

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

Scuola di Ingegneria e Architettura  
Campus di Cesena  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria e Scienze Informatiche

STUDIO DI AUGMENTED WORLD COME  
PARADIGMA DI PROGETTAZIONE DI SISTEMI  
BASATI SU REALTÀ AUMENTATA E PERVASIVE  
COMPUTING - VERSO LA DEFINIZIONE DI UN  
MODELLO

Elaborata nel corso di: Programmazione Avanzata e Paradigmi

*Tesi di Laurea di:*  
ALESSIA PAPINI

*Relatore:*  
Prof. ALESSANDRO RICCI

*Co-relatori:*  
Ing. ANGELO CROATTI

---

ANNO ACCADEMICO 2014–2015  
SESSIONE III



# PAROLE CHIAVE

Realtà aumentata  
Pervasive Computing  
Augmented Worlds  
Internet of Things



*A me e alla mia famiglia*



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>5</b>
2.1	IoT e Pervasive/Ubiquitous computing . . . . .	5
2.2	Wearable computing . . . . .	8
2.3	Realtà virtuale e realtà aumentata . . . . .	10
2.3.1	Tipologie di display . . . . .	12
2.3.2	Registrazione e latenza . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Augmented World</b>	<b>21</b>
3.1	Entità aumentate . . . . .	22
3.2	Percezione e interazione . . . . .	23
3.3	Utente . . . . .	24
3.4	Accoppiamento tra mondo fisico e mondo virtuale . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Un approccio concreto: Mirror Worlds</b>	<b>27</b>
4.1	Introduzione ai Mirror Worlds . . . . .	28
4.1.1	Mirror workspace e mirror artifact . . . . .	29
4.1.2	Mirror agent e body artifact . . . . .	29
4.1.3	Coupling . . . . .	30
4.2	Implementazione . . . . .	31
4.2.1	Mirror Workspaces . . . . .	31
4.2.2	Mirror Artifact . . . . .	32
4.2.3	Esempio: Hello World! . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Tassonomia</b>	<b>39</b>
5.1	Percettibilità tra utente ed entità aumentate . . . . .	39
5.1.1	Entità non percepibile . . . . .	40

5.1.2	Entità percepibile . . . . .	41
5.2	Accoppiamento fisico/virtuale . . . . .	45
5.2.1	Virtuale . . . . .	45
5.2.2	Accoppiamento limitato ad una posizione . . . . .	45
5.2.3	Accoppiamento con un oggetto fisico . . . . .	46
5.3	Dinamicità del contenuto . . . . .	47
5.3.1	Contenuto statico . . . . .	47
5.3.2	Contenuto dinamico . . . . .	48
5.4	Modello di comportamento . . . . .	48
5.4.1	Passivo . . . . .	48
5.4.2	Reattivo . . . . .	49
5.4.3	Proattivo . . . . .	49
5.5	Livello di interazione tra le entità . . . . .	49
5.5.1	Interazione assente . . . . .	49
5.5.2	Interazione presente . . . . .	50
5.6	Classificazione di applicazioni note . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Modello</b>	<b>51</b>
6.1	Augmented Entity . . . . .	53
6.1.1	Augmented Entity Coupled . . . . .	55
6.2	Proprietà di osservazione e osservabilità . . . . .	56
6.3	Zona . . . . .	58
6.4	Augmented Agent . . . . .	58
6.4.1	Situated Augmented Agent . . . . .	59
6.5	Augmented World . . . . .	60
6.5.1	Partecipazione dell'utente . . . . .	60
6.5.2	Interfaccia di accoppiamento . . . . .	62
6.6	Interazione . . . . .	63
6.6.1	Interazione tra agenti ed entità . . . . .	63
6.6.2	Interazione tra mondo fisico e mondo aumentato . . . . .	64
6.7	Casi di studio . . . . .	64
6.7.1	Domotica . . . . .	65
6.7.2	Avionica e ARMAR . . . . .	66
6.7.3	Cultura e turismo . . . . .	67
6.7.4	Militare . . . . .	69
6.7.5	Gaming . . . . .	71





# Capitolo 1

## Introduzione

A partire dagli anni '60 si è assistito ad una sorta di seconda “rivoluzione industriale”, associata allo sviluppo e alla diffusione delle tecnologie digitali. Negli ultimi quarant'anni, infatti, si è passati dai mainframe ai personal computer, per arrivare oggi ad una larga diffusione di laptop, PDA e smartphone con un utilizzo prevalentemente legato ad applicazioni di *office automation* e di accesso alla rete Internet.

Un grande passo avanti è stato fatto proprio in relazione all'uso della rete Internet, utilizzandola come piattaforma in grado di coordinare e far comunicare tra loro oggetti utilizzati nella vita di tutti i giorni.

Il supporto di Internet e il progresso delle tecnologie di *mobile computing* hanno consentito lo sviluppo del concetto di *pervasive computing*. Il pervasive computing sfrutta sia le tecnologie wireless, per fornire servizi all'utente indipendentemente dalla sua posizione, sia la realtà aumentata, come tecnologia in grado di fornire un'interfaccia utente in grado di nascondere alla consapevolezza umana l'utilizzo diretto del computer, integrando oggetti virtuali con oggetti reali che sembrano coesistere nello stesso ambiente fisico.

La realtà aumentata è la tecnologia che permette di aggiungere, agli oggetti del mondo reale, livelli aggiuntivi di informazione virtuale accessibili in tempo reale e in modo contestuale, per mezzo di opportuni dispositivi di elaborazione e di visualizzazione. Tali dispositivi possono essere computer portatili, smartphones, tablets ed anche dispositivi wearable. Una proprietà notevole dei sistemi di realtà aumentata è quella di poter rendere direttamente visibile ed accessibile l'informazione che normalmente è inaccessibile

ai sensi. Tale proprietà determina un cambiamento rilevante nella modalità di interazione uomo-macchina. Inoltre lo sviluppo di dispositivi wearable ha permesso di concepire una nuova generazione di sistemi che possono fornire un supporto, insieme alla realtà aumentata, al lavoro quotidiano delle persone.

Negli ultimi anni, si sta riconoscendo il valore dell'utilizzo di queste tecnologie sia come miglioramento dei servizi in ambito pubblico sia in applicazioni aziendali, ispezioni di ambienti pericolosi o in ambito industriale. Tuttavia lo sviluppo di un sistema robusto di realtà aumentata coinvolge diverse tecnologie, per questo è necessario individuare una criterio che permetta di integrarle in modo adeguato.

In questo lavoro si vuole esaminare lo stato dell'arte relativo alle tecnologie che abilitano la realizzazione di applicazioni di realtà aumentata e pervasive computing.

