che competevano in una corsa;
- Nel 2004 veniva presentato da Mathias Möhring, professore dell'università di Bauhaus, il primo sistema per il tracciamento di marchi 3D sui cellulari. Questo lavoro mostrò il primo sistema di realtà aumentata per i telefoni di consumo;
- Nel 2006 l'azienda Nokia iniziò il progetto “*Mobile Augmented Reality Applications*” (MARA) che consisteva in una ricerca sperimentale in cui si cercava di creare un'applicazione AR di assistenza, usando i sensori multifunzione dei cellulari. L'applicazione prototipo si sovrapponeva ad un continuo flusso di immagini catturate dall'obiettivo di una videocamera, commentando in tempo reale ciò che circondava l'utente.

2.2 Progettazione e sviluppo di un'applicazione AR

In seguito, verranno trattate le principali architetture e modalità di sviluppo di applicazioni di realtà aumentata, soffermandosi in particolare sui *framework* *Vuforia*, *ARToolKit*, *ARCore*, *ARKit*.

Un'applicazione di realtà aumentata per funzionare ha bisogno che ad ogni incremento temporale avvengano i seguenti due passi [5]:

- L'applicazione deve determinare lo stato corrente del mondo reale e di quello virtuale;
- L'applicazione deve visualizzare il mondo virtuale allineandolo con il mondo reale, affinché l'utente possa percepire gli elementi del mondo virtuale come se fossero parte del mondo reale. In seguito, si ritorna al punto uno e si prosegue con un nuovo incremento temporale.

2.2.1 Componenti hardware richiesti

Per supportare i due passi precedentemente citati sono richiesti tre principali componenti hardware: sensori, processore e *display*.

Sensori

Servono a determinare in tempo reale lo stato del mondo fisico in modo tale da permettere una risposta corretta dell'applicazione di realtà aumentata. Vi sono tre principali categorie di sensori impiegati nei sistemi di AR.

- Sensori usati per il **tracciamento**:

Dato che i sistemi di realtà aumentata devono essere spazialmente registrati, vi devono essere dei meccanismi per determinare le informazioni riguardanti la posizione dell'utente, il mondo reale e altri dispositivi AR. Per "posizione" si intende sia il luogo sia l'orientamento e per essere in grado di determinarla abbiamo bisogno di identificare i sei gradi di libertà (X, Y, Z, imbardata, inclinazione, rotazione) dell'entità tracciata. Alcuni esempi di questi sensori possono essere: il giroscopio, l'accelerometro, la bussola, il GPS e la fotocamera. Ciascuno permette di individuare delle determinate componenti e quindi di eseguire specifiche operazioni e combinando le informazioni di più sensori si può ottenere l'esatta posizione dell'utente;

- Sensori per la raccolta di **informazioni sull'ambiente**:

Sono sensori "passivi" ovvero non richiedono l'interazione dell'utente per essere attivati e raccolgono continuamente informazioni sull'ambiente circostante. Per esempio, i sensori di umidità, temperatura ed altri possono essere utilizzati per fornire informazioni sul meteo ad un'applicazione di AR;

- Sensori per la raccolta degli **input dell'utente**:

A differenza dei precedenti sensori questi sono "attivi" e dunque richiedono l'intervento dell'utente per essere attivati. Tra i più comuni di questa categoria troviamo la tastiera, i bottoni, il *touchscreen* ed altri. Questi vengono principalmente impiegati quando l'utente vuole iniziare l'esperienza di realtà aumentata e quando gli è concesso di fare una scelta sul come procedere con l'esperienza. In realtà anche la videocamera può essere utilizzata come un sensore di input se il sistema possiede un riconoscimento dei gesti per interpretare i comandi dell'utente.

Processore

Si tratta del “cervello” di ogni sistema di AR e il suo compito principale è quello di ricevere informazioni dai sensori, eseguire le istruzioni dell’applicazione AR su questi dati e creare l’*output* da visualizzare sul *display*. Tanto è vero che ogni sistema di AR include un computer di qualche tipo, che però deve avere una potenza computazionale tale da riuscire a svolgere qualsiasi compito in tempo reale. In particolare, ogni qual volta un’interazione dell’utente comporta il ricaricamento della scena, questo deve avvenire in maniera fluida e senza ritardi (minimo 15 fps), in modo da non rovinare l’esperienza dell’utente.

Display

Il *display* deve essere “adatto” per creare un’impressione di coesistenza del mondo reale e quello virtuale al fine di incidere sui sensi dell’utente, in modo che possa percepirli come un’esperienza unica. I *display* possono essere principalmente categorizzati in base a quale organo sensoriale stimolano. I più comuni sono quelli che riproducono segnali video e audio, però vi sono anche *display* per l’olfatto, il gusto e il tatto.

2.2.2 Software impiegati

Nello sviluppo di un sistema di realtà aumentata servono almeno tre tipologie di *software*:

- *Software* per creare l’applicazione;
- *Software* per creare il contenuto 2D-3D dell’applicazione;
- *Software* coinvolti direttamente nell’applicazione.

2.2.3 Software interni all’applicazione

Per garantire il corretto funzionamento dell’applicazione si utilizzano i seguenti *software* [5]:

- Acquisizione dati dei sensori;
- *Application engine*;
- Software per il *rendering*.

I *software* che acquisiscono i dati provenienti dall'ambiente esterno, comunicano direttamente con i sensori come ad esempio il sensore GPS, la fotocamera, il microfono etc. Il loro compito è quello di acquisire dati grezzi dal mondo reale e rielaborarli in digitali, permettendo così al resto del sistema di farne uso.

Un altro utilizzo di questo tipo di applicazione è registrare un'operazione di *input* da parte dell'utente, come ad esempio un comando vocale o la pressione di un pulsante.

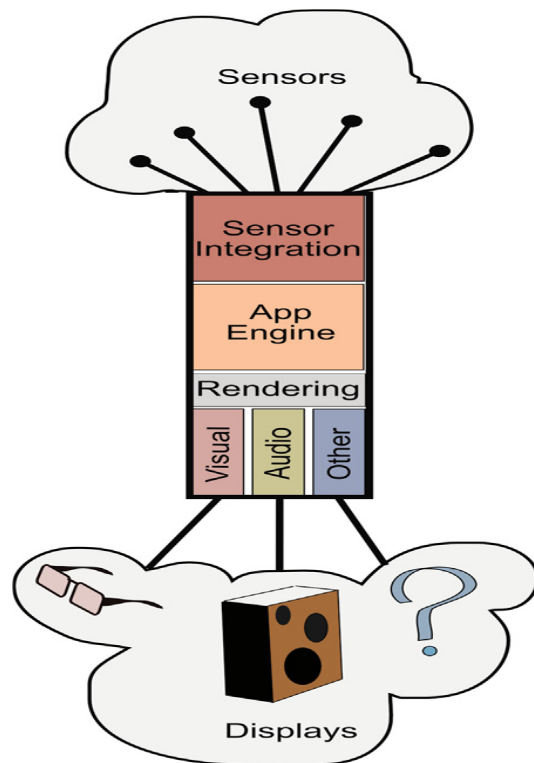


Figura 2.3: Diagramma del legame tra i componenti principali di un sistema AR [5].

Come si può notare dalla Figura 2.3 i dati generati vengono passati al cuore dell'applicazione AR, l'*application engine*, con il quale interagiscono anche gli utenti. Il suo compito è quello di elaborare i dati acquisiti dai sensori e ritrasmetterli alle interfacce di *output*, come ad esempio i *display*. In aggiunta, questa applicazione ha il compito di definire come avvengono le interazioni tra il mondo reale e quello virtuale e ciò che deve accadere nel mondo aumentato. Si può prendere in considerazione un oggetto del mondo virtuale, come una pallina, l'*application engine* è responsabile della reazione dell'oggetto a seguito di un'iterazione con l'utente.

Come possiamo vedere dalla Figura 2.4 l'*engine* lavora eseguendo un ciclo continuo similmente come accade nei *game engine*, per garantire una migliore *User Experience* la durata di questo ciclo deve essere limitata.

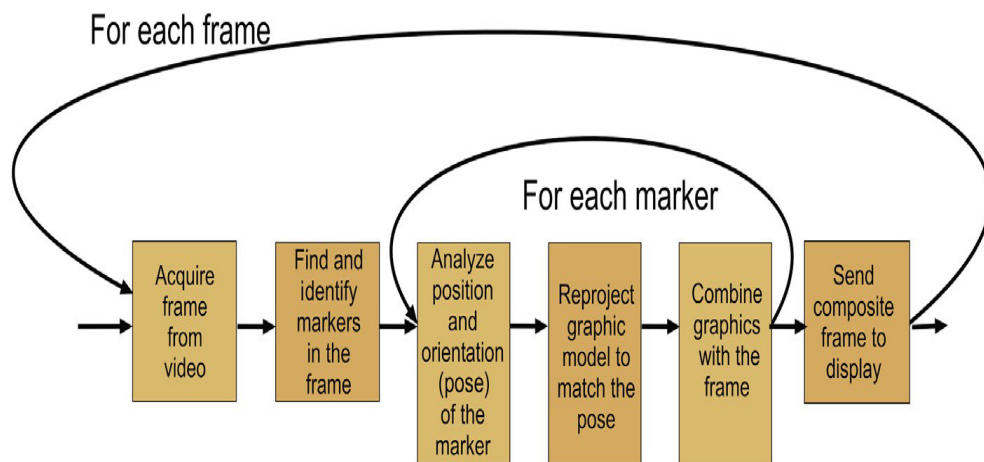


Figura 2.4: Ciclo di lavoro di un application engine [5].

La fase di *rendering* e la visualizzazione degli elementi aumentati vengono gestite da *software* specializzati o driver direttamente in comunicazione con le interfacce di *output* che possono essere tattili, visuali, sensori e in rari casi olfattive.

Esistono diverse librerie, gratuite o a pagamento, che mettono a disposizione questi componenti, ciascuna possiede determinate limitazioni prestazionali in quanto funziona solo con alcune applicazioni ed è in grado di interfacciarsi con determinati linguaggi.

2.3 Framework di sviluppo applicazioni AR

Per rendere l'implementazione delle applicazioni di realtà aumentata più semplice si può ricorrere all'utilizzo di *framework*. Questi permettono agli sviluppatori di concentrarsi sulle funzionalità di alto livello dell'applicazione svolgendo i *task* di basso livello autonomamente e mettendo a disposizione un insieme di strumenti come SDK, API e librerie.

In seguito, verranno trattati alcuni tra i *framework* più diffusi al giorno d'oggi come *Vuforia*, *ARToolKit*, *ARCore* e *Metaio* che è stata una delle prime aziende ad aver creato un'applicazione AR

2.3.1 Metaio

L'azienda tedesca Metaio fondata nel 2003 da Peter Meier e Thomas Alt iniziò fin da subito ad occuparsi di *Augmented Reality* e nel 2005 arrivò a lanciare KPS *click&design*, la sua prima applicazione.

Questa applicazione poteva essere considerata una tipologia di Realtà Aumentata, poiché era in grado di collocare degli oggetti in una stanza fotografata precedentemente, ma ciò non avveniva in tempo reale. Da quel momento l'azienda è riuscita a progredire molto rapidamente fino ad arrivare a rilasciare un *chipset* caratteristico per la tecnologia AR, tanto da riuscire a migliorare ulteriormente l'utilizzo.

L'azienda è diventata uno delle strutture più importati ed esaurienti nel settore, grazie anche all'interoperabilità con sistemi operativi come *Windows*, *Android* ed *iOS*. Sul mercato esiste una versione gratuita ed una a pagamento, sia di *Metaio Sdk* (solo per sviluppatori) e *Metaio Creator* (per non sviluppatori). All'interno di questi applicativi si utilizza un linguaggio di *scripting* chiamato *AREL*, che si fonda su tecnologie web come *XML*, *HTML5* e *JavaScript*.

2.3.2 Funzionalità

Metaio utilizza dei punti di riferimento o *marker* come le posizioni geografiche, codici visuali (*QR Code*, *Picture Marker*, *ID Marker* e *LLA Marker*), elementi grafici dell'ambiente e mapper di punti 3D che si servono della tecnologia *SLAM*, la quale a sua volta fa uso dell'applicazione *Toolbox*. La rappresentazione 3D dell'ambiente preso in considerazione viene creato dalla tecnologia *SLAM* (*Simultaneous Localization and Mapping*) che permette di individuare la posizione esatta della videocamera.

Inoltre, Metaio fornisce uno strumento denominato *Toolbox* che consente di elaborare e modificare mappe 3D di tracciamento, partendo da una scansione dello spazio focalizzato dalla camera e da dei punti che lo definiscono. Se si utilizzano immagini come *marker* queste devono avere un'alta risoluzione, luminosità differenti e contrasti evidenti. Dopo aver riconosciuto il *marker* o il punto di riferimento, Metaio permette di visualizzare oggetti 3D, immagini, video, *Url web*. In aggiunta, consente di programmare determinate reazioni (animazioni, *texture*, video) ad eventi come *click*, *drag and drop*, rotazione. I contenuti che si possono creare sono modelli tridimensionali in formato OBJ, MD2 e FBX, filmati MPEG4 ed immagini jpg, png e bmp. Per quanto riguarda i modelli 3D nella fase di rendering si possono regolare ombre e luminosità. Infine, una volta terminata la parte di sviluppo, Metaio permette di pubblicare l'applicazione sia in modalità *online* che *offline*.

2.3.3 Vuforia

Vuforia si definisce “*a software platform that allows you to see*” cioè una piattaforma software che permette alle applicazioni di vedere.

Il Vuforia *engine*, sviluppato da *Qualcomm*, è la piattaforma più diffusa oggi per lo sviluppo di applicazioni AR in vari campi come quello degli smartphone, dei tablet e dell'*eyewear*. Inoltre, permette agli sviluppatori di aggiungere funzionalità avanzate di visione artificiale ad applicazioni *Android*, *iOS* e *UWP* per creare esperienze di realtà aumentata che interagiscono realmente con oggetti dell'ambiente.