In particolare si vuol far riferimento alla nozione di "*augmentation*" che può essere ritrovata in diverse tecnologie come Internet of Thing, pervasive computing, wearable computing e realtà aumentata. Attraverso un'analisi tassonomica si vogliono individuare le caratteristiche ed i requisiti fondanti degli ambiti applicativi trattati per poter definire un modello che possa essere utilizzato come riferimento per diverse tipologie di applicazioni.

Il lavoro è svolto affrontando, nel capitolo 2, una panoramica delle tecnologie in cui si può ritrovare il concetto di *augmentation* e che possono essere considerate tecnologie abilitanti al fine di realizzare applicazioni di realtà aumentata.

Nel capitolo 3 viene introdotto il concetto di *augmented world* come sistema software in grado di sviluppare applicazioni che unificano le diverse forme di *augmentation* e se ne descrivono le caratteristiche principali. L'*augmented world*, infatti, ha lo scopo di estendere l'ambiente fisico non solo con informazioni statiche, ma con la presenza di oggetti computazionali con un proprio comportamento, a prescindere dallo specifico contesto applicativo.

Nel capitolo 4 si espone il Mirror Worlds, ovvero un esempio concreto che realizza l'idea di *augmented world*.

Nel capitolo 5 si affronta un'analisi tassonomica definendo alcune dimensioni che possono caratterizzare le principali applicazioni in ambito di IoT, wearable computing e realtà aumentata per poter distinguere i requisiti che ogni ambito applicativo richiede.

Nel capitolo 6 si definisce un modello per l'augmented world, che prescinde da una specifica implementazione, e si analizzano nel dettaglio i concetti principali che lo compongono. In seguito si realizza una prima validazione modellando diverse tipologie di applicazioni esistenti per dimostrare che la realizzazione è conforme a ciò che è stato definito.

Infine, nel capitolo 7, vengono espone le conclusioni ed un'opportuna analisi del modello descritto in termini di adeguatezza, rilevandone eventuali limiti.



# Capitolo 2

## Stato dell'arte

La nozione di *augmentation* [9] che si vuole considerare, fa riferimento a diversi aspetti riguardanti in primo luogo la realtà aumentata per poi spaziare dall'*environment augmentation* relativa al pervasive/ubiquitous computing e Internet of Things, alla *human augmentation* supportata dalle tecnologie wearable.

### 2.1 IoT e Pervasive/Ubiquitous computing

Il termine Internet of Things (IoT) [42], è stato coniato da Kevin Ashton nel 1999 in riferimento ad una rete di *radio frequency identification* (RFID) in grado di connettere gli oggetti tra loro.

L'IoT si basa sull'idea di *smart objects*, ovvero di oggetti dotati d'identità, che possono essere localizzati e che possiedono capacità sia di elaborazione di dati sia d'interazione con l'ambiente circostante. Più precisamente l'IoT identifica un'interconnessione in rete tra oggetti di uso quotidiano in modo da consentire agli oggetti stessi sia di raccogliere le informazioni provenienti dall'ambiente sia di interagire e cooperare tra loro in qualsiasi momento. Tali oggetti, inoltre, possono essere gestiti da remoto ed agire come punti di accesso per diversi servizi Internet.

La forte diffusione di dispositivi dotati di tecnologia wireless, come Bluetooth, RFID, Wi-Fi, ed in grado di sfruttare un'ampia gamma di sensori e di attuatori, ha permesso all'IoT di essere applicato ad un'ampia gamma di applicazioni, trasformando il modo in cui vengono svolte le attività sia in ambito di vita quotidiana che in ambito lavorativo come nel campo della

sanità, dei trasporti, della domotica, dell'avionica e del settore industriale [34].

Un importante ruolo è ricoperto dai sensori come tecnologia abilitante, che consente ai sistemi di acquisire informazioni dal mondo fisico e rendere il dispositivo consapevole di cosa circonda l'utilizzatore. Questo implica che i sensori siano molteplici, che le informazioni estratte dal mondo fisico vengano aggregate e comunicate all'applicazione in maniera efficace ed efficiente.

La rivoluzione di Internet ha portato all'interconnessione tra le persone ad un ritmo senza precedenti, integrando i sistemi di informazione e comunicazione in modo invisibile nell'ambiente [12]. Per queste ragioni, l'IoT lavora con uno spazio di informazioni molto più ampio rispetto a quello di Internet; ciò si traduce nella generazione di enormi quantità di dati che devono essere memorizzati, elaborati e presentati in modo efficiente e facilmente interpretabile. Per questo viene sfruttato il *cloud computing* [18] in grado di fornire un'infrastruttura virtuale che integra dispositivi di *storage*, strumenti di analisi e di elaborazione dei dati. Quest'infrastruttura consente di fornire servizi ai quali gli utenti possono accedere, attraverso applicazioni, da qualsiasi luogo.

Ormai la maggior parte dei sistemi di elaborazione non è costituita da personal computer bensì da dispositivi in stretta relazione con l'ambiente in cui operano, che in genere hanno una funzione prefissata e per questo motivo non richiedono di caricare programmi né, in molti casi, di avere interfacce tradizionali con tastiera e monitor.

Questi sistemi, sui quali si basa l'IoT, sono i sistemi embedded, ovvero sistemi *special-purpose* progettati per una determinata funzione o compito, spesso con una piattaforma hardware ad hoc ed integrati in sistemi o in dispositivi elettronici di diverse dimensioni. Sono tipicamente costituiti da una parte hardware e da una software e sono pensati per funzionare per periodi estesi di tempo, processando ripetutamente dati in input e generando dati di output. Tali sistemi oltre ad essere fortemente specializzati ed ottimizzati per svolgere un ristretto numero di compiti, sono soggetti a vincoli molto stringenti di consumo, di potenza, prestazioni, dimensioni, affidabilità e funzionamento in real-time. Per questo motivo sono caratterizzati da risorse hardware limitate ed il loro compito è realizzato secondo una progettazione orientata all'efficienza, quindi in grado di garantire maggior velocità possibile e consumi ridotti.

Negli ultimi anni questi sistemi si sono evoluti e sempre più diffusi, sia nella vita quotidiana sia in area industriale. Questa tendenza si è concretizzata anche grazie alla diffusione dell'IoT, che rende gli oggetti in grado di comunicare dati riferiti a se stessi e accedere a informazioni aggregate da parte di altri.

I sistemi embedded [39], dominano numericamente il mercato rispetto ai più noti e visibili sistemi *general purpose*, come i personal computer. Si ritiene infatti che attualmente un cittadino del mondo occidentale entri in contatto giornalmente con circa 100 sistemi dedicati. In un ambiente domestico, per esempio, vi sono al massimo due o tre computer, ma non meno di 40 sistemi embedded e secondo i dati del World Trade Statistics, le previsioni di crescita stimano che nel 2020 si dovrebbe raggiungere un valore pari a 40 miliardi di unità. Per convincersi di ciò, basti pensare che ciascuno dei seguenti apparati contiene normalmente sistemi elettronici dotati di almeno un micro-processore: bancomat, testina di una stampante a getto d'inchiostro, lavatrice, lavapiatti, serratura elettronica, navigatore, carta di credito.

La presenza di tali sistemi in diverse tipologie di prodotti non ha solamente lo scopo di realizzare le funzionalità desiderate ma sempre più spesso diviene il veicolo per introdurre innovazione.

Il fiorire dell'IoT ha favorito un crescente interesse per un nuovo paradigma informatico, l'ubiquitous o pervasive computing [2], che mira a realizzare una tecnologia invisibile e pervasiva che sia allo stesso tempo in grado di circondare le persone nei differenti momenti della loro giornata attraverso gli oggetti che vengono quotidianamente usati, senza la consapevolezza delle tecnologie sottostanti.

*“The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it ”*, [7] in questo modo Mark Weiser esprime l'obiettivo dell'ubiquitous computing, ovvero migliorare la *human-computer interaction* in modo da offrire all'utente la disponibilità di usufruire delle tecnologie in tutto l'ambiente fisico, ma rendendole di fatto invisibili.

Tale invisibilità non è una conseguenza fondamentale della tecnologia, ma della psicologia umana, infatti, ogni volta che le persone imparano sufficientemente bene qualcosa, smettono di esserne consapevoli. Per esempio, quando si osserva un cartellone stradale, si assorbono le relative informazioni senza consciamente effettuare l'atto della lettura. Solo in questo modo,

quando le azioni possono essere effettuate senza pensare, si può mettere a fuoco quello che c'è oltre ad esse.

In questa prospettiva, ubiquitous computing non esprime solo la possibilità di utilizzare i device in qualsiasi ambiente [7] ma implica un'elaborazione delle informazioni completamente integrata all'interno di oggetti e attività di tutti i giorni. In questo modo, si vogliono rendere invisibili le tecnologie utilizzate, rendendo l'ambiente dotato di un contenuto informativo e consentendo un'interazione *smart* per lo svolgimento di qualsiasi operazione banale o complessa.

## 2.2 Wearable computing

Un'ulteriore conseguenza dello sviluppo del contesto tecnologico dell'IoT e dell'ubiquitous computing è lo sviluppo del *wearable computing* [23] che agevola la human-computer interaction, progettando e costruendo device computazionali o sensori miniaturizzati e indossabili, sempre attivi e accessibili.

I dispositivi wearable, la cui definizione potrebbe essere "*anything that can be put on and adds to the user's awareness of his or her environment*" [35] nascono dal bisogno di avere dispositivi sempre e costantemente immersi nell'ambiente in cui viviamo. Una volta che i cellulari sono diventati smartphone, si è provato ad effettuare un ulteriore passo per creare qualcosa che fosse non solo portatile, ma che raggiungesse quasi il livello di una vera e propria *augmentation* del corpo.

I dispositivi wearable, infatti, rappresentano tutti quei dispositivi elettronici che possono essere indossati da una persona e che hanno la possibilità - diretta o indiretta - di avere accesso a Internet, permettendo così di effettuare azioni straordinarie che non sarebbero possibili utilizzando solo il proprio corpo. Smartwatch, smartglass e fitness tracker sono tutti esempi di dispositivi wearable che si stanno diffondendo nel mercato negli ultimi anni. Nel 2014, il numero di dispositivi wearable venduti ammontava a 19 milioni e, secondo la società di analisi Abi Research, questo valore aumenterà fino a 485 milioni entro il 2018. Molte discipline, da quelle sportive a quelle mediche hanno visto grandi possibilità di innovazione nell'uso di questa tipologia di dispositivi. Un esempio è dato dall'uso di braccialetti che monitorano il battito cardiaco oppure calcolano la distanza percorsa e le calorie

consumate. Questo rappresenta solo alcune delle numerose funzionalità che i dispositivi wearable possono offrire.

Lo sviluppo di questi dispositivi deve tener conto delle caratteristiche di dimensione, consumo di potenza e integrazione funzionale, che consentono di realizzare dispositivi wearable capaci non solo di catturare segnali fisiologici e comportamentali dal corpo, ma anche di elaborarli in tempo reale.

I sistemi wearable sono la nuova sfida tecnologica che il mondo dell'elettronica ha iniziato ad affrontare da qualche anno, infatti i produttori di componenti elettronici si stanno impegnando per rendere disponibili sul mercato i componenti funzionali di un sistema indossabile: il microcontrollore, l'interfaccia uomo-macchina, la connettività wireless, la connettività al mondo fisico ed il sistema di alimentazione elettrica. Ognuno di questi componenti dev'essere sviluppato in modo da essere compatibile con le specifiche funzionali di un sistema wearable, ovvero: dimensioni ridottissime dell'ordine del centimetro, capacità computazionali dello stesso ordine dei sistemi non wearable, consumi di potenza tali da consentirne il funzionamento prolungato. Hololens [21] e iWatch [16], due emblematici esempi dello stato dell'arte dei sistemi wearable, non sono altro che la punta dell'iceberg della tecnologia wearable, di cui altri esempi possono essere i bracciali come Myo [37] e fasce per il fitness.

Non bisogna pensare, comunque, ai dispositivi wearable come alla miniaturizzazione degli smartphone. I sistemi wearable hanno una finalità applicativa diversa e ben più ampia degli smartphone, in particolare quella di realizzare la connessione diretta tra mondo fisico e fisiologico con l'individuo e con il mondo della tecnologia e della comunicazione che lo circonda. Lo smartphone quindi non sarà sostituito da sistemi wearable, ma realizzerà per questi un livello di cloud computing a basso costo e bassa complessità, la cosiddetta *wireless personal area network* (WPAN)[19], che mette insieme i dispositivi palmari con i dispositivi wearable per interconnettere e controllare l'ambiente che ci circonda in maniera immediata e personalizzata.

Dunque, anche se i sistemi wearable appaiono come una evoluzione dimensionale degli smartphone, di fatto si tratta di sistemi elettronici di qualsiasi natura con cui una persona interagisce. Della tecnologia mobile i sistemi wearable usano solo una piccola parte, mentre la maggior componente tecnologica è stata sviluppata specificamente per consentirne la progettazione e la realizzazione industriale.

## 2.3 Realtà virtuale e realtà aumentata

Le tecnologie di cui si è trattato fin'ora possono essere considerate come indipendenti oppure come insieme di tecnologie abilitanti che si integrano tra loro per realizzare sistemi più complessi: un esempio sono i sistemi basati sulla realtà aumentata.

In primo luogo è necessario fare una distinzione tra realtà aumentata (AR) e realtà virtuale (VR).