2.3.4 Funzionalità

Grazie all'utilizzo della tecnologia *Computer Vision Vuforia* è in grado di riconoscere e tracciare le immagini target ed oggetti 3D, visti da una fotocamera, in tempo reale. Le immagini registrate vengono memorizzate in un database sul *cloud* associato al servizio. In seguito, l'oggetto virtuale determina in tempo reale la propria posizione e l'orientamento all'interno dell'immagine in modo tale che la prospettiva vista sull'oggetto corrisponda con quella sull'immagine *target*. Infine, Vuforia offre la possibilità di sfruttare un *markerless image targets*, una forma indirizzabile di *marker* fiduciario e configurazioni 3D *multi-target* [20].

Caratteristiche

- ***Extended tracking***: il motore di tracciamento che riconosce immagini reali e tridimensionali e quindi non limitato ai soli *markers*;
- ***Cloud storage***: possibilità di salvare le immagini in un *database Cloud* risparmiando spazi nella memoria locale;
- ***Cylinder Targets***: loghi, foto ecc. applicati su una superficie cilindrica e oggetti conici;
- ***Smart Terrain***: fornisce agli sviluppatori la possibilità di interagire con le superfici e gli oggetti presenti nell'ambiente;
- ***Frame markers***: particolare tipo di immagini 2D che possono essere usate come giochi.

2.3.5 ARToolKit

Le *ARToolKit* sono librerie *Open Source* sviluppate da Dr. Hirokazu Kato dell'università di Osaka in Giappone nel 1999. Vennero rilasciate soltanto dopo

il supporto e contributo dell'HIT Lab dell'università di Washington e dal HIT Lab NZ dell'università di Canterbury in Nuova Zelanda. Dopo il rilascio della prima versione nel 2001 gli istituti accademici iniziarono ad utilizzare le librerie di *ARToolKit* come base sia per l'insegnamento che per la ricerca. La svolta arriva nel 2004 quando *ARToolKit* viene spostato sul sito HITLab inserendosi così anche nel settore pubblico e delle imprese, permettendo così anche ad altre società di sviluppare applicazioni di realtà aumentata. Negli anni successivi vengono apportate interessanti innovazioni al pacchetto come la possibilità di sviluppare applicazioni utilizzando *Java* e *C#* e in seguito anche lo sviluppo di app per *Android* [20].

Funzionalità

Nella fase iniziale *ARToolKit* esegue una calibrazione dei parametri della camera, per fare ciò vengono utilizzati due applicativi specifici. Il primo, chiamato *one step*, viene solitamente usato in applicazioni che hanno come obiettivo principale quello di sovrapporre degli oggetti virtuali ai *marker*. D'altro canto, il secondo, denominato *two steps*, risulta essere più complicato poiché fornisce una stima più precisa dei parametri viene solitamente utilizzato per applicazioni di misura.

Per determinare la posizione della camera si esegue un'estrazione di primitive geometriche per far sì che i punti 2D estratti dall'immagine coincidano con i punti 3D dell'oggetto.

In seguito, vengono aggiunti dei *marker* alla scena in modo tale da fornire misure affidabili e di semplice estrazione per la fase di registrazione. Anche qui vi sono due tipi di *marker* utilizzati: il primo chiamato *point fiducial* fornisce un punto di corrispondenza tra l'immagine e la scena. Mentre il secondo detto *planar fiducial* fornisce tutti i sei vincoli spaziali necessari a definire un sistema di coordinate.

Infine, il processo di *tracking* che ha il compito sovrapporre al mondo reale quello virtuale è reso possibile grazie alle operazioni precedentemente definite. Anche questo è composto da più fasi che sono:

- Caricamento del videoframe contenente il *marker*;
- Calcolo della posizione della camera e l'orientamento dei *marker*;
- Confronto delle immagini che contengono i *marker* con le immagini target caricate nel programma;
- Sovrapposizione degli oggetti reali presenti nel flusso di immagini provenienti dalla camera con quelli virtuali;
- Proiezione della scena aumentata nel *display*.

Caratteristiche

- Interfaccia iniziale GUI;
- Libreria grafica basata su GLUT (si tratta di una libreria che semplifica l'accesso alle funzionalità di OpenGL);
- Supporto al linguaggio di programmazione VRML (per modelli 3D e animazioni);
- Utilizzo di OpenGL per la parte di *rendering*.

2.3.6 ARCore

Il framework di *Google ARCore* è stato introdotto alcuni mesi dopo il lancio di *ARKit*, l'API per la realtà aumentata sviluppata da *Apple*, come reazione allo sviluppo della tecnologia AR da parte di *Apple*. Con questa mossa strategica di *Google* si può dire che è cominciata una nuova guerra sulla realtà aumentata in questo mercato.

Basato sul progetto *Tango*, che era strettamente legato all'utilizzo di fotocamere specializzate limitandone così la compatibilità, con lo sviluppo di *ARCore Google* elimina questa limitazione permettendo così di estendere la compatibilità a un numero maggiore di dispositivi. Inoltre, tramite l'impiego di alcune API questa estensione di compatibilità consente di creare esperienze di realtà aumentata condivise. Infine, grazie all'impiego di diverse API la piattaforma consente ai dispositivi di percepire l'ambiente circostante, capire il mondo reale ed interagire con le informazioni.

Non tutti i dispositivi *Android* sono supportati da *ARCore*. Essi devono infatti passare attraverso un processo di certificazione ai fini di mantenere una certa qualità nell'esperienza di realtà aumentata. Per ottenere tale certificazione il dispositivo deve essere dotato di determinati sensori. Questi devono essere in grado di rilevare in maniera accurata i movimenti, l'orientamento del dispositivo e la sua posizione geografica (GPS). Inoltre, devono possedere anche una camera di buona qualità ed una CPU dotata di potere computazionale sufficiente ad elaborare le immagini in tempo reale.

In ambito *Android* è necessario che il sistema operativo sia aggiornato alla versione 7.0 o superiore o, in alternativa, un dispositivo *iOS* che supporti *ARKit*.

Funzionalità

Fondamentalmente *ARCore*¹ svolge due funzioni principali: traccia la posizione del dispositivo mentre si muove e cerca di costruire una propria interpretazione del mondo reale.

Per quanto riguarda la prima questa è gestita da COM (*concurrent odometry and mapping*), si tratta di un processo che è in grado di rilevare dall'immagine registrata dei *cluster* di punti distinti chiamati *feature points*. Questi vengono forniti poi all'applicazione come superfici piane, computandoli si può rilevare un cambio di posizione. In seguito, l'informazione visuale è combinata con misurazioni interne fornite dall'IMU del dispositivo per stimare la pose, ovvero la posizione e l'orientamento della camera rispetto al mondo nel tempo. Inoltre *ARCore* permette di determinare la quantità di luce circostante all'ambiente di esecuzione permettendo così di regolare i colori e la luminosità degli oggetti virtuali in modo da aumentare la sensazione di realismo. Infine, allineando la pose della camera virtuale, che realizza il *rendering* dell'immagine tridimensionale, con le pose della camera del dispositivo fornita da *ARCore*, consente agli sviluppatori di effettuare il *rendering* del contenuto virtuale da una prospettiva corretta. L'immagine virtuale così prodotta può essere sovrapposta a quella ottenuta dalla camera del dispositivo facendola sembrare parte del mondo reale.

Il grande vantaggio di questo approccio di tracciamento in tempo reale è la possibilità di potersi muovere nell'ambiente circostante e poter vedere gli oggetti virtuali da qualsiasi angolo. In aggiunta, si possono utilizzare delle ancore che permettono di associare un oggetto virtuale a specifici *feature points*. In questo modo se ci si allontana da un luogo, la posizione dell'oggetto virtuale viene memorizzata dal dispositivo ed una volta che si ritorna in quel luogo sarà di nuovo visibile.

Al contrario, una limitazione di questo approccio si manifesta quando si incontrano superfici piane monocromatiche come ad esempio una parete bianca, in questo caso *ARCore* potrebbe non essere in grado di rilevare i *feature points* in maniera corretta.

Un altro aspetto degno di nota è la possibilità di fissare delle ancore e di salvarle sul *cloud*, facendo così si rende possibile la condivisione di quest'ultime con altri dispositivi presenti nello stesso ambiente, dando così la possibilità, a diversi utenti, di vivere la stessa esperienza di realtà aumentata contemporaneamente.

¹<https://developers.google.com/ar/discover/concepts>

2.3.7 ARKit

La piattaforma *ARKit*², progettata da *Apple*, può essere considerata l'equivalente di *ARCore*, ma pensata per i dispositivi con un sistema *iOS*. Essa combina differenti tecnologie ed algoritmi come: il tracciamento del movimento, la cattura della scena da parte della camera e la sua elaborazione per permettere allo sviluppatore di creare un'esperienza di realtà aumentata.

ARKit è stato introdotto insieme ad *iOS 11* ed è progettato per essere eseguito su dispositivi con almeno un *Core A9*, in modo tale da rendere l'esperienza AR più nitida e dettagliata permettendo così una migliore consapevolezza dell'ambiente circostante. Con l'*iPhone X*, *ARKit* è in grado di eseguire una scansione in tempo reale del viso e utilizzare questi dati per creare espressioni facciali 3D (*emoji*).

Per quanto riguarda il funzionamento questo è uguale a quello di *ARCore*.

2.4 Esempi di applicazioni di realtà aumentata

Per rappresentare e comprendere al meglio com'è strutturata e come funziona un'applicazione AR, è necessario studiare alcuni casi per cui verranno mostrati due esempi degni di nota. [5] [21].

2.4.1 Ambito scolastico

“*The Ethnobotany Workbook*” è un libro scritto dai membri dell'Università del Nebraska, il cui scopo inizialmente era quello di dare informazioni sulla flora dell'area interessata. Il libro veniva utilizzato come una semplice guida per indirizzare i giovani studenti nel riconoscimento di piante, così come nell'apprenderne la nomenclatura originale e come erano impiegate in passato. In seguito, da un semplice e normale libro scritto, è stato convertito in un “*magic book*” visibile nella Figura 2.5 in grado di visualizzare il modello virtuale della vegetazione del luogo.

²<https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>

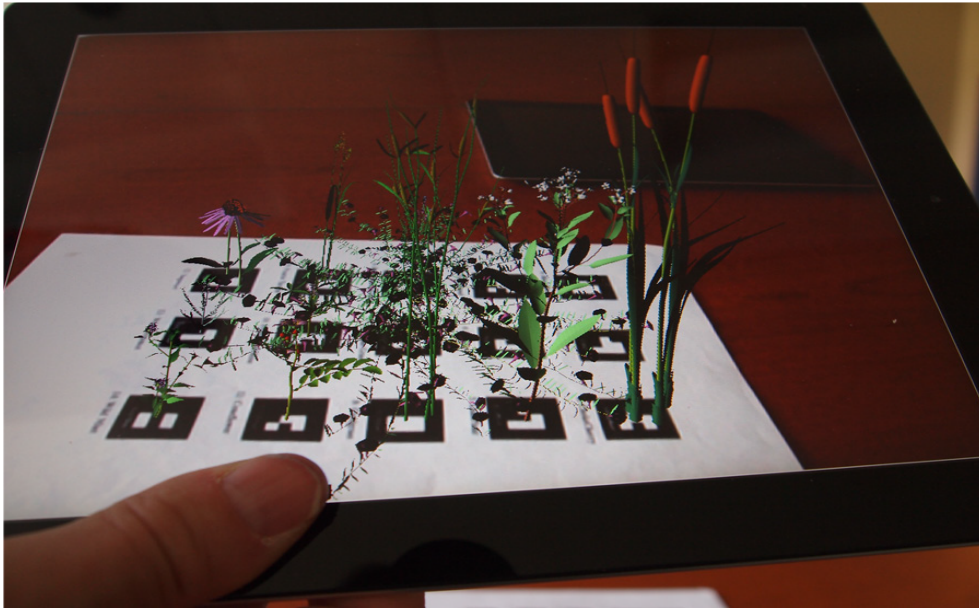


Figura 2.5: Visualizzazione di un modello 3D di una pianta tramite il marker [5].

Questo è possibile grazie all'intervento di un artista che creò alcuni modelli 3D di piante, ai quali vennero associati dei *marker* in bianco e nero.

L'applicazione AR venne ben accolta e gli studenti trovarono l'esperienza educativa e piacevole, poiché grazie all'esperienza interattiva avevano un contatto diretto ed immediato con la vegetazione presa in esame.

Questa applicazione può essere impiegata in altri campi sfruttando la sua flessibilità che consiste nel variare l'associazione tra il contenuto e i *marker*. Per questo motivo è possibile grazie a questa architettura mostrare con semplicità anche i modelli 3D di opere artistiche appartenenti ad un libro di storia dell'arte.

2.4.2 Ambito medico

L'app di anatomia creata da Daqri è un esempio lampante di come un'applicazione di realtà aumentata sia utile e garantisca un'esperienza interattiva ed educativa. Tramite questa applicazione l'utente è in grado di vedere rappresentato in scala un corpo umano virtuale attraverso il *marker*, per poi selezionare alcuni parametri utilizzando dei comandi presenti sul dispositivo (Figura 2.6).

Grazie ad uno *slider* da una parte l'utente è in grado di visualizzare l'opacità della pelle e degli organi interni, dall'altra attraverso dei bottoni virtuali può scegliere quali apparati e sistemi visionare.