Paul Milgram ha introdotto il concetto di *reality-virtuality continuum* [22] riportato in figura 2.1 con il quale viene espresso come la realtà aumentata e la realtà virtuale siano collegate tra loro. Secondo Milgram il mondo reale e l'ambiente virtuale rappresentano due condizioni estreme. La realtà aumentata viene collocata vicino all'ambiente reale, essendo il mondo reale predominante rispetto agli elementi virtuali aggiunti; in modo simmetrico all'AR, compare l'AV che rende primario l'utilizzo di elementi virtuali.

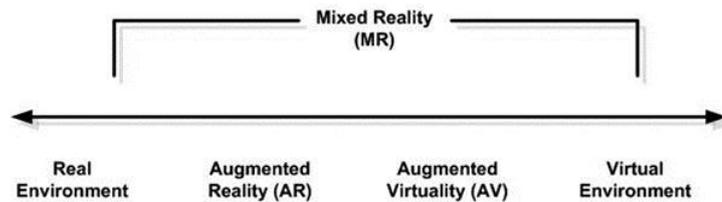


Figura 2.1: Reality-virtuality continuum

In particolare, con il termine realtà virtuale [11], ci si riferisce a simulazioni interamente *computer-generated* di un particolare dominio d'interesse. La realtà virtuale è una simulazione che viene percepita totalmente dai nostri sensi. Il primo senso a cui si fa riferimento è la vista, seguito dall'udito e dal tatto.

I sistemi di realtà virtuale consentono agli utenti di vivere esperienze che altrimenti sarebbero troppo pericolose, costose o impossibili da sperimentare in prima persona. La realtà virtuale non è semplicemente la rappresentazione tridimensionale di un elemento nello spazio ma essa implica almeno tre caratteristiche fondamentali [24]:

- **immersione:** l'utilizzatore del sistema deve avere l'impressione di essere parte della realtà virtuale che viene rappresentata. La sensazione

di immersione può essere mentale nel caso in cui l'utente immerga se stesso nell'ambiente attraverso il pensiero. Questo è quello che succede tipicamente quando si guarda un'immagine tridimensionale sullo schermo. L'immersione può essere anche fisica nel caso in cui, attraverso strumenti sofisticati di rappresentazione dell'immagine come occhiali stereoscopici associati a cuffie stereofoniche (*stereoscopic head mounted displays*) e *datagloves*, l'utilizzatore abbia la sensazione di essere parte dell'ambiente di realtà virtuale ricevendo allo stesso tempo stimoli ulteriori visivi, acustici e tattili;

- navigazione: rappresenta la capacità di muoversi all'interno delle ambiente virtuale esplorando elementi e strutture da diversi punti di vista, senza alcuna restrizione. Questa caratteristica rende possibili anche importanti applicazioni in ambito terapeutico e chirurgico in cui possono essere esaminati gli organi da un punto di vista interno;
- interazione: implica la capacità di interagire con la realtà virtuale in tempo reale potendo manipolare e trasformare gli elementi come se fossero reali. Questo rappresenta uno degli aspetti più complessi dell'intero sistema e richiede un'enorme capacità di calcolo da parte dei computer ed algoritmi che devono essere in grado di prevedere diverse possibilità d'interazione da parte dell'utilizzatore con il sistema.

La realtà aumentata [15], invece, sebbene possa essere pensata come una variazione della realtà virtuale, ha una differenza sostanziale che consiste nella sovrapposizione di una realtà virtuale generata in tempo reale, alla realtà percepita dall'utente.

La realtà aumentata lascia, quindi, all'utente la possibilità di interagire in tutto e per tutto con il mondo reale, anche se quest'ultimo viene arricchito con elementi virtuali che possono essere percepiti dai sensi umani come rappresentazioni di oggetti 2D/3D, suoni e odori che si fondono con oggetti fisici o con l'ambiente reale: dunque gli elementi virtuali non rimpiazzano la realtà, bensì cooperano con la stessa fornendo informazioni che l'utente altrimenti non potrebbe direttamente rilevare con i propri sensi.

Ronald Azuma, Capo di ricerca presso Centro Ricerche Nokia, infatti, afferma che "*Augmented Reality (AR) is an environment that includes both virtual and real-world elements*" [25], quindi lo scopo non è quello di sostituire il mondo reale, come tende a fare la realtà virtuale, ma di estendere la realtà.

La particolarità della realtà aumentata è combinare e registrare il mondo reale con un modello digitale del sistema. L'ambiente reale e virtuale sembrano coesistere e l'utente si può muovere liberamente nella scena, con la possibilità, altresì, di interagire con essa. Tutto ciò deve essere ovviamente elaborato in maniera ottimale, ovvero, in maniera tale che l'utente abbia la percezione di una singola scena, nella quale le entità reali e virtuali siano pressoché indistinguibili. I campi di utilizzo della realtà aumentata sono molteplici, alcuni esempi riguardano l'ambito militare, medico, manifatturiero e culturale.

A causa dell'enorme sviluppo tecnologico degli ultimi anni, le modalità di interazione tra uomo e macchina sono completamente mutate. Quanto appena detto ci fa comprendere come la tecnologia sia arrivata a essere trasparente agli occhi degli utenti e come essa sia riuscita a ritagliarsi un ruolo importante all'interno della vita quotidiana. In particolare modo, grazie alla realtà aumentata, si è in grado di raggiungere una completa sinergia tra contenuti virtuali e mondo reale. L'interazione con oggetti o interlocutori reali viene arricchita da informazioni virtuali direttamente percepibili tramite l'ausilio di dispositivi esterni. La scelta della tecnologia da utilizzare dipende fondamentalmente dai requisiti che il sistema di realtà aumentata richiede; di seguito sono espone le principali alternative.

### 2.3.1 Tipologie di display

La tipologia di dispositivi hardware più utilizzata, in applicazioni di realtà aumentata, è rappresentata dai visori *see-through*, come gli *Head Mounted Display* (HMD), che consentono la visione dell'ambiente circostante e allo stesso tempo forniscono una sensazione di immersione nell'ambiente di realtà aumentata permettendo, inoltre, di avere le mani libere per agire sulla scena.

Essi sono indossabili dall'utente e si distinguono in:

- *optical see-through*: capaci di mostrare grafici, scritte e immagini di sintesi in sovrapposizione alla normale visione dell'utente, arricchendola di utili informazioni. Un divisore di fascio ottico, consistente in uno specchio traslucido, trasmette la luce in una direzione e contemporaneamente la riflette nell'altra. Si tratta quindi di tecnologie parzialmente trasmittenti poiché, guardando attraverso la lente si può vedere l'immagine virtuale sovrapposta a quella reale. Tali divisori di

fascio sono molto simili agli *Head-Up Display* usati dai piloti degli aerei militari. [Fig. 2.2]

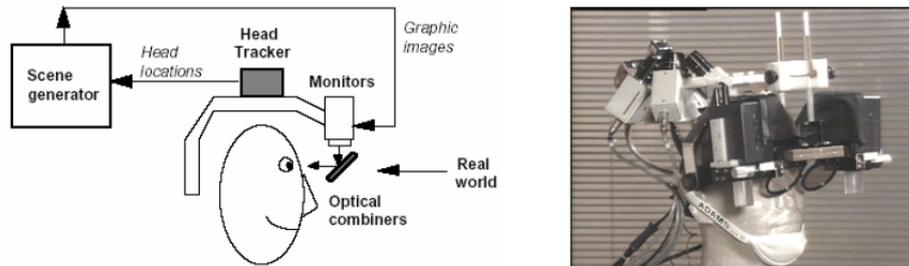


Figura 2.2: Principio di funzionamento basato su optical see-through

- video see-through: usano invece due telecamere, una per ciascun occhio, che acquisiscono l'immagine reale; si tratta, quindi, di un sistema computerizzato che fonde le immagini reali con quelle di sintesi e le invia agli occhi tramite due display. Questa scelta permette di realizzare effetti visivi più complessi, ma ha un fattore diverso dal visore optical see-through, perché impone un piano di messa a fuoco costante per tutta la scena e questo rende il sistema poco confortevole. L'immagine del mondo reale è di conseguenza mescolata elettronicamente con l'immagine generata dal computer ed esposta sul display a cristalli liquidi dello schermo dell' HMD. [Fig. 2.3]

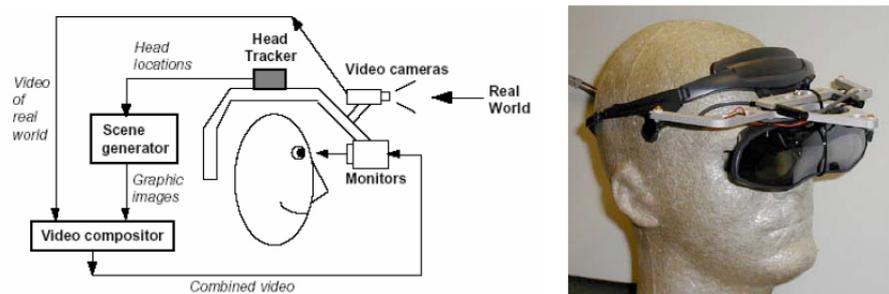


Figura 2.3: Principio di funzionamento bastato su video see-through

In modo analogo ai visual display, che permettono di mostrare elementi virtuali attraverso l'uso della vista, gli audio display producono contenuti audio che possono essere percepiti dall'utente attraverso l'udito.

Gli audio display utilizzati sono principalmente headphones e earbuds, che appartengono alla stessa tipologia di dispositivi ma si differenziano in quanto i primi sono indossati sopra l'orecchio, mentre i secondi all'interno dell'orecchio e questo comporta una diversa percezione del suono che si ascolta. I dispositivi portatili come smartphone e tablet hanno solitamente un display audio integrato e spesso dispongono di un jack per consentire di collegare un paio di cuffie o auricolari.

L'aspetto chiave degli audio display portatili è rappresentato dal fatto che possono essere privati o meno a seconda dei desideri dell'utente. Infatti, con il volume alto, il suono può essere ascoltato da chiunque nella zona entro un certo raggio, mentre con il volume più basso o con il collegamento di cuffie o auricolari, l'utente può avere completa privacy.

Utilizzando questi dispositivi si supera il problema dell'inquinamento acustico e si offre maggior privacy agli utenti. Questo, però, può rappresentare un problema in termini di sicurezza, infatti, isolando la persona dai suoni che la circondano, comporta isolarla anche da allarmi antincendio, suoni d'emergenza o simili. Un ulteriore problema relativo alla salute della persona è rappresentato dalla possibilità che questi dispositivi possano causare danni all'udito se utilizzati con un volume troppo alto o per un tempo prolungato.

Gli headphones possono essere classificati in due tipi:

- closed ear: hanno come obiettivo quello di minimizzare la quantità del suono esterno udibile da chi le indossa;
- open ear: riducono al minimo la restrizione nel sentire i suoni esterni. Tale tipologia viene frequentemente utilizzata in studi di registrazione, quando un cantante vuole sentire la musica ma anche la propria voce mentre canta. L'open ear è la soluzione che può ritenersi più naturale per sistemi di AR.

Questa differenziazione può essere analoga alla differenza tra i visual display di tipo video see-through che occludono completamente la vista e la tipologia optical see-through.

Un'ulteriore tipologia di dispositivi si riferisce al senso del tatto e può essere esaminata in base a due componenti:

- skin sensation: riguarda le sensazioni di temperatura, consistenza e dolore percepite dall'utente;
- forces: rappresenta la forza che il corpo deve esercitare, in contrapposizione alla forza impiegata dall'utente.

Per meglio comprendere le caratteristiche che dovranno essere ricreate, si può fare riferimento ad una palla da bowling. Una persona, sollevando una palla da bowling, deve far fronte alla forza di gravità che viene esercitata su essa e mentre le mani toccano la palla, la persona stessa acquisisce informazioni su quello che sta toccando e la sensazione percepita sarà quella di un oggetto liscio.

Alcuni sistemi tattili sono passivi: l'utilizzo di un binocolo digitale, fornisce informazioni al corpo dell'utilizzatore nel momento in cui l'oggetto tocca il viso. La stessa caratteristica si riscontra tenendo uno smartphone in mano; si ha una sensazione tattile che è data sia dalla forza di gravità che dalle sensazioni percepite della pelle, ovvero la consistenza dell'oggetto.

Di conseguenza, qualsiasi display che tocca il corpo di una persona, fornisce una sorta di schermo tattile. Altri oggetti, come ad esempio una lampada di calore, sono in grado di fornire una sensazione tattile, anche quando non sono a contatto con la persona.

Oltre a questi tipi di interfacce passive, la realtà aumentata è in grado di fornire display tattili attivi sia per le forze esercitate che per le sensazioni percepite dalla pelle. Ci sono trasduttori che possono essere utilizzati per riscaldare e raffreddare rapidamente sulla base di un segnale elettrico. Di conseguenza, le persone che indossano tali sensori sulla punta delle dita, possono percepire la temperatura degli oggetti virtuali che intercettano. [Fig. 2.4]

Le sensazioni di forza sono più complicate da raggiungere. Uno dei problemi principali consiste nel nascondere l'utilizzo di dispositivi in grado di trasmettere un *force feedback* ai partecipanti. La modalità più utilizzata per fornire un force feedback è, attualmente, l'utilizzo di dispositivi hardware in grado di trasmettere forze all'utente ma questo rappresenta indubbiamente un limite, in quanto può rovinare l'illusione creata dall'applicazione AR. Fornire un force feedback è sicuramente più semplice in sistemi di VR o AR in cui si utilizzano dispositivi video see-through in cui è occlusa la vista del mondo reale.