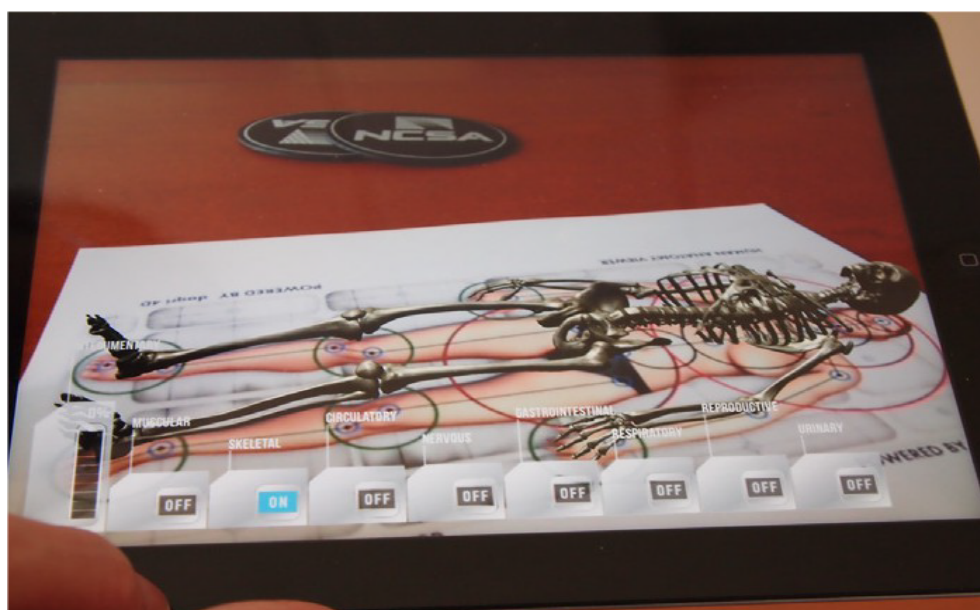


Figura 2.6: Esempio di visualizzazione dell'applicazione di anatomia Daqri [5].

In futuro, se quest'applicazione migliorerà la verosimiglianza con il mondo reale, potrà avere una gran crescita e successo, tanto da permettere lo svolgimento di vere e proprie operazioni virtuali. Inoltre, l'unione di questa tecnologia con quella *Eyewear* permetterà agli studenti in ambito medico di avere gli arti superiori liberi in modo da dissezionare liberamente cadaveri di animali ed esseri umani.

2.4.3 Supporto attività

Con la combinazione di realtà aumentata e la *computer graphics* in tempo reale è possibile registrare una sequenza di passi guidati per aiutare l'addetto alla manutenzione a svolgere il proprio lavoro. In alternativa, tramite l'impiego di un sistema di video *streaming*, un tecnico specializzato può guidare l'operazione da remoto indicando al manutentore le operazioni da eseguire sfruttando la tecnologia AR per dare delle indicazioni specifiche. Questo approccio consente di migliorare in maniera significativa i tempi di manutenzione di macchinari di grandi dimensioni sia in fase di allenamento che in veri interventi. Infatti, una delle prime applicazioni di realtà aumentata è stata progettata per supportare le riparazioni di una fotocopiatrice.

Un esempio di tale applicazione è l'app *I-Mechanic* di *Inglobe Technologies*, che grazie ad un *software* di tracciamento 3D basato su *computer vision*, permette all'utente di accedere alle informazioni necessarie per eseguire la manutenzione sul proprio veicolo.

2.4.4 Pubblicità e marketing

La prima ondata di oggetti di *marketing* aumentato sono state le pubblicità nelle varie riviste che utilizzavano i QR code (*Quick Response Code*) per mostrare dei semplici caratteri o oggetti codificati all'interno. Successivamente anche le grandi aziende come *Coca-Cola* utilizzò la tecnologia AR per scopi di *marketing* introducendo la propria applicazione magica creata da Arloopa. Questa permetteva all'utente attraverso la selezione di specifici *marker* di avere un delle seguenti tre opzioni:

- Scoprire la sorpresa nelle bottiglie natalizie di Coca-Cola;
- Esplorare la stazione di autobus brandizzata della città;
- Trovare il messaggio di Babbo Natale dietro appositi segni nei centri commerciali.

La compagnia sud coreana Letsee ha sviluppato un'applicazione di AR che attraverso l'utilizzo di uno *smartphone* permette di scansionare un prodotto per ottenere un'istantanea recensione.

2.4.5 Arte

I musei e le gallerie d'arte hanno condotto esperimenti con la realtà aumentata sin dall'anno 2010, per cercare di migliorare le loro esibizioni, combinando ciò che era presente nelle loro gallerie con immagini del *cloud* che i visitatori potevano vedere attraverso i loro dispositivi mobili.

Un'applicazione brillante in questo ambito è stata MOSA (*Museum or Stolen Art*) in Hertogenbosh nel sud dell'Olanda. Questa applicazione aveva lo scopo di mostrare ai visitatori le opere d'arte perdute o rubate.

Nel 2015 un gruppo di studenti progettarono NO AD, un progetto di realtà aumentata che aveva lo scopo di ricoprire la stazione metropolitana di New York di poster, pubblicità, opere artistiche. Disegnata e curata da RJ Rushmore di Vandalog, si componeva di 39 opere artistiche GIF di 13 artisti, aveva lo scopo di mostrare di mostrare come sarebbe stato il mondo una volta che gli *head-up displays* sarebbero diventati più diffusi.

2.4.6 Intrattenimento

Fra tutti i giochi di AR per *smartphone* che sono stati sviluppati negli ultimi anni nessuno ha riscosso lo stesso successo di *Pokemon Go* dalla Nintendo. Si tratta di un gioco *free to play*, che sfrutta la tecnologia *AR location based*, sviluppato dalla Niantic per *iOS* e *Android*. Nel suo primo rilascio che risale

a luglio del 2016, i *download* superarono rapidamente i 75 milioni nonostante fossero possibili soltanto in determinati paesi. Il gioco consisteva nella libera esplorazione del mondo reale alla ricerca dei *pokemon*, una volta trovati potevano essere catturati lanciandogli contro una *Pokè Ball* (cliccandovi sopra e lanciandola verso il *Pokemon*). Nonostante il gioco in sé non era una vera rappresentazione di un modello di realtà aumentata ha dato un gran contributo a far comprendere e vivere un'esperienza di realtà aumentata a milioni di persone nel mondo

Capitolo 3

Eyewear Computing

Nei capitoli precedenti sono stati analizzati gli aspetti più rilevanti dei dispositivi indossabili e della Realtà Aumentata.

In questo capitolo verrà posta l'attenzione sui dispositivi *Eyewear* che a loro volta sono dei dispositivi *wearable* ed hanno tutti i requisiti tecnici per poter utilizzare la tecnologia AR o VR.

Si comincerà con una breve introduzione relativa a questo genere di dispositivi, facendo riferimento al loro utilizzo odierno. In seguito, verranno illustrate le loro principali caratteristiche tecniche, le componenti *HW* e *software*.

Per concludere la trattazione verranno analizzati i principali modelli di *smartglasses* attualmente in commercio.

3.1 Eyewear computing come tecnologia abilitante per l'AR

È possibile individuare numerose e diverse tecnologie da predisporre in sistemi di Realtà Aumentata.

Si può considerare un computer con una *webcam*, un *tablet*, un cellulare o dei dispositivi *wearable* con sensori avanzati e moderni. Il sistema di Realtà Aumentata può comportare la scelta di tecnologie diverse in base alle richieste e necessità da soddisfare. Attualmente nel mercato sono accessibili due diverse tipologie di dispositivi HMD come i “*video seeth-through*” e l’“*optical seethrough*”.

Questi dispositivi presentano numerosi vantaggi in quanto indossabili, forniscono una sensazione di immersione nel sistema di Realtà Aumentata senza l'uso degli arti superiori.

Un esempio di HMD può essere considerato il visore ottico *see-through* come in Figura 3.1, poiché necessita di un divisore di fascio ottico, contenente

uno specchio traslucido, il quale da una parte trasmette la luce in una direzione, dall'altra è in grado di rifletterla nel senso opposto.

Attraverso una lente si può osservare come l'immagine virtuale combacia con l'immagine reale.

I divisori di fascio ottico presentano delle analogie con gli *Head-Up Display* utilizzati dai piloti militari.

Una particolarità dei combinatori ottici è quella di ridurre del 70% l'intensità della luce della scena reale e attraverso quest'ultimi si percepisce solo il 30% circa della luce reale.

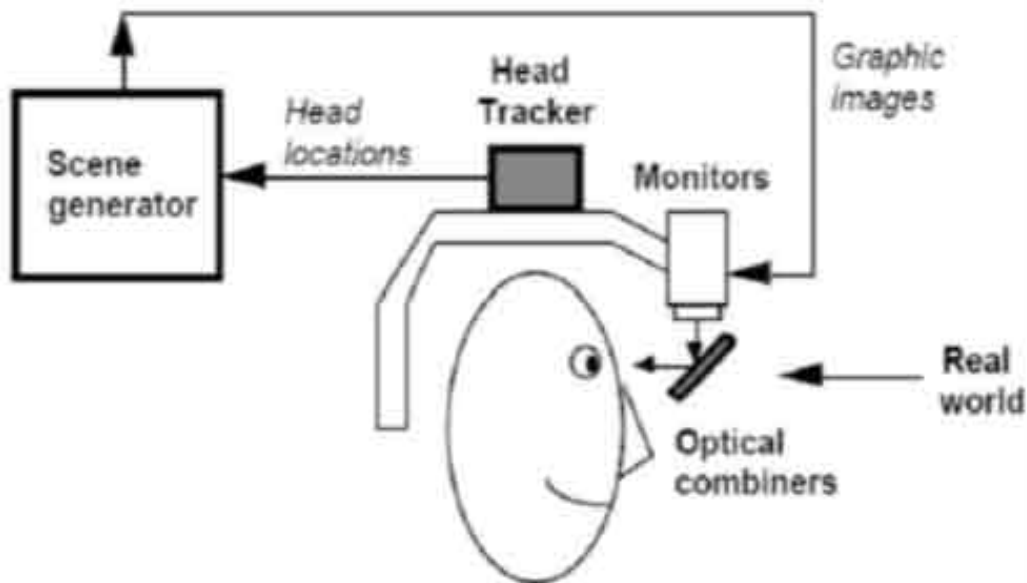


Figura 3.1: Funzionamento di un dispositivo HMD Optical See-Through [3].

A differenza dei visori *optical see-through*, quelli *video see-through* visibile nella Figura 3.2 usano due telecamere, una per ciascun occhio, per acquisire l'immagine reale che poi verrà rielaborata da un sistema computerizzato, fondendola con immagini di sintesi e poi visualizzata dall'utente tramite due *display* del HMD. Questa opzione fa sì che si possano compiere degli effetti visivi più articolati, ma avendo un elemento distinto rispetto al visore ottico *see-through*, che impone un piano di messa a fuoco continuo per tutta la visuale, rendendo il sistema poco agevole. L'immagine di *input* raffigurante il mondo reale viene combinata elettronicamente con l'immagine virtuale e rappresentata sul *display* LCD del dispositivo. Si può affermare che le due tecnologie prese in considerazione, presentano sia pregi sia difetti, per questa ragione la scelta tra una di queste è condizionata dal campo di utilizzo.

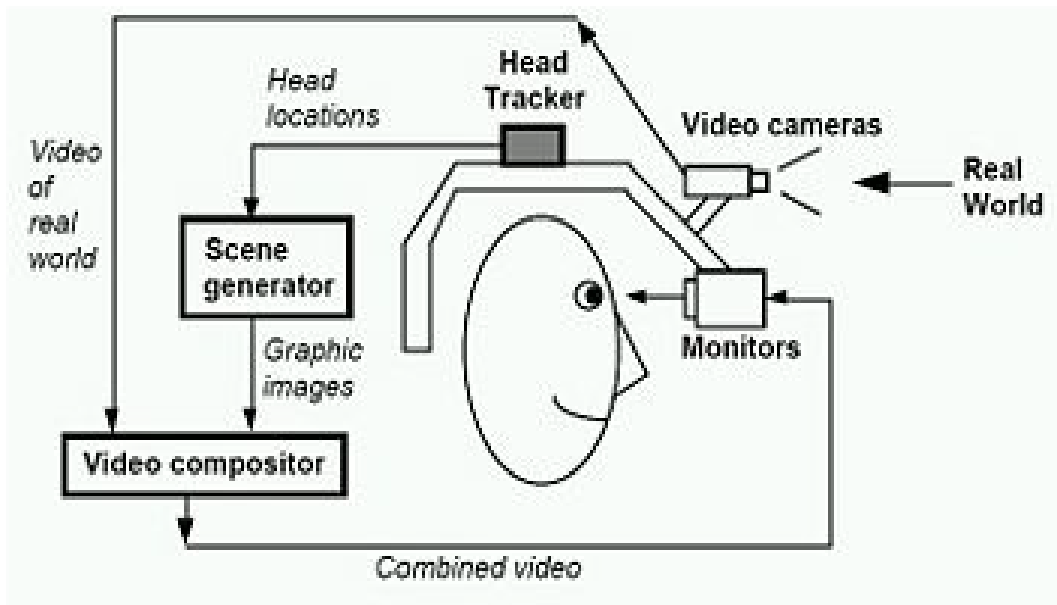


Figura 3.2: Funzionamento di un dispositivo HMD Video See-Through [3].

Nei sistemi di Realtà Aumentata di utilizzo quotidiano vengono impiegati alcuni sistemi ottici, mentre nelle applicazioni mediche i sistemi video per la loro capacità nel combinare l'immagine reale e virtuale.

3.2 Eyewear devices nella quotidianità

Con il termine *Eyewear Computing* si delineano tutte le tecnologie informatiche create per interagire con la vista del singolo utente, sia attivamente che passivamente.

Attivamente l'utente interagisce col dispositivo in maniera intenzionale, mentre passivamente l'utente è soggetto alle azioni prodotte dal dispositivo.

Nell'approccio attivo, l'utente necessita di un dispositivo di *output* che gli fornisca informazioni e gli permetta di compiere una selezione.

Al contrario, un esempio di approccio passivo, è il dispositivo che monitora la frequenza del battito cardiaco, notificando l'utente in caso di anomalia.

Un *eyewear device* potrebbe essere definito come una sottocategoria dei dispositivi *Wearable*, contraddistinguendosi per l'immediatezza nel mostrare informazioni. Forniscono un sistema *hands-free*, permettendo all'utente di compiere qualsiasi attività non utilizzando gli arti superiori, in modo che la sua attenzione non venga distolta dall'azione in via di svolgimento.

È possibile quindi parlare di Realtà Aumentata, poiché coincidendo la realtà fisica con quella virtuale, si consente di non estrapolare l'utente dal contesto reale.

Grazie all'odierno sviluppo tecnologico, è avvenuto un progresso per quanto riguarda i *microchip*, sensori e diverse applicazioni per *smartphone* e dispositivi *wearable*. Tant'è vero che stanno iniziando a emergere nuovi mercati anche nel campo dell'*eyewear*.

È possibile fornire una breve classificazione di tali dispositivi in base ai possibili impieghi e al loro settore di mercato [22]:

- **Connected glasses:** è la tipologia meno costosa e più semplice tra i dispositivi *eyewear*. Solitamente, questi dispositivi non hanno il *display*, ma integrano uno o più LED che possono usare come sostituto a quest'ultimo. Inoltre, possono integrare una videocamera o degli *speaker*; possono connettersi ad altri dispositivi come ad esempio uno *smartphone* tramite Wi-Fi e/o Bluetooth, per segnalare eventuali notifiche. Un valido esempio di dispositivo appartenente a questa categoria sono gli *Smart Glasses Vue*¹;
- **Smart glasses:** questi dispositivi possiedono un display di dimensioni contenute che può essere *see-through* oppure occlusivo. Inoltre, possono incorporare correttori ottici, il quale non deve essere parte delle lenti stesse, ma deve essere collocato tra la lente e il mondo reale. Insieme ai VR questo tipo di tecnologia è la più diffusa al momento. Un esempio di *Smart Glasses* possono essere i Vuzix M400²;
- **Smart Eyewear:** il display ottico utilizzato in questi dispositivi è situato direttamente nei lenti. Infatti, gli *Smart Eyewear* sono considerati un miglioramento dei *Smart Glasses* e presentano analogamente agli occhiali da vista lo stesso aspetto e comodità;
- **Gaming VR devices:** già a partire dagli anni '90, la produzione e la progettazione di dispositivi in grado di generare una realtà virtuale, nella quale l'utente si "immedesima" era in atto. Generalmente, i visori VR, adottano soluzioni binoculari, per far sì che avvenga un'esperienza 3D stereoscopica;
- **Ar headsets for consumer and enterprise:** all'interno di questo gruppo possiamo considerare tutti quei dispositivi utilizzati per migliorare la performance in contesti specifici come quello ingegneristico, *health*

¹<https://www.enjoyvue.com>

²<https://www.vuzix.com/Products>

thcare, logistico, ed altri. Invece che offrire una reale esperienza di realtà Aumentata, permettono di svolgere funzioni legate al dominio di impiego;

- **Defense HMDs**: i dispositivi *Eyewear* possono essere impiegati anche in ambito militare. Normalmente, sono i dispositivi VR, costituiti da un FOV ad essere maggiormente adottati durante gli addestramenti. Al contrario, i dispositivi AR vengono adoperati nelle situazioni conflittuali e di difficoltà.

3.3 Microinteractions

In un noto articolo del 2013 [23], il ricercatore Thad Starner identifica il concetto di micro-interazioni come l'insieme dei gesti pragmatici, ovvero il semplice gesto di guardare l'orologio senza compiere nessuno sforzo, in maniera naturale e in un minimo arco di tempo.

Nell'ambito delle micro-interazioni, gli *smartphones* hanno un potenziale limitato, per cui gli utenti finiscono per rimanere "intrappolati" con lo sguardo abbassato sulla schermata dei loro dispositivi.

La lettura di un messaggio appena arrivato, dovrebbe essere considerata come una micro-interazione, in quanto l'utente è indotto istantaneamente a controllare la propria casella e-mail. A peggiorare la situazione, le interfacce degli smartphones comportano una coordinazione gestuale e visiva, per cui lo sguardo dell'utente finisce per rivolgersi verso il basso.

La canalizzazione dell'attenzione diventa un problema minore, una volta che l'interazione diviene "micro", grazie all'utilizzo di un'interfaccia progettata per far sì che l'utente interagisca in maniera rapida e intuitiva.

Grazie ad un'interfaccia *head-up*, lo sguardo dell'utente si dirige esternamente verso il mondo fisico, evitando una dispersione dell'attenzione.

Rispetto ai dispositivi utilizzati attualmente, le interfacce *Eyewear* permettono e aiutano l'utente a focalizzarsi sul mondo reale, anziché distogliersi da esso.

3.4 Caratteristiche tecniche di un dispositivo eyewear

Il compito principale di un dispositivo *eyewear* è quello di generare output a seguito di una richiesta da parte dell'utente o in maniera passiva in caso di applicazione come l'agent reminder. Per fare ciò il dispositivo deve possedere delle interfacce di *input* per l'interazione, dei sensori per raccogliere informa-

zioni necessarie a soddisfare alcune richieste e infine un *display* dove mostrare il risultato dell'elaborazione.

3.4.1 Display

Negli *smart-glasses*, il *display* è una delle componenti più importanti poiché risulta essere il mezzo attraverso il quale l'utente riceve *output* dal dispositivo.

Esistono diverse tipologie di HMD (*Head Mounted Display*) costituite da quattro elementi principali:

- *Ocularity*;
- Occlusione;
- Risoluzione;
- *Field Of View* (FOV).

Con l'espressione *ocularity* si intendono tre differenti tipologie di visione: monoculare (costituito da un unico *display*), binoculare (tramite due *display* fornisce due immagini distinte, fornendo così una visione stereoscopica) e bioculare (costituito da due *display* che visualizzano la stessa immagine ad entrambi gli occhi).

La Risoluzione permette di evidenziare la fedeltà, in relazione alla realtà, delle immagini prese in considerazione. È evidente che maggiore è il parametro di risoluzione, migliore diventerà la qualità dell'immagine. Per poter garantire un'esperienza confortevole all'occhio umano, i *display* impiegati dovrebbero presentare una risoluzione di 12000x7200 *pixels* con un FOV di 200° 120°, ovvero una densità di 60 *pixels* per grado (*Pixel per Degree*, PPD) [24].

Con il termine Campo visivo FOV (*Field Of View*) si sottintende la dimensione del campo visivo digitale prodotto dal dispositivo. Nelle applicazioni relative al campo della Realtà Aumentata e della realtà Virtuale, la presenza di un campo visivo necessariamente ampio è una delle prime condizioni necessarie, mentre nei sistemi progettati per gli *smart-glasses* è preferibile un FOV minore (inferiore a 25° nella versione monoculare e superiori nelle versioni bioculari e binoculari).

3.4.2 Metodi di input

Nei dispositivi *eyewear* è possibile identificare tre tipologie di metodi di *input*:

- *Touch*;

- *Touchless*;
- *Hands-free*.

La prima tipologia prevede l'utilizzo degli arti superiori per l'interazione con il dispositivo e può essere interna ad esso oppure esterna. Nel primo caso l'interazione avviene attraverso dei pulsanti in modo da riprodurre quelli implementati nei dispositivi con sistema *Android* (ad esempio i tre pulsanti di navigazione *menù-home-back*). Nel secondo caso si può prendere in considerazione un qualsiasi controller esterno come ad esempio le tastiere *Twiddler*.

Anche la seconda tipologia prevede l'utilizzo degli arti superiori, ma senza il bisogno di stabilire un contatto fisico con il dispositivo. Questo è possibile grazie ad un sensore che rileva e analizza le *gesture* (movimenti prestabiliti dagli sviluppatori) dell'utente e le traduce in comandi per il sistema. Gli *smart-glasses Vuzix M100XL* sono un esplicito esempio di dispositivo utilizzante questa feature.

La terza tipologia, al contrario, attraverso tre metodi di *input*: *Voice Recognition*, *Gaze Movement* e *Head Movement* non prevede l'utilizzo degli arti superiori.

Il *Voice Recognition* usa la sintesi vocale per comandare il sistema (come nel caso dell'assistente *Google* o *Siri*), grazie all'impiego di un microfono. Uno svantaggio che presenta questa interazione è la difficoltà di riconoscere i comandi vocali impartiti in un'ambiente sovraffollato e chiassoso.

Il *Gaze Movement* consiste nel fornire dei comandi attraverso il semplice utilizzo dello sguardo e risulta essere particolarmente efficace per gli utenti con disabilità motorie, poiché il movimento degli occhi risulta essere poco dispendioso.

L'*Head Movement* è incentrato sul *tracking* dei movimenti compiuti dalla testa dell'utente. Questo risulta essere possibile grazie all'impiego simultaneo del giroscopio e dell'accelerometro.

3.4.3 Sensori

Gli *smart-glasses* presentano un'ampia gamma di sensori come il sensore GPS, il sensore di luminosità, il sensore di prossimità, l'accelerometro e il giroscopio. Tale dotazione cambia da modello a modello permettendo così di aggiungere o togliere alcuni sensori a seconda dell'utilizzo.

I sensori ad infrarossi impiegati per il *tracking* degli occhi sono un chiaro esempio di tecnologia utilizzata nei contesti *wearable* e non dagli *smartphone*.

3.5 Software di un eyewear device

Come già illustrato nei capitoli precedenti, negli ultimi vent'anni è avvenuto un notevole progresso nell'ambito degli *eyewear*, eppure soltanto adesso si è iniziato a focalizzarsi sullo sviluppo di applicazioni per questa categoria di dispositivi. Nonostante utilizzino lo stesso sistema operativo dei dispositivi come *smart-phone* e *tablet* (*Android*), gli *eyewear* richiedono delle applicazioni che seguono linee guida di *design* e comandi differenti. Nei dispositivi *wearable*, in particolare negli *eyewear*, l'utente diventa il protagonista e il dispositivo passa in secondo piano, svolgendo soltanto il ruolo di intermediario tra la realtà e l'utente. I produttori degli *smart-glasses* nel corso degli ultimi anni hanno delineato delle linee guida di sviluppo, mettendo a disposizione delle librerie relative al determinato utilizzo o impiego del dispositivo. Risulta evidente come la stesura di un *pattern* fisso richiederà ulteriori anni, come era già precedentemente avvenuto per lo sviluppo degli *smart-phone*. In seguito, verranno prese come oggetto di studio i canoni di progettazione degli *smart-glasses*, mettendo in evidenza eventuali vantaggi, possibili svantaggi e le potenziali risoluzioni.

3.5.1 Canoni di progettazione in ambito eyewear

L'utente può riscontrare una differenza tra l'utilizzo degli *smart-glasses* e gli *smart-phone*. Nel primo caso l'utente finisce per essere obbligato a porre l'attenzione tra due realtà distinte: quella reale e quella virtuale (del dispositivo). Di fronte allo stimolo sonoro o tattile, l'utente in maniera incondizionata e naturale finisce per rivolgere l'attenzione al dispositivo, al fine di consultare il suo stato. Nella maggior parte delle situazioni prese in considerazione, l'utente non mostra nessun tipo di interessamento per la notifica ricevuta o l'informazione in sé, ma spinto dalla curiosità finisce per consultare comunque il dispositivo.

Grazie alla tecnologia avanzata degli *smart-glasses*, l'utente finisce per superare questa problematica, poiché visionando direttamente sull'occhiale la notifica, la durata dell'interazione si riduce a soli 3 secondi diventando così una micro-interazione [20].

È consigliabile seguire dei pattern di progettazione generali al fine di creare applicazioni *eyewear* orientate alle micro-interazioni.

Uno degli aspetti caratterizzanti di un dispositivo *eyewear* è “*The world is the experience*” ovvero mettere in primo piano la realtà tanto da convertirla nell'unica e vera protagonista rispetto al contesto preso in esame.

Un'altra caratteristica fondamentale è la dimensione moderata dello schermo, per questa ragione le informazioni trasmesse devono necessariamente essere efficaci, rilevanti, brevi e di facile intuizione: “*Keep it relevant*”.

Nel caso di dispositivi utilizzati come supporto ad altre attività, è fondamentale che le informazioni siano il meno invadenti possibile, affinché l'utente possa con un semplice sguardo usufruirne senza distogliere l'attenzione dall'attività svolta. Per questa ragione una delle linee guida viene denominata “*Make it glanceable*”, ossia “comprensibile in un'occhiata”.

Un'ulteriore linea guida da seguire è “*One input per interaction*” ovvero utilizzare il minor numero di comandi possibili per giungere al risultato. Creare procedure che richiedono numerose interazioni da parte dell'utente risultano essere inadatte e contrapposte rispetto all'idea di fondo di micro-interazione.

Con l'espressione “*One task per interaction*” ovvero un'unica procedura per interazione, si intende come lo svolgimento simultaneo di una serie di attività si convertirebbe in un'esperienza caotica e negativa per l'utente, rendendo così controproducente l'utilizzo degli *smart-glasses*.

I dispositivi *eyewear* sono predisposti per assistere l'utente nell'arco di una giornata, per cui risulta essere conveniente che siano *context-aware* (in grado di rilevare informazioni dall'ambiente circostante). Ad esempio, in determinate situazioni la luminosità dell'*overlay* digitale dovrebbe essere regolata automaticamente dal dispositivo in base alla luminosità dell'ambiente circostante. Analogamente, un'applicazione progettata per un utilizzo sportivo dovrebbe presentare delle scritte chiare e di dimensioni superiori alla media, mentre in un contesto circoscritto si può ripiegare per caratteri ridotti.

È possibile osservare come queste linee guida non definiscono una precisa procedura di sviluppo, ma hanno l'obiettivo di indirizzare lo sviluppatore a incentrarsi sul punto di vista vero e proprio dell'utente.

Un aspetto innovativo e degno di nota consiste nell'osservare come il centro dell'attenzione si sia spostato dalla continua ricerca per ottimizzare le prestazioni, allo studio e allo sviluppo di una *User Experience* graficamente piacevole.

3.6 Esempi di dispositivi eyewear

In seguito, verranno trattati alcuni modelli di *smart-glasses* che sono attualmente disponibili sul mercato o che hanno avuto un impatto rilevante per la diffusione di questa tecnologia (*GoogleGlasses*). In particolare, verrà posta l'attenzione sulle loro caratteristiche tecniche, i principi di funzionamento, i relativi sistemi operativi e i possibili campi di utilizzo.

3.6.1 Vuzix M300

I *Vuzix M300* sono monoculari e possiedono uno schermo di dimensioni ridotte che non occupa l'intero campo visivo dell'indossatore, ma soltanto una

piccola area. Si può pensare a questo dispositivo come un qualunque auricolare con l'aggiunta di uno schermo e una fotocamera, che proprio come l'auricolare si può utilizzare su ambo gli orecchi.

Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche, l'immagine che si vede nel *display* equivale a quella che si vedrebbe in uno *smart-phone* con uno schermo di 5 pollici posizionato a 40cm di distanza. Il sistema operativo è *Android 6 OS* che utilizza un processore *Intel Atom Dual Core* con 2GB di memoria RAM, 64GB di memoria flash interna e la possibilità di espanderla ulteriormente con una scheda *microSD*. La fotocamera da 10 *megapixel* consente di registrare video a 1080p a 24fps, gode di una messa a fuoco automatica e di uno stabilizzatore di immagine. L'*head tracking* possiede tre gradi di libertà, ha un giroscopio a tre assi, accelerometro e bussola.

Ulteriormente *Vuzix* mette a disposizione tramite il proprio sito web³, a coloro che sono iscritti, un SDK specifico per i propri dispositivi che estende *Android SDK* e include librerie mirate per l'uso di comandi vocali (*Voice Control API*) e gestuali (*GestureSensor API*).

Il *display* dei *Vuzix M300* è un *digitally see-through* che consente di visualizzare dati computerizzati su un'immagine reale, dunque per questo motivo non sono del tutto adatti per applicare la realtà aumentata. Il costo di questo dispositivo si aggira intorno ai 1000 dollari.

3.6.2 Microsoft HoloLens

Microsoft HoloLens, è un *headset* (VR) con lenti trasparenti utilizzate per la realtà aumentata. Si tratta di un dispositivo completamente standalone, ovvero funziona in modo autonomo senza l'ausilio di altri dispositivi o del PC.

Infatti, gli *HoloLens* possiedono una potenza computazionale maggiore di molti notebooks sul mercato grazie al loro processore *Intel Atom Cherry Trail*.

Tra gli altri componenti *hardware* troviamo una camera stile *Kinect* con un rilevamento spaziale di 120°, il Wi-Fi, un microfono spazializzato 3D, un insieme di sensori come il giroscopio e l'accelerometro. Infine, un insieme di lenti trasparenti per ciascun occhio combinando il tutto in un dispositivo indossabile di dimensioni contenute e con un *design* all'avanguardia.

Oltre alla CPU e alla GPU il dispositivo possiede anche una feature innovativa chiamata HPU (*holographic processing unit*), che si occupa del processo che si occupa di integrare gli ologrammi nel mondo reale.

Grazie a questo componente gli *HoloLens* permettono all'utente di vivere un'esperienza olografica di immagini 3D come se queste facessero parte dell'ambiente circostante. Questo nuovo livello di immersione permette di creare nuove

³<https://www.vuzix.com/Developer>

forme di interazione con il mondo fisico come ad esempio. Si potrebbe guardare *Netflix* su una parete senza l'utilizzo di un proiettore, oppure costruire un castello di Lego sul tavolo da cucina con ologrammi ad alta risoluzione.

Gli *HoloLens* utilizzano il sistema operativo *Windows 10* grazie al quale è in grado di eseguire tutte le applicazioni sviluppate tramite la UWP (*Universal Windows Platform*). In aggiunta, il sistema mette a disposizione diversi strumenti per lo sviluppatore come ad esempio il riconoscimento di comandi gestuali o quelli vocali, rilevamento della direzione dello sguardo dell'utente, mappatura 3D ed altro ancora.

Per quanto riguarda lo sviluppo di un'applicazione è disponibile sul sito di *Microsoft*⁴ una sezione denominata *Holographic Academy*, nella quale si possono trovare delle guide in formato di video *tutorial*, alcuni esempi di codice e un'attiva comunità *online* di sviluppatori. Come se non bastasse, per lo sviluppo di un'applicazione *Microsoft* fornisce il *Windows 10 SDK*, un emulatore di *Windows HoloLens* (per il *testing*), consiglia l'uso di *Visual Studio Community* come ambiente di sviluppo e per facilitare la creazione di applicazioni olografiche l'utilizzo di *Vuforia* e *Unity*.

3.6.3 Epson Moverio BT-350

Gli *Epson Moverio BT-350* sono stati progettati per essere leggeri (119 gr), comodi e resistenti in modo tale da poter essere indossati da un numero elevato di persone. Infatti, questi grazie alla combinazione con la tecnologia AR vengono utilizzati per dare vita a spazi culturali e di intrattenimento.

La tecnologia *Si-OLED* dei *micro-display* e l'elevato rapporto di contrasto 100.000:1 permettono di rendere realmente trasparente lo spazio del *display* non utilizzato. Grazie a queste caratteristiche i contenuti di realtà aumentata possono essere sovrapposti a quelli del mondo reale, creando un'esperienza coinvolgente e rendendo la cultura più accessibile ed interessante.

Ciascuna lente degli *smart-glasses* possiedono un visore integrato, queste agiscono in maniera indipendente dallo *smart-phone* e si affidano ad un controller esterno collegato con un cavo.

All'interno dell'unità di controllo esterno troviamo un sistema operativo *Android 5.1* supportato da una *CPU Intel Atom x5 Quad Core* da 1,44 GHz, 2GB di memoria RAM, una scheda *microSD* da 16GB ed una batteria in grado di supportare un utilizzo di circa 6 ore. Per quanto riguarda la connessione i *Moverio BT-350* possiedono un modulo *Wi-Fi*, lo *Smart Bluetooth* e *Miracast* che consentono di collegare ed utilizzare altri dispositivi *smart*, di navigare sul web, visualizzare video in *streaming* etc.

⁴<https://developer.microsoft.com/it-it/windows/holographic>

Epson fornisce agli sviluppatori vari *development kit*⁵ a seconda del modello il quale si voglia sviluppare codice, ma tutti gli SDK sono espansioni di *Android SDK* che permettono il controllo di elementi specifici del device. Inoltre, *Epson* fornisce anche guide sia per gli utenti che per gli sviluppatori, uno store dedicato chiamato *Moverio Apps Market*⁶ dove è possibile pubblicare o vendere le proprie applicazioni e infine una piattaforma di supporto tecnico.

3.6.4 Sony Smarteyeglass

I *Sony Smarteyeglass* a differenza dei dispositivi trattati in precedenza non sono autonomi. Infatti, questi devono essere utilizzati come periferiche di *smart devices*, per poter funzionare, rendendo così le applicazioni per questi dispositivi *app mobile*.

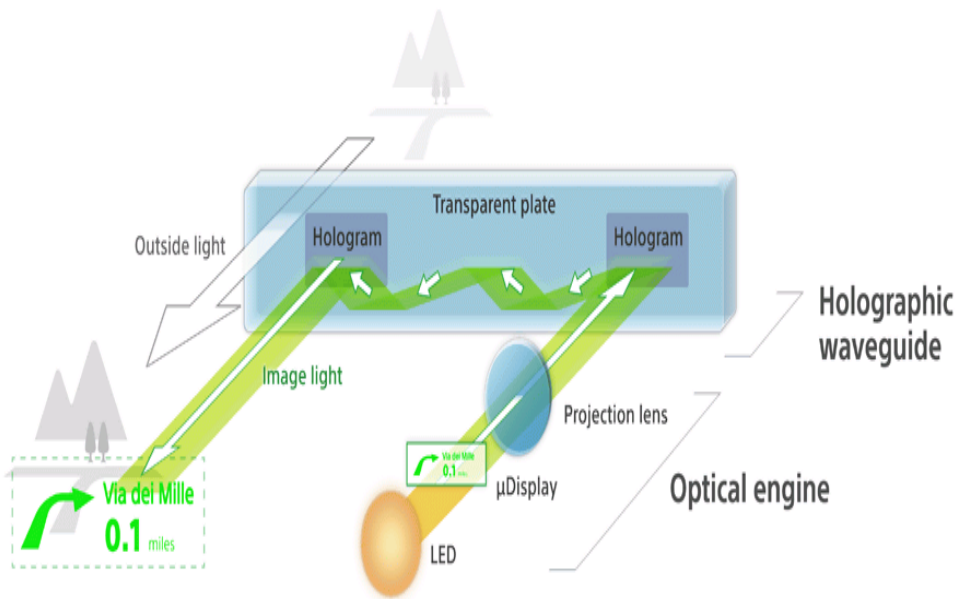


Figura 3.3: Procedura di creazione di un ologramma [6].

Il dispositivo è equipaggiato con un *display* molto sottile e leggero (77gr) progettato appositamente per essere montato su delle lenti trasparenti. Questo

⁵<https://moverio.epson.com/>

⁶https://moverio.epson.com/jsp/pc/pc_application_list.jsp

è composto da due parti: il motore ottico che proietta il testo e le immagini usando la tecnologia *micro display* visibile nella Figura 3.3 e una guida d'onda olografica, una lastra di vetro trasparente veramente sottile (1mm). Si tratta di una tecnologia unica creata da *Sony* e funziona nel seguente modo: prende la luce creata all'interno del motore ottico e proietta un'immagine virtuale attraverso gli elementi ottici olografici agli occhi dell'indossatore. Unendo questa tecnologia con le lenti protettive si riesce ad arrivare a più dell'85% di trasmissione della luce naturale con lenti spesse solo 3mm.

Gli *Smarteyeglass* dispongono di un controller separato che include una batteria, uno *speaker*, un microfono e un sensore *touch* per la navigazione. Per la connettività con altri dispositivi viene utilizzato il Bluetooth e la WLAN.

La fotocamera integrata da 3 *Megapixel*, che consente di scattare foto e registrare video (senza audio) a 15 *fps* con una risoluzione QVGA. In aggiunta alla camera sono presenti altri sensori tipici dei dispositivi *eyewear* che sono accelerometro, giroscopio, bussola e un sensore di luminosità.

La *Sony* mette a disposizione un *development kit* che estende *Android SDK* per lo sviluppo di *app mobile* citate precedentemente sotto il nome di *SmartEyeglass SDK*. Questo include un set di *API Smart Extensions framework*, esempi di codice da usare come basi per lo sviluppo di un'applicazione e gli strumenti necessari per potersi interfacciare con un dispositivo *Smarteyeglass* tramite uno smart device. L'ambiente di sviluppo consigliato dalla casa produttrice per lo sviluppo di applicazioni è *Android Studio*. Infine, la piattaforma *web Developer World*⁷ è stata creata da *Sony* per dare un supporto ai programmatori e per cercare di creare una comunità attiva per questa tecnologia nascente.

3.6.5 Google Glasses

Si tratta di un computer indossabile che possiede un *display* ottico predisposto per essere indossato in testa (OHMD). È stato progettato e sviluppato dalla "*Google X Lab*" che si occupa dello sviluppo di tecnologie futuristiche sotto il nome di "*Project Glass*".

Nonostante gli HMD non fossero una nuova idea, questo progetto riuscì ad attrarre l'attenzione dei media per due motivi principali: era un progetto sviluppato e sponsorizzato dalla *Google*. Inoltre, il primo prototipo presentato possedeva un *design* più curato ed aveva dimensioni decisamente minori rispetto agli HMD precedentemente realizzati.

L'obiettivo principale del progetto da una parte era quello di mostrare le informazioni utilizzando un'interfaccia simile a quella di uno *smart-phone*, per fornire un'esperienza familiare all'utente. Dall'altra parte, offrire la possibilità

⁷<https://developer.sony.com/develop/wearables/smarteyeglass-sdk/>

di un'interazione senza l'utilizzo delle mani come ad esempio il linguaggio naturale o i comandi vocali.

I *Google Glass* sono in grado di utilizzare la tecnologia *4G* per la connessione, permettendo di scaricare informazioni dalle banche dati di *Google*. Così facendo in combinazione con la realtà aumentata si possono proiettare informazioni aggiuntive del mondo circostante sulle lenti di fronte agli occhi dell'utente. Si provi a pensare quanto potrebbe essere comodo camminare per una città di cui non si conoscono le strade e vedere attraverso le lenti la mappa di essa e il percorso desiderato.

Il *design* non è stato pensato per un utilizzo continuo e quotidiano, ma più come quello di uno *smart-phone*, ovvero nel momento del bisogno. Infatti, gli occhiali sono un computer indossabile che utilizza lo stesso sistema operativo *Android* dei *tablet* e *smart-phone*. Per di più, come i dispositivi appena citati, anche gli occhiali sono equipaggiati con una serie di sensori come il GPS e possiedono una camera, ingressi ed uscite audio.

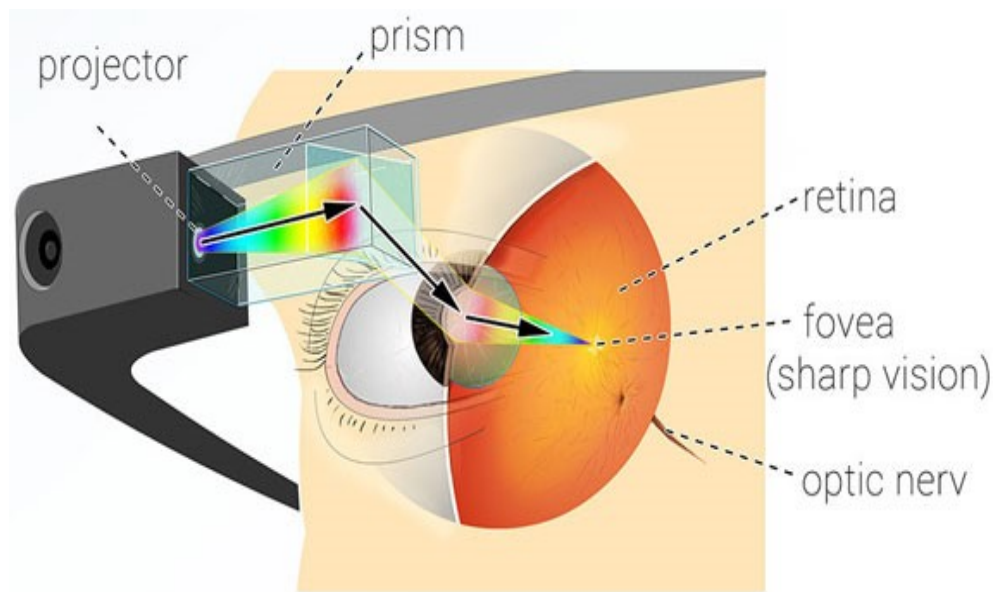


Figura 3.4: Esempio di funzionamento proiettore-prisma [7].