Figura 2.4: La skin sensation può essere simulata con traduttori che i partecipanti indossano sulle dita. In questo esempio un haptic canvas permette un'interazione tattile basata su fluido dilatante nel Bioimaging Laboratory dell'Osaka University [40].

Tuttavia, vi sono situazioni in cui in un'applicazione AR non rappresenta necessariamente un problema il fatto di vedere il dispositivo hardware. Un esempio di un'applicazione AR che fa uso di un dispositivo visibile di forze feedback potrebbe essere descritta dalla situazione in cui una persona vede un oggetto virtuale su un tavolo reale e vuole interagirvi. In questo caso, utilizzando un dispositivo come il PHANTOM Omni di Geomagic, in figura 2.5, si può percepire l'oggetto e coglierne aspetti strutturali, esplorandolo attraverso l'uso di una penna posta all'estremità del dispositivo.

Il dispositivo, in particolare, è formato da un braccio snodabile e da una penna che può essere utilizzata per esaminare gli oggetti percepiti. Si può individuare la forma dell'oggetto in modo molto simile a come si potrebbe fare ottenendo informazioni sulla forma di un oggetto reale esplorandolo con una penna. In questo particolare esempio, la visione del dispositivo tattile non rovina l'illusione creata dall'applicazione di AR, perché potrebbe sembrare solo ciò che esattamente è, ovvero un dispositivo per esplorare gli oggetti attraverso una penna. Un'alternativa è rappresentata dall'utilizzo del vibratore integrato che molti smartphone possiedono e che potrebbe essere utilizzato per fornire un *feedback* che può indicare molteplici cose. Un



Figura 2.5: Questo dispositivo da Geomagic è il dispositivo tattile Sensable PHANTOM Omni. Si tratta di un dispositivo in grado di segnalare sei gradi di libertà (X, Y, Z, yaw, pinch e roll) come input di forza e tre gradi di libertà (X, Y, e Z) come output forces feedback.

esempio potrebbe essere dato dalla possibilità di indicare quando il dispositivo entra in contatto con un oggetto virtuale. In questo modo, gli utenti possono percepire una sensazione tattile che riguarda la loro interazione con il mondo virtuale.

Il senso dell'odorato rappresenta un ulteriore senso che può essere utilizzato in applicazioni AR, anche se il suo utilizzo presenta alcuni problemi dati sia dalla difficoltà di diffondere un odore rapidamente, soprattutto in grandi aree, sia dalla difficoltà di "pulire" l'ambiente da un particolare odore quando dovrebbe non essere più percepito.

Un esempio di dispositivo che riguarda l'odorato è rappresentato da un insieme di tubi di gomma, come in figura 2.6, con i quali vengono percepiti gli odori dall'utente. Gli odori sono formulati in modo specifico, unendo dinamicamente quelli "primari" in modo da generarne di nuovi, sotto il controllo di un algoritmo che agisce in modo analogo alla creazione dei colori, ovvero partendo dall'utilizzo di quelli primari, ne possono essere definiti tanti altri.

Altri sensi, come il gusto, per ora sono di difficile esplorazione in AR. Per ora quelli ritenuti principali sono quelli che sono stati trattati, con il tempo saranno sviluppati dispositivi che riusciranno ad esplorare anche altri sensi.



Figura 2.6: In questa applicazione AR di Takuji Narumi dell'università di Tokyo, un partecipante indossa un HMD see-through head-mounted display con alcuni tubi attraverso i quali possono essere presentati al partecipante diversi odori. In questo esempio, il partecipante prova a dare un morso ad un biscotto insapore sul quale è impresso un fiducial marker. Con il sistema di AR, il partecipante vede il biscotto come uno specifico tipo di biscotto e gli si fa sentire l'odore corrispondente a quel tipo. I ricercatori sono interessati a come le percezioni di vista e olfatto influenzano il gusto. Gli esperimenti che hanno coinvolto questo sistema sono stati fatti anche facendo vedere al partecipante un tipo di biscotto mentre sentiva l'odore di un altro. Come si vede nell'immagine, i tubi sono fuori dalla vista del partecipante.

### 2.3.2 Registrazione e latenza

Una delle maggiori difficoltà nelle applicazioni di realtà aumentata, affinché il paradigma operativo funzioni e sia utile all'applicazione che si è implementata, è che i contenuti reali (dati, immagini etc.) ed i contenuti virtuali siano registrati tra loro.

Il concetto di registrazione consiste nell'allineamento e nella sincronizzazione del mondo virtuale e del mondo fisico. In particolare gli oggetti virtuali devono essere collocati nel mondo reale con precisione e con esattezza, infatti, solo in caso di perfetto allineamento le informazioni rilevate con applicazioni di realtà aumentata possono considerarsi utili e coerenti.

La registrazione con il mondo reale deve essere sia spaziale che temporale. Questo rappresenta uno degli aspetti più critici delle applicazioni di realtà aumentata, in quanto è complesso raggiungere una perfetta sincronizzazione con il mondo reale.

La registrazione spaziale è quella relativa alla posizione dell'elemento virtuale rispetto al mondo fisico, in modo che l'utente possa percepire l'oggetto in modo coerente con l'ambiente in cui si trova.

La registrazione spaziale può essere:

- assoluta: utilizzando le coordinate di latitudine e longitudine per definire la posizione dell'oggetto. Questo può essere utile quando si vuole mostrare il progetto finito di un immobile in una determinata zona di una città;
- relativa: utilizzando un sistema di coordinate relativo ad un oggetto o ambiente. Questa modalità può essere utilizzata in un ambiente chiuso, come una stanza, in cui si deve specificare la posizione di un libro rispetto ad uno specifico piano di appoggio, come può essere un tavolo.

La registrazione temporale è relativa ai cambiamenti nel mondo reale che devono essere propagati al mondo virtuale e viceversa. Per esempio, se un utente visualizza un elemento virtuale, questo sarà visualizzato da un particolare punto di vista che dipende dalla posizione fisica dell'utente stesso. Nel momento in cui l'utente cambia posizione, l'elemento dovrà essere visualizzato dal nuovo punto di vista.

Se vi è un ritardo nel sistema, ovvero una latenza, l'utente cambia la sua prospettiva ma il ritardo nell'elaborazione potrebbe determinare un

lento aggiornamento della scena. Nella realtà virtuale questa latenza non è percepita e per quanto riguarda la realtà aumentata tali ritardi possono essere in qualche modo superati nei sistemi che forniscono un *feed* video del mondo fisico, come i dispositivi video see-through, ritardando la vista del mondo fisico della stessa quantità del ritardo nella rappresentazione digitale. Al contrario, in sistemi che utilizzano dispositivi optical see-through l'utente percepirà nettamente il ritardo di elaborazione e questa fusione impropria può rovinare l'effetto rendendo quasi fastidioso e poco reattivo l'utilizzo della realtà aumentata. Ovviamente a seconda delle tipologie di applicazioni possono essere accettati diversi gradi di tolleranza.

Tuttavia, quando questi dispositivi sono destinati alla realizzazione di sistemi il cui uso è rivolto a piccoli ambienti interni, può essere più semplice controllare e limitare i problemi, come la variazione di luminosità, la localizzazione o la sincronizzazione, che invece possono essere incontrati nella realizzazione di applicazioni di realtà aumentata in ambienti esterni.

## Capitolo 3

# Augmented World

I progressi compiuti nell'ambito della computer vision e il mobile computing consentono di sviluppare applicazioni di realtà aumentata più complesse, ovvero quelle destinate ad ambienti esterni. In questo caso alcune condizioni sono più difficili da controllare come la localizzazione, la visualizzazione, l'assenza di vincoli di mobilità e l'utilizzo di dati georeferenziati.

Con questa visione si vuole introdurre il concetto di *augmented world*, inteso come sistema in grado di rappresentare un'estensione del mondo reale e quotidiano attraverso l'utilizzo di entità virtuali. L'*augmented world* può essere visto come un livello in grado di realizzare particolari funzionalità che generano un forte impatto sul mondo reale e sulla vita di tutti i giorni.

Più precisamente con il termine *augmented* si esprime un'estensione non solo del mondo reale ma anche delle capacità cognitive umane. Si vuole, infatti, arricchire la percezione sensoriale umana con informazioni o elementi, non percepibili in altro modo, utili per affrontare situazioni o problemi in modo più semplice sia in ambito quotidiano che lavorativo. In particolare, in quest'ultimo caso, consentendo alle persone di poter svolgere attività e operazioni in condizioni *hand-free*, ovvero senza l'utilizzo di dispositivi come smartphone/tablet che impegnino le mani. Per esempio un tecnico, nell'effettuare la manutenzione o la riparazione di un impianto complesso, può ottenere informazioni aggiuntive in tempo reale sulla struttura sulla quale interviene e può farlo indossando dei dispositivi wearable, quindi avendo le mani libere.

Questo porta a considerare un nuovo punto di vista dell'utente, ripensando sia al modo di lavorare che al modo di interagire e collaborare con le

persone. Infatti, quello al quale ci si riferisce, è un mondo nel quale l'utente è completamente immerso e ha la possibilità di interagire con gli elementi reali e virtuali attraverso nuove modalità.

Tutto ciò ha come conseguenza un forte impatto anche sul punto di vista di realizzazione delle applicazioni; se da una parte esistono le tecnologie che permettono lo sviluppo di ambienti aumentati, dall'altra il ruolo del software è determinante.

L'augmented world deve apparire come un ecosistema invisibile negli aspetti tecnici, in grado di connettere oggetti aumentati ad oggetti fisici sparsi nell'ambiente reale ed a loro volta equipaggiati con sensori e attuatori.

Gli oggetti aumentati devono poter essere gestiti o modificati da operazioni provenienti dall'ambiente fisico o da quelle provenienti direttamente dall'ambiente aumentato. Il concetto di augmented world non è orientato solo alla presenza di utenti bensì può essere sviluppato pensando alla sola esistenza di oggetti aumentati che interagiscono tra loro indipendentemente dal fatto che ci siano persone situate nell'ambiente.

Si precisa che il termine augmented non dev'essere per forza sinonimo di aumento di complessità data dalle molteplici indicazioni mostrate all'utente ma deve rendere l'ambiente semplice ed efficiente e quindi indicare all'utente solo ciò di cui ha necessità tralasciando stimoli superflui.

Di seguito si vogliono trattare alcune caratteristiche generali che definiscono l'augmented world.

### 3.1 Entità aumentate

Una delle caratteristiche dell'augmented world è la presenza di oggetti aumentati con una specifica posizione nell'ambiente fisico.

Questi oggetti sono identificati con il nome di *augmented entities* e sono istanziati a *runtime* specificandone la locazione spaziale, che può essere assoluta o relativa. La posizione spaziale di una determinata augmented entity non identifica necessariamente la locazione dell'hardware sul quale vengono eseguite le computazioni ma il codice ed i dati delle augmented entities possono trovarsi in un luogo diverso, sfruttando infrastrutture come il cloud.

Le augmented entities non rappresentano solo una semplice percezione statica di informazioni ma sono entità computazionali con un proprio stato

e comportamento. Queste permettono di creare un livello aumentato che abbia la possibilità sia di fornire informazioni aggiuntive dell'ambiente fisico sia di modellare comportamenti più complessi e autonomi.

Le *augmented entity* possono essere accoppiate ad un oggetto presente nel mondo fisico oppure essere presenti nel mondo fisico con una propria forma definita, che può essere realizzata in 2D/3D oppure percepita con altri sensi. Sia la posizione che la forma fanno parte dello stato dell'entità aumentata e possono cambiare a *runtime* a seguito di interazioni con parti del mondo aumentato o del mondo fisico.

Tuttavia, non è necessario imporre un equivalente fisico di un oggetto aumentato, infatti, uno degli aspetti fondamentali è rappresentato dal fatto che tutti gli oggetti aumentati possono essere creati anche in modo esclusivamente virtuale ovvero senza definire un'accoppiamento con un oggetto fisico o avere una determinata rappresentazione nel mondo reale, questo perché potrebbe essere irrilevante la loro percezione da parte dell'utente.

## 3.2 Percezione e interazione

Le *augmented entities* arricchiscono il mondo fisico e per poter dare la possibilità di interagire con esse, è necessario che possano essere percepite o che possano percepire altre entità vicine. Per prima cosa occorre definire il concetto di "vicine", ovvero quelle entità la cui distanza è inferiore ad una soglia stabilita.

A questo scopo un *augmented entity* può essere caratterizzata da due proprietà:

- *observability*: proprietà per cui l'*augmented entity* diventa osservabile ad altre entità poste entro una soglia stabilita;
- *observation*: proprietà per cui l'*augmented entity* può osservare altre entità poste entro una soglia stabilita;

Le proprietà di *observability/observation* possono cambiare a runtime in relazione ai cambiamenti di stato e all'interazione con il mondo reale.

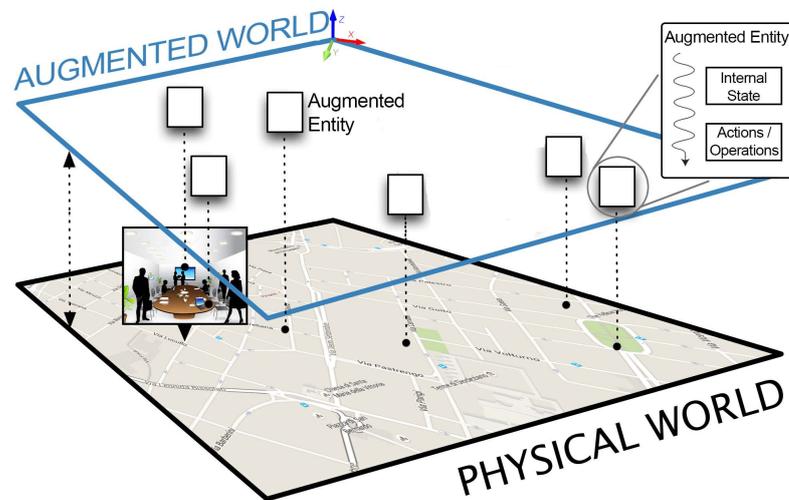


Figura 3.1: Rappresentazione di alcuni aspetti dell'Augmented World

### 3.3 Utente

All'augmented world possono partecipare, oltre alle augmented entities, anche gli utenti. L'augmented world, è un ambiente multi-utente ed ogni utente può percepire e interagire con le diverse augmented entities presenti in esso.

A questo scopo si può pensare di considerare l'utente come un'entità aumentata, chiamata *augmented body*, con caratteristiche che permettono di acquisire ed inviare informazioni da sé stesso ad altre entità e viceversa ed inoltre mantenere un proprio stato contenente le indicazioni utili al livello applicativo.

Per poter interagire all'interno dell'augmented world, l'augmented body deve poter essere in grado di essere percepito e percepire le augmented entities presenti.

### 3.4 Accoppiamento tra mondo fisico e mondo virtuale

L'augmented world può essere sfruttato per associare augmented entities ad oggetti presenti nel mondo fisico. La nozione di *augmentation*, infatti,

può essere interpretata come estensione delle funzionalità di oggetti fisici esistenti.

L'augmentation può essere individuata su due livelli differenti:

- gli utenti possono interagire con gli oggetti collocati nel mondo fisico attraverso interfacce virtuali ed intuitive in grado di controllare le informazioni relative allo stato dell'oggetto stesso;
- arricchire le funzionalità degli oggetti fisici, sfruttando le capacità funzionali date dal livello virtuale.

Per realizzare le funzionalità che arricchiscono gli oggetti fisici è necessario introdurre un livello di accoppiamento tra l'augmented entity e l'oggetto fisico ad essa associato, in quanto l'augmented entity ha sempre l'esigenza di essere sincronizzata con i cambiamenti che avvengono sull'oggetto fisico situato nel mondo reale e viceversa.



## Capitolo 4

# Un approccio concreto: Mirror Worlds

Le caratteristiche dell'augmented world possono essere catturate dal modello *agent-oriented*, nel quale gli agenti autonomi vengono situati nell'ambiente virtuale per rappresentare il collegamento tra il livello fisico e il livello aumentato. Alla luce di questo si espone un esempio di questo approccio basato sui *mirror worlds*.

I *mirror worlds* (MW) [9], il cui nome è un tributo al libro di David Gelernter [40], è introdotto come approccio *agent-oriented* per la realizzazione di ambienti smart, con l'obiettivo di definire un unico modello per integrare la visione propria di diversi ambiti applicativi come sistemi distribuiti, realtà aumentata, *pervasive computing* e *ambient intelligence*.

Nella visione MW, gli ambienti sono modellati come città virtuali con un livello aumentato accoppiato ad un livello fisico e all'interno agenti software che ricoprono il ruolo di abitanti.

Il MW, infatti, può essere concepito come un insieme di agenti software situati in un ambiente virtuale ed in grado di fornire un *augmentation* delle caratteristiche della realtà fisica alla quale è accoppiato, come ad esempio, una camera, un edificio, una città.

La caratteristica di *mirroring* si riscontra quando un oggetto fisico, percepito dalle persone nell'ambiente fisico, possiede una controparte virtuale nel MW che può essere osservata ed utilizzata dagli agenti software situati in esso. Allo stesso modo se un'entità presente nel MW, percepita ed utilizzata dagli agenti software, ha una controparte nel mondo fisico, questa può

essere osservata ed utilizzata direttamente dalle persone. Il comportamento descritto, implica un accoppiamento tra le azioni eseguite su un oggetto nel mondo fisico ed il cambiamento di una o più entità del MW, percepibili dagli agenti software. Viceversa, implica un accoppiamento tra un'azione degli agenti software eseguita su un'entità del MW e l'effetto creato sull'oggetto del mondo fisico, che può essere percepito dalle persone.

## 4.1 Introduzione ai Mirror Worlds

Il MW rappresenta un insieme di agenti software situati in un ambiente virtuale, fortemente accoppiato con l'ambiente fisico. In particolare, il MW può essere descritto come un *augmented world agent-oriented*, nel quale gli artefatti e i workspaces sono usati per modellare il collegamento tra livello fisico e livello virtuale. Nel MW vengono integrate diverse tecnologie come i sistemi multi-agente e *mobile augmented reality* (MAR) ma soprattutto si definiscono ambienti cooperativi dove le persone e gli agenti software interagiscono e cooperano in modo implicito.

Il MW è basato sul metamodello A&A (Agenti e Artefatti) [32], introdotto nel software agent-oriented per sfruttare agli agenti come astrazione di primo ordine per modellare sistemi multi-agente (MAS).

Questo modello introduce gli artefatti come astrazione di prima classe per modellare e realizzare ambienti applicativi dove gli agenti sono localmente situati. In particolare, un artefatto può essere utilizzato per modellare qualsiasi tipo di risorsa o oggetto utilizzato dagli agenti e tutti gli artefatti presenti nel MW sono collezionati in un *workspace*. Il workspace rappresenta un contenitore logico e definisce la topologia del MAS distribuito in rete.

Gli artefatti hanno uno stato osservabile che gli agenti possono essere in grado di percepire e un insieme di operazioni che gli agenti possono richiedere per agire sugli artefatti stessi. Lo stato osservabile è rappresentato da proprietà che possono cambiare dinamicamente come conseguenza delle azioni eseguite dagli agenti sugli artefatti.

Le azioni sugli artefatti, eseguite dagli agenti (i quali incapsulano il thread di controllo) sono eseguite in un thread separato rispetto a quello dell'agente stesso. Nello specifico, le operazioni sono eseguite in modo che

l'esecuzione di più azioni