Come si può notare dalla Figura 3.4 all'interno dell'unità centrale che si trova nell'asta destra dell'occhiale è collocato un mini proiettore che proietta uno strato visivo attraverso un prisma semi trasparente direttamente sulla retina dell'occhio. Facendo così lo strato proiettato va a sovrapporsi all'immagine del mondo reale vista dall'utilizzatore.

Grazie a questa operazione, nonostante la ravvicina distanza tra l'occhio e il prisma, l'immagine rimane chiara e ben definita.

La parte frontale dell'unità centrale è regolabile in modo da permettere all'utente di ottimizzare la messa a fuoco.

Una grande sfida per la *Google* risulta essere quella di rendere gli occhiali utilizzabili anche dalle persone che indossano comuni occhiali da vista. Una possibile proposta potrebbe essere quella di creare prismi personalizzati per ciascun utente in modo da compensare la loro mancanza di vista, ma ciò risulterebbe troppo dispendioso.

Capitolo 4

L'eyewear computing nell'ambito dell'industria 4.0

In questo capitolo verranno illustrati le tendenze tecnologiche degli ultimi anni, partendo dalla definizione del termine *Industry 4.0* ovvero la quarta rivoluzione industriale. Verranno poi trattate le tecnologie che hanno permesso lo sviluppo di questa rivoluzione.

Successivamente si analizzerà il ruolo della tecnologia *eyewear* e della realtà aumentata abbinata all'industria 4.0.

Per concludere si tratteranno le principali applicazioni che combinano le tecnologie precedentemente citate sviluppate per essere impiegate in ambito industriale.

4.1 Introduzione all'industria 4.0 e le relative tecnologie chiave

In seguito, verrà brevemente introdotto il contesto storico che ha portato alla quarta rivoluzione industriale e verrà analizzato il significato del termine Industria 4.0.

Successivamente, si tratteranno alcune delle tecnologie che hanno permesso lo sviluppo dell'industria 4.0 e come queste possono essere in grado di contribuire al suo sviluppo futuro.

4.1.1 Breve storia delle tre rivoluzioni industriali

Le rivoluzioni industriali sono oggi spesso percepite come un termine storico, che descrive la transizione dai cavalli all'energia a vapore, dalle officine alle fabbriche.

La prima rivoluzione industriale, nel 1784, ebbe luogo nella parte occidentale del nostro mondo caratterizzata dall'introduzione di macchinari basati sull'energia di acqua e vapore per meccanizzare la produzione. A seguito di questo primo processo di industrializzazione si può assistere alla delocalizzazione del capitale umano che iniziò a trasferirsi dai piccoli borghi nelle grandi città.

In seguito, nel 1870, con la costruzione delle macchine elettriche basate sui principi di elettromagnetismo avvenne la seconda rivoluzione industriale. Inoltre, la realizzazione dei primi motori a scoppio portò alla produzione di massa delle automobili e l'aumento dell'utilizzo del petrolio come nuova fonte di energia. Con questa rivoluzione vi fu una riduzione del tempo che passava tra una scoperta scientifica e la successiva applicazione pratica. Infatti, non passò molto tempo che Henry Ford poté attuare i principi dell'organizzazione scientifica del lavoro formulati da Frederick Taylor, ideando la catena di montaggio nelle fabbriche del settore automobilistico, facendo muovere l'oggetto da lavorare piuttosto che l'operaio.

Infine, negli anni successivi alla seconda guerra mondiale, iniziò la terza rivoluzione industriale, caratterizzata dalla nascita dell'elettronica e dell'informatica. Da essa è scaturita l'era digitale, con i sistemi elettronici e dell'IT (*Information Technology*) destinati ad incrementare i livelli di automazione della produzione. È in questi anni che è nato il primo controllore a logica programmata (PLC), un sistema elettronico digitale destinato all'uso in ambito industriale che utilizza una memoria programmabile per l'archiviazione del programma utente dedicato al controllo di macchine e processi. Un'altra tecnologia di questo periodo è Internet, teorizzata nel 1962 per la prima volta dagli statunitensi Joseph C.R. Licklider e Welden E. Clark ed inizialmente utilizzata in ambito militare, ma soltanto nel 1991 il governo degli Stati Uniti d'America emanò la legge "*high performance computing act*", che consentì l'uso di tale tecnologia anche in ambito civile.

4.1.2 Che cos'è l'Industria 4.0

Il termine Industria 4.0 si riferisce ad un nuovo stadio di sviluppo dell'industria manifatturiera che coinvolge l'organizzazione delle imprese e l'intera catena di distribuzione [25]. Questo processo dirompente è anche conosciuto come quarta rivoluzione industriale, che identifica un nuovo cambio di paradigma rispetto alle tre precedenti rivoluzioni industriali.

È possibile attribuire la paternità del termine "*Industry 4.0*" ai ricercatori Henning Kagermann, Wolf Dieter Lukas e Wolfgang Wahler, che lo utilizzarono per la prima volta in una comunicazione tenuta alla Fiera di Hannover del 2011:

"Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution" (Industria 4.0: L'Internet delle cose sulla strada della quarta rivoluzione industriale).

Si tratta di un processo tutt'ora in corso, la cui data d'inizio non è ancora stata stabilita e solo a posteriori sarà possibile indicarne l'atto fondante. Inoltre, attualmente non è ancora stata data una definizione concreta di industria 4.0 che sia condivisa da tutto il mondo accademico, nonostante sia un argomento di priorità assoluta per molti paesi e imprese.

Oggi, l'industria 4.0 sta creando un nuovo campo industriale che dipende dall'acquisizione dei dati e dalla loro condivisione sulla catena di distribuzione. Allo stesso modo, l'industria 4.0 è un nuovo metodo di connettere il mondo digitale a quello fisico. In aggiunta, Oesterreich e Teuberg, nel 2016, hanno constatato che l'industria 4.0 può essere descritta come:

"the manufacturing environment's increased digitization and automation in addition to an increased communication enabled by the creation of a digital value chain" [26].

Secondo i ricercatori Pereira e Romero il termine Industry 4.0 è un *"umbrella term for a new industrial paradigm"* ed è costituito da un *Cyber Physical System (CPS)*, *Internet of Things (IoT)*, *Internet of Services (IoS)*, *Robotics*, *Big Data*, *Cloud Manufacturing* e *Augmented Reality*.

4.1.3 Cyber-Physical Systems (CPS)

Per quanto riguarda lo sviluppo dell'informatica e della tecnologia dell'informazione, CPS può essere considerato l'avanzamento più importante dell'industria 4.0. CPS può essere utilizzato per integrare il mondo fisico con l'ambiente virtuale per il controllo e la coordinazione dei processi. Secondo gli scienziati Lee Bagheri e Kao, i CPS possono essere definiti come:

"innovative technologies that enable the management of interconnected systems through the integration of their physical and computational environments".

Allo stesso tempo questi sistemi possono anche offrire e utilizzare l'accesso ai dati e ai processi. Inoltre CPS può essere applicato in diverse aree come strumenti medici che adottano la tecnologia automatica di acquisizione e controllo, sistemi di energia distribuita, controllo aerospaziale e aeronautico, controllo industriale, ecc.

Infine, i CPS svolgono un ruolo importante in molte aree come la produzione di autoveicoli, macchinari per l'industria pesante, metallurgia siderurgica, produzione di energia, trasporti e logistica sin dal primo sviluppo della tecnologia CPS.

4.1.4 Smart Factory

Le fabbriche intelligenti sono una forma futura di reti industriali e si basano sulla collaborazione attraverso sistemi *cyber-fisici*. Secondo un sondaggio PWC, del 2013, il 50% delle aziende tedesche affermano che stanno costruendo tali reti e il 20% delle aziende hanno iniziato ad implementare le *Smart Factory*. Inoltre l'obiettivo di queste reti intelligenti di produzione è quello di controllare le macchine e i prodotti interagendo con loro.

Oggi giorno molte fabbriche moderne condividono il concetto di "*smart-networking*", poiché permettono di creare un ambiente intelligente attraverso catene di approvvigionamento per realizzare processi flessibili e adattivi. In aggiunta, le *Smart Factory* possiedono una comunicazione in tempo reale ed integrata tra ciascuna risorsa produttiva, che ha sensori, attuatori, nastri trasportatori, macchine, *robot*, ecc [27].

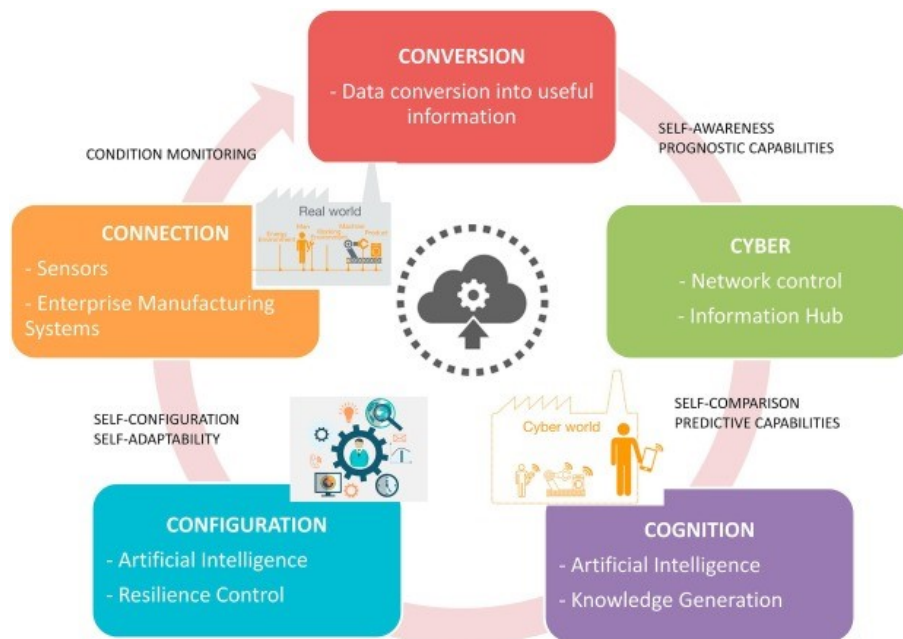


Figura 4.1: Framework di una Smart Factory [8].

La Figura 4.1 illustra il *framework* di una *Smart Factory* che include quattro livelli tangibili: livello di risorse fisiche, livello di rete industriale, livello *cloud* e supervisione nonché stato terminale di controllo.

Il livello *cloud* può essere applicato in diversi sistemi di informazione come ERP, per raccogliere dati di massa basati sulla risorsa fisica per poi scambiarli con le persone tramite appositi terminali. Pertanto questo *framework* può ottenere un flusso di informazioni gratuite dal mondo della rete e allo stesso

tempo, può essere utilizzato come un CPS per un'integrazione profonda con artefatti fisici ed entità di informazioni.

L'intelligenza artificiale è fondamentale per la creazione di fabbriche intelligenti nel mondo dell'industria 4.0. L'IA può essere definita come: il dominio scientifico ed ingegneristico interessato al lato teorico e pratico dello sviluppo di sistemi che presentano le caratteristiche che associamo all'intelligenza nel comportamento umano, queste possono essere la percezione, l'elaborazione del linguaggio naturale, risoluzione dei problemi e pianificazione, apprendimento, adattamento e azione sull'ambiente. Ad esempio, i sistemi di supporto alle decisioni (DSS) sono sistemi di intelligenza artificiale basati su computer per la catena di distribuzione. DSS utilizza i dati richiesti, i documenti, le conoscenze e tecnologie di comunicazione per le aziende con l'obiettivo di risolvere problemi complessi.

4.1.5 Internet of Things (IoT) e Internet of Services (IoS)

Internet of Things è uno degli ultimi sviluppi IT ed ha fondamentale cambiato il modo di comunicare in SCM fornendo una comunicazione umana alle cose [28]. Il termine IoT è stato coniato nel 1999 e inizialmente associato alla possibilità di utilizzare tag di identificazione a radiofrequenza RFID per tracciare oggetti nella catena di distribuzione di Procter e Gamble.

I ricercatori Ben Daya, Hassini e Bahroun definiscono l'IoT nel contesto di SCM come segue:

“The Internet of Things is a network of physical objects that are digitally connected to sense, monitor and interact within a company and between the company and its supply chain enabling agility, visibility, tracking and information sharing to facilitate timely planning, control and coordination of the supply chain processes”.

Secondo gli studiosi Pereira e Romero, il concetto di *Internet of Service* è emerso di recente ed offre nuove opportunità al settore dei servizi. *IoS* fornisce le basi commerciali e tecniche per i fornitori di servizi, i clienti fornitori di servizi e clienti che hanno una base commerciale e tecnica. Schmidt definisce *IoS* come un nuovo modello di business che cambierà il modo in cui i servizi sono forniti, consentendo la creazione di oggetti di valore maggiore migliorando la comunicazione tra i *partner* della catena di distribuzione.

L'adozione dell'*IoT* può offrire nuove opportunità a utenti, produttori e aziende in ambienti industriali e intere filiere. Ha una forte influenza in diversi settori quali automazioni, produzione industriale, logistica, processi aziendali, gestione dei processi e trasporto. Inoltre, c'è un nuovo termine chiamato *Industrial Internet of Things (IIoT)* che rappresenta l'applicazione dell'*IoT* all'in-

dustria. Per migliorare i moderni sistemi industriali, *IIoT* applica tecnologie dirompenti come i sensori, attuatori, RFIDS, *software*, sistemi di controllo, *machine to machine*, analisi dei dati e meccanismi di sicurezza.

Al giorno d'oggi, l'*IoT* emerge entro tre campi principali che includono l'ottimizzazione dei processi, il consumo ottimizzato delle risorse e creazione dei sistemi autonomi complessi.

4.1.6 Big Data

I *Big Data* come tecnologia hanno ricevuto crescente attenzione sia dai ricercatori che dai media. I *Big Data* si riferiscono all'acquisizione, alla memorizzazione e all'analisi di enormi quantità di dati da diverse fonti per aumentarne il valore aggiunto. Può quindi essere considerato come un nuovo sistema o piattaforma di tendenza in questa era globale per tutti i tipi di industria. Il termine "*Big Data*" può essere definito come una nuova generazione di tecnologie progettate per le organizzazioni per estrarre valore da grandi volumi di dati.

McAfee afferma che i *big data* possono essere definiti in termini di "3V", ovvero volume, velocità e verità. Il volume che i *big data* producono ogni secondo supera tutti i dati che Internet ha archiviato negli ultimi 20 anni. Il termine velocità dei dati si riferisce alla velocità con cui i dati vengono trasmessi in rete. La varietà di dati include dati strutturati e non strutturati; la maggior parte dei dati solitamente è non strutturata. Il politecnico di Milano ha affermato che i *Big Data* offrono opportunità in *SCM* come strumento di analisi per i rischi sulla catena di distribuzione e misurazione delle prestazioni dei fornitori [29].

Il volume dei dati creati e compiuti in tutto il mondo è aumentato di quasi nove volte dal 2010 al 2014. Questo può in grande parte esser visto come il risultato di dispositivi distinti impiegati nelle moderne catene di fornitura, quali sensori integrati, sistemi informatici e dispositivi computerizzati.

4.1.7 Cloud Manufacturing

Un altro nuovo paradigma nel campo della produzione è quello del *Cloud Manufacturing* (CM) che è stato introdotto come concetto da Lihui Wang [9]. Esistono molte definizioni di CM, la maggior parte di queste lo descrive come un sistema basato sulla rete che offre un servizio di cooperazione e condivisione tra differenti utenti del *cloud*. Inoltre, CM è la realizzazione e l'approvvigionamento di tutti i tipi di risorse di produzione per il ciclo di vita dello sviluppo del prodotto mediante l'adozione del *Cloud Computing*, tecnologie IoT, identificazione a radiofrequenza (RFID), reti di sensori e GPS ecc.

La caratteristica principale di CM è *“seamless and convenient sharing”* ovvero una condivisione semplice e conveniente atta a realizzare l'idea di *Manufacturing as a Service (MaaS)* e la condivisione di diversi tipi di risorse manifatturiere distribuite. Come presentato in Figura 4.2, il concetto di CM è:

“for providers to effectively organize and encapsulate manufacturing resources and capabilities and make them available as services to consumers in an operatorrun manufacturing Cloud”.

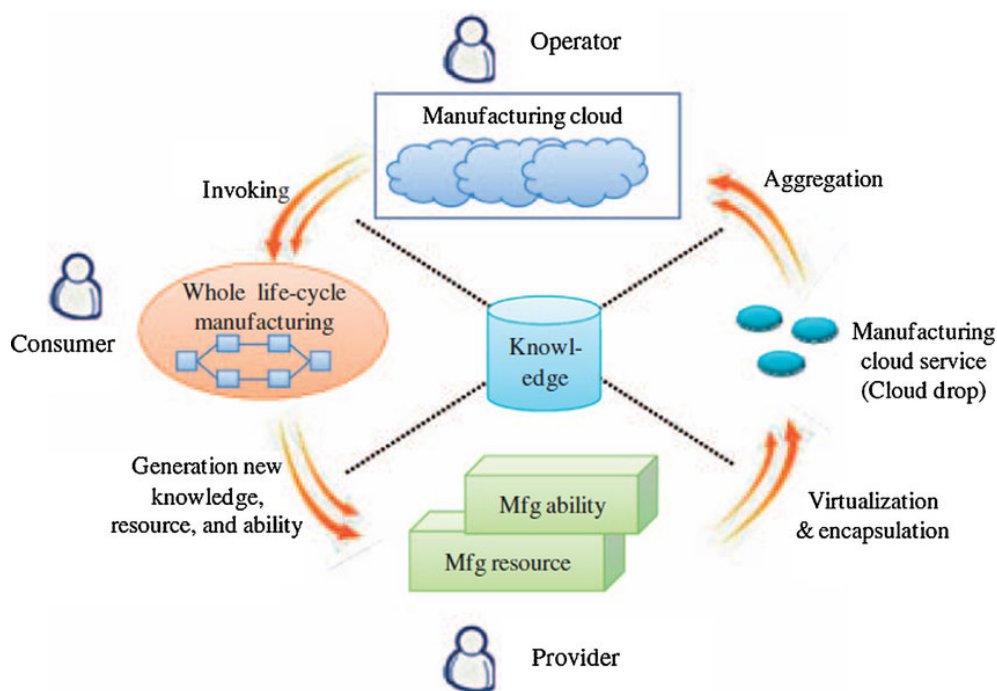


Figura 4.2: Concetto di Cloud Manufacturing [9].

4.1.8 Augmented Reality

L'obiettivo della tecnologia di realtà aumentata è la simulazione, l'assistenza e il miglioramento dei processi produttivi proponendo una soluzione innovativa ed efficace dei problemi prima che questi possano essere implementati. Questi sistemi vengono implementati in diverse fasi del ciclo di vita del prodotto ed hanno offerto importanti contributi a tutte le fasi. In sintesi, si può dire che lo scopo delle applicazioni AR è quello di aumentare ulteriormente la scena visualizzata dall'utente con informazioni virtuali generate da un dispositivo computerizzato.

In seguito, verrà proposta una trattazione più dettagliata di questa tecnologia con esempi di applicazioni attualmente impiegate in ambito dell'industria 4.0.

4.2 La Realtà Aumentata applicata all'Industria 4.0

Dopo decenni e grandi progressi delle tecnologie abilitanti per l'AR, trattate nei capitoli precedenti, questa tecnologia è ora entrata nel mercato dei consumatori. Allo stesso modo AR è stata riconosciuta una delle tecnologie *leader* nella quarta rivoluzione industriale.

I potenziali usi dell'AR sono vari e possono essere potenzialmente applicati in tutte le attività che si svolgono nelle aziende. I principali scenari di utilizzo possono essere riassunti come segue:

- **Produzione:** qualsiasi operazione che fornisce procedure dettagliate può trarne vantaggio dall'uso di AR; installazioni e assemblee sono solo alcuni esempi dove l'AR può fare la differenza realizzando la fabbrica di quarta generazione.
- **Controllo qualità:** con il supporto AR nei processi di controllo qualità, si può verificare se gli oggetti sono prodotti secondo gli standard di produzione.
- **Gestione della sicurezza:** AR mette a disposizione gli strumenti necessari per gestire rischi e la sicurezza dei lavoratori e delle merci all'interno delle fabbriche.
- **Manutenzione e assistenza remota:** le attività di manutenzione richiedono l'assegnazione di significative risorse umane e finanziarie per garantire l'efficacia ed efficienza delle operazioni. In questo contesto, AR garantirebbe la riduzione dei tempi di esecuzione ed errori umani.
- **Formazione:** l'uso della realtà aumentata può essere molto efficace per le aziende in cui i processi di formazione coinvolgono un gran numero di tecnici. Occhiali per realtà aumentata per l'industria 4.0 geograficamente dispersi su un vasto territorio. Il vantaggio è quello di addestrare rapidamente nuovo personale ed esperti tecnici per affrontare nuovi compiti.
- **Logistica:** gli strumenti AR possono migliorare l'efficienza della gestione del punto vendita durante navigazione interna e *picking*.

- **Design:** AR fornisce strumenti in grado di migliorare la prototipazione e la visualizzazione in fase di progettazione.

4.2.1 Manutenzione e formazione 4.0

L'industria 4.0 è una tendenza attuale nel settore manifatturieri, basata sul concetto di “fabbrica intelligente”. Tra i servizi organizzativi richiesti, *Industry 4.0* richiede un servizio di manutenzione rapido ed efficace per garantire alle aziende un sistema di produzione efficiente.

Come sottolinea il leader dei laboratori di Intel Ronald T. Azuma in un recente articolo [10], l'uso di Realtà Aumentata come supporto alla manutenzione non è una nuova idea. La comunità scientifica era al corrente sin dall'inizio che una delle applicazioni più interessanti per l'AR avrebbe potuto essere il supporto di processi industriali, compresa la manutenzione.

La manutenzione può essere di diversi tipi: purché i guasti delle macchine possano essere previsti con precisione, la manutenzione predittiva consente di abbassare la frequenza delle manutenzioni al minimo per prevenire la manutenzione reattiva non pianificata. Idealmente si dovrebbe cercare di non fare nemmeno troppa manutenzione preventiva in modo tale da non sprecare troppe risorse. Sfortunatamente però non tutti i malfunzionamenti sono facilmente prevedibili. In alcuni casi un intervento di manutenzione può richiedere un'accurata analisi del problema e l'intervento di un tecnico specializzato ed istruito appositamente per quella tipologia di problema. Questo tipo di intervento può rivelarsi molto costoso sia per l'azienda che richiede l'intervento che all'azienda esecutrice e talvolta richiede del tempo prima che l'esperto raggiunga il luogo.

In questi scenari la Realtà aumentata abbinata all'utilizzo di un dispositivo *eyewear* può intervenire per aiutare gli operatori a essere più veloci e ad affaticarsi di meno nella ricerca dei guasti e dei componenti giusti. Infatti, attraverso contenuti aumentati, si possono puntare ed indicare le posizioni dei guasti e si possono mostrare informazioni come contenuto aumentato direttamente nel visore dell'operatore senza la necessità di sfogliare un manuale cartaceo.

Le applicazioni per la manutenzione possono essere divise in due categorie principali: applicazioni per l'addestramento e applicazioni per le operazioni di manutenzione.

In seguito verranno descritti alcuni esempi di utilizzo possibili della realtà aumentata supportata dalla tecnologia *eyewear* nei processi industriali [10]:

- È possibile, tramite guide interattive e iscrizioni guidate, sia istruire un nuovo lavoratore che aggiornare un esperto;

- È possibile, tramite un *software* specifico, guidare un operatore nella fase di montaggio o di riparazione di un macchinario complesso. Questo avviene proiettando nelle lenti del dispositivo la procedura da seguire e in caso sia necessario, quali pulsanti schiacciare e in che ordine;
- È possibile, durante un intervento di assistenza remota a distanza, mettere in contatto un esperto con l'operatore che esegue la manutenzione. Questo avviene grazie agli occhiali, che permettono di scattare foto o di registrare video in *streaming*. In questo modo il tecnico esperto può vedere in tempo reale ciò che vede l'operatore e guidarlo, sfruttando la tecnologia AR, per indicargli cosa deve fare nella riparazione come in Figura 4.3. Grazie a questo approccio i costi e i tempi di trasferta e formazione dei tecnici vengono abbattuti, riducendo al minimo anche gli errori commessi da operatori non specializzati¹².

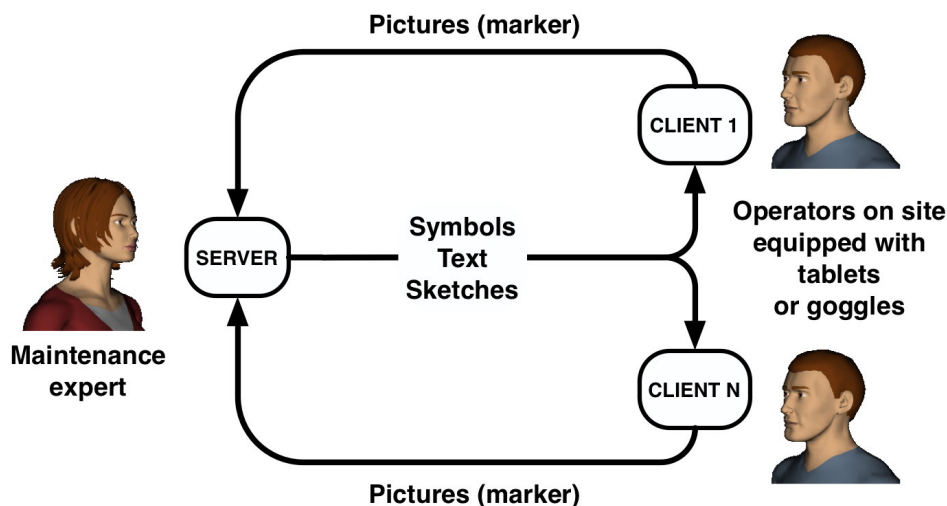


Figura 4.3: Illustrazione di un'assistenza remota [10].

4.2.2 Servizi e logistica 4.0

DHL, una delle aziende *leader* a livello mondiale nel settore della logistica, utilizza un processo di catena di distribuzione chiamato "*order picking*"³, in cui grazie all'impiego degli *smart-glasses*, i dipendenti possono scansionare gli articoli disposti sugli scaffali prima di trasferirli in carrelli o contenitori. In

¹<https://www.acty.com/it/>

²<https://visionlabapps.com/>

³<https://www.ubimax.com/web2017/en/references/dhl-casestudy-2017.html>

questo modo gli operai riescono a soddisfare gli ordini dei clienti in tempi più brevi e con minor sforzo. In aggiunta, questo approccio permette di aggiornare in tempo reale ed in modo preciso lo stato di avanzamento degli ordini.

Grazie all'utilizzo degli *smart-glasses* gli arti superiori dei dipendenti restano liberi da informazioni cartacee, poiché queste vengono proiettate davanti ai loro occhi.

Un altro possibile sviluppo in ambito professionale potrebbe riguardare gli addetti al traffico aeroportuale, che mentre controllano le piste di decollo e atterraggio, potranno controllare l'elenco degli aerei in partenza e in arrivo all'aeroporto.

Ulteriormente, potrebbe essere di vitale importanza per i vigili del fuoco o altre unità di soccorso vedere le indicazioni stradali in tempo reale sul dispositivo *eyewear*, oppure nel caso di un'ambulanza grazie al supporto di una rete avanzata questi potrebbero essere in grado di indicare l'ospedale che possiede l'attrezzatura più adatta al paziente trasportato.

4.2.3 Controllo qualità 4.0

L'utilizzo della tecnologia AR risulta essere uno strumento utile sia nella fase di progettazione che in quella di controllo della qualità.

Presso lo stabilimento Porsche di Lipsia il team informatico, che lavora a stretto contatto con quello di controllo qualità, in collaborazione con la startup GTV di Dresda, hanno sviluppato "*Inno Space*"⁴. Si tratta di una piattaforma per il controllo della qualità che sfrutta la tecnologia AR affiancata all'utilizzo di un dispositivo *eyewear* o di un *tablet*. Questa applicazione prende i difetti rilevati durante il *test "look & feel"* e li sovrappone a un'immagine del veicolo in ogni singola fase del processo di produzione per controllare e prevenire eventuali difetti di fabbricazione. Inoltre, è possibile inquadrare una parte di un veicolo o un suo particolare componente per rilevare eventuali difetti. Questo avviene effettuando un confronto tra i dati rilevati e quelli precedentemente i dati CAD nel *database*. Un altro vantaggio di questa applicazione è la possibilità di ritrasmettere in *videostreaming* il processo di controllo qualità verso un altro stabilimento. In aggiunta, i difetti rilevati possono essere archiviati in un *database* centrale dello stabilimento e resi disponibili in tutto il mondo.

Un'altra azienda degna di nota, per lo sviluppo di *software* per la gestione del controllo qualità industriale, è *CAQ AG Factory Systems*⁵. L'applicazione realizzata dall'azienda ha lo scopo di guidare l'operatore nella procedura di controllo. Questa infatti, grazie al supporto di un dispositivo in grado di acqui-

⁴<https://www.porsche.com/italy/aboutporsche/pressreleases/pag/?pool=international-de&id=477411>

⁵<https://www.caq.de/de>

sire costantemente immagini è in grado di riconoscere oggetti da ispezionare e gli strumenti da utilizzare. In questo modo l'app è in grado di suggerire all'operatore se vi sono eventuali difetti o quali strumenti deve utilizzare durante il controllo.

4.2.4 Robotica per l'industria 4.0

La combinazione della tecnologia AR con i “*cobot*” (*robot* collaborativi) potrebbe essere una delle chiavi di svolta per le *Smart Factory*. Recentemente una società di ingegneria chiamata Kubica Corporation, situata nel Michigan, ha sviluppato un'applicazione AR per l'assemblaggio di portiere di automobili utilizzando un *robot* UR10 e un sistema di proiezione *Light Guide Systems*.

Carol Choma, manager di Kubica, definisce l'applicazione nel seguente modo:

*“This is a great example of a true collaborative cell work environment where the UR10 robot from Universal Robots is working with the operator at an assembly cell for the automotive industry”*⁶ .

Il sistema “*light guide*” ha il compito di proiettare le istruzioni di monitoraggio direttamente sull'ambiente di lavoro. Permettendo così all'operatore di passare uno dei suoi arti superiori sopra un pulsante virtuale proiettato, che rappresenta il “pulsante Start”, per comandare al *robot* di comincia a svolgere il proprio incarico. Inoltre, la proiezione serve anche a guidare l'operatore nel processo di assemblaggio illuminando ed indicando con colorazioni diverse le diverse piste dove dovranno passare i cavi.

4.2.5 Healthcare 4.0

I cambiamenti, forse, più rilevanti e più radicali saranno in ambito sanitario con la nascita dell'ospedale 4.0 e la diffusione di dispositivi medici.

I progressi nella localizzazione delle vene sono stati molto limitati, essendo stati sviluppati occasionalmente da dispositivi che non sono facilmente trasportabili e che richiedono materiale fungibile quando entrano in contatto con la pelle di un paziente.

Il dispositivo *AccuVein AV300*⁷ è uno strumento portatile ad uso manuale che consente agli infermieri di localizzare determinate vene periferiche. Questo dispositivo non sostituisce la tradizionale abilità di un'infermiera nel localizzare le vene, con mezzi visivi o di sensibilità, ma piuttosto completa le loro abilità e le migliora. Si tratta di un dispositivo leggero, intuitivo e non richiede un

⁶<https://blog.universal-robots.com/how-augmented-reality-and-cobots-drive-the-next-wave-of-automation>

⁷<https://www.accuvein.com/news/inova-introduces-accuvein-av300-devices/>

addestramento per il suo uso. È igienico poiché non entra mai in contatto con la pelle del paziente in quanto emette una luce a infrarossi sulla pelle che riflette le vene che le evidenziano sulla superficie della pelle.

Un altro aspetto degno di nota potrebbe riguardare l'impiego della tecnologia *eyewear* anche in campo medico per creare nuovi metodi di formazione e collaborazione. Ad esempio, durante un intervento un medico potrebbe connettersi con un suo collega più esperto che gli può dare suggerimenti in tempo reale, migliorando così i risultati finali. In alternativa, i medici saranno in grado di consultare o aggiornare le cartelle mediche dei pazienti in tempo reale e senza l'utilizzo degli arti superiori, mentre svolgono un altro compito, oppure riprendere una procedura e salvarla, creando così materiale di formazione medica.

4.2.6 Scuola 4.0

La scuola svolge un ruolo molto importante nel formare le menti di domani e da essa dipende anche il successo economico e finanziario di un paese. Per questa ragione, anche in Italia sono stati adottati dei metodi di insegnamento con l'obiettivo di avvicinare la scuola al mondo dell'industria 4.0.

Di conseguenza, i giovani dovranno famigliarizzare con queste nuove tecnologie in modo da poter in futuro dare un loro contributo nel loro sviluppo.

In Italia, in particolare nella città di Brindisi presso il liceo "Ettore Majorana", è stato introdotto l'utilizzo degli *smart-glasses Oculus Rift* per l'insegnamento di alcune materie ed i rispettivi laboratori. Mentre in altri paesi gli studenti per entrare in contatto con il mondo della robotica, utilizzano i *robot Nao* e *Pepper*⁸.

Il piano di innovazione tecnologica avviato dal "Piano Nazionale Scuola Digitale"⁹ ha raggiunto i seguenti obiettivi: la maggior parte degli istituti scolastici italiani possiede una connessione internet e poco più della metà dispone dei mezzi necessari per svolgere un insegnamento digitale.

⁸<https://www.robotiko.it/nao-robot-cosa-puo-fare/>

⁹<https://www.miur.gov.it/scuola-digitale>

Conclusioni

Lo scopo principale di questo lavoro è quello di analizzare l'evoluzione dei *wearable* device e il concetto di Realtà Aumentata utilizzata attraverso le nuove tecnologie come gli *smartglasses*. Nel corso degli ultimi anni sono avvenuti numerosi e notevoli progressi grazie alla ricerca e allo studio per cui al giorno d'oggi è già possibile usufruire di una vasta gamma di *smart-glasses* sia per uso professionale che proprio. È emerso chiaramente che i successi raggiunti in ambito tecnologico hanno consentito la creazione di dispositivi in grado di compiere azioni e comandi elaborati al punto da consentire l'utilizzo della tecnologia AR.

Si è evidenziato il concetto e l'utilizzo dell'*Augmented Reality*, mettendo in luce le differenze con *Virtual Reality* e successivamente sono stati analizzati gli strumenti necessari per la creazione di un'applicazione AR.

Si è notato come la realtà aumentata stia cambiando, impattando e trasformando notevolmente la vita quotidiana potenzialmente di ogni essere umano. Per tale ragione, non è possibile ridurre il concetto di realtà aumentata ad una semplice nozione, poiché nel corso dei prossimi anni si verificherà un vero e proprio progresso soprattutto nell'ambito lavorativo nel quale le applicazioni di *smart-glasses* diventeranno le vere e proprie protagoniste.

Si è riscontrato come i dispositivi *eyewear* saranno in grado di ampliare le capacità cognitive e sensoriali, diventando uno strumento indossabile per tutta la giornata, di uso quotidiano, assistendo gli utenti fornendogli una funzione di supporto di fronte alle loro richieste, esigenze ed intenzioni.

Inoltre, si è posta l'attenzione su come la tecnologia *eyewear* abbinata o meno a quella della realtà aumentata possa impattare il nascente mondo dell'industria 4.0 e i vari settori derivati. Dalle prime analisi si possono ben notare i contributi che già attualmente queste tecnologie offrono nei settori della manutenzione, del controllo qualità, formazione del personale, servizi e logistica.

Infine, non si può sapere quale sarà lo sviluppo di queste tecnologie in quanto negli anni a venire la sfida consisterà nell'ampliare questo orizzonte negli ambiti più disparati, come ad esempio quello in ambito dell'indu-

stria 4.0, medico, militare, scolastico ed con ogni possibile ricaduta nel settore dell'intrattenimento.

Ringraziamenti

A conclusione di questa tesi e del percorso formativo intrapreso è doveroso e piacevole ringraziare tutti coloro che direttamente o indirettamente hanno contribuito.

Per prima, desidero ringraziare mia mamma per i sacrifici che ha compiuto per permettermi di intraprendere questo percorso e per aver sempre creduto in me.

Vorrei particolarmente ringraziare il Prof. Alessandro Ricci per la Sua disponibilità, cortesia e l'opportunità di approfondire un argomento così interessante e innovativo.

Ringrazio in egual modo l'Ing. Angelo Croatti per la disponibilità, gentilezza e l'attenzione mostrata durante la stesura di questo lavoro.

Ringrazio tutti i compagni d'Università con i quali, tramite il frequente lavoro di squadra, ho stretto amicizie importanti.

Un sentito ringraziamento è per Aurelio e Luigi per avermi sostenuto nei momenti più difficili, insegnandomi a non abbattermi mai.

Dulcis in fundo, desidero ringraziare la mia ragazza che in ogni istante mi ha sempre sostenuto in qualunque scelta io facessi. Durante la fine del mio percorso, quando sembrava che terminare questi tre anni sarebbe stato impossibile, mi è stata ancora più vicino. Ed ora che questi tre anni sono finiti cercherò come ho sempre fatto di ripagarla allo stesso modo

Bibliografia

- [1] J. Quinlan, “Wearable tech market trends.” <https://www.slideshare.net/JenQuinlan/wearable-tech-market-trends-jen-quinlan-may-2014>.
- [2] E. Garvin, “Is google glass the future of connected health?” <https://hitconsultant.net/2013/11/11/is-google-glass-the-future-of-teletrauma/>.
- [3] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, “Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum,” *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, vol. 2351, 01 1994.
- [4] G. S. for Digital Products, “Virtual reality, augmented reality and mixed reality.” <https://dribbble.com/shots/2858797-Virtual-Reality-Augmented-Reality-and-Mixed-Reality>.
- [5] A. B. Craig, *Understanding Augmented Reality*. MK, 2013.
- [6] Sony, “Hologram optics technology.” <https://developer.sony.com/develop/smarteyeglass-sed-e1/>.
- [7] Varifocals.net, “How does google glass work?.” <https://www.varifocals.net/google-glass/>.
- [8] F. Longo, L. Nicoletti, and A. Padovano, “Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators’ capabilities and competencies within the new smart factory context,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 113, pp. 144 – 159, 2017.
- [9] D. Wu, M. Greer, D. Rosen, and D. Schaefer, “Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 32, pp. 564–579, 05 2013.
- [10] R. Masoni, F. Ferrise, M. Bordegoni, M. Gattullo, A. E. Uva, M. Fiorentino, E. Carrabba, and M. D. Donato, “Supporting remote maintenance in

- industry 4.0 through augmented reality,” *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1296 – 1302, 2017. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.
- [11] W. Barfield, “Wearable computers and augmented reality: Musings and future directions, in: Woodrow barfield (ed.), *fundamentals of wearable computers and augmented reality*,” pp. 3–6, CRC Press, 2015.
- [12] T. Starner, “The challenges of wearable computing: Part 2,” *Micro, IEEE*, vol. 21, pp. 54 – 67, 08 2001.
- [13] K. Popat and P. Sharma, “Wearable computer applications a future perspective,” *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 3, pp. 213–217, 01 2013.
- [14] T. C. Woodrow Barfield, “Fundamentals of wearable computers and augmented reality,” CRC Press, 2001.
- [15] T. Starner, “The challenges of wearable computing: Part 1,” *Micro, IEEE*, vol. 21, pp. 44 – 52, 08 2001.
- [16] K. Ching and M. M. Mahinderjit Singh, “Wearable technology devices security and privacy vulnerability analysis,” *International Journal of Network Security & Its Applications*, vol. 8, pp. 19–30, 05 2016.
- [17] S. Jhajharia, S. Pal, and S. Verma, “Wearable computing and its application,” *(IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 5, pp. 5700–5704, 07 2014.
- [18] R. Massof, D. Rickman, and P. Lalle, “Low vision enhancement system,” *Johns Hopkins APL Technical Digest (Applied Physics Laboratory)*, vol. 15, pp. 120–125, 4 1994.
- [19] J. R. Greg Kipper, “Augmented reality an emerging technologies guide to ar,” pp. 7 – 14, Syngress, 2012.
- [20] M. Billinghamurst, “The glass class - designing wearable interfaces.” <https://www.slideshare.net/marknb00/chi-2015-the-glass-class-designing-wearable-interfaces>.
- [21] P. Jon, *Augmented Reality - Where We Will All Live*. Springer International Publishing, 2017.

-
- [22] W. Barfield, “Wearable computers and augmented reality: Musings and future directions, in: Woodrow barfield (ed.), fundamentals of wearable computers and augmented reality,” p. 87, CRC Press, 2015.
- [23] T. Starner, “Project glass: An extension of the self,” *IEEE Pervasive Computing*, vol. 12, pp. 14–16, April 2013.
- [24] W. Barfield, “Wearable computers and augmented reality: Musings and future directions, in: Woodrow barfield (ed.), fundamentls of wearable computers and augmented reality,” pp. 60–60, CRC Press, 2015.
- [25] Deloitte, “Industry 4.0. challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies.” <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-enmanufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>.
- [26] A. Pereira and F. Romero, “A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept,” *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1206–1214, 12 2017.
- [27] R. T. Azuma, “The most important challenge facing augmented reality.” https://ronaldazuma.com/papers/Presence_AR_challenge.pdf.
- [28] M. Ben-Daya, E. Hassini, and Z. Bahroun, “Internet of things and supply chain management: a literature review,” *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 15-16, pp. 4719–4742, 2019.
- [29] “Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 101, pp. 528–543, 11 2016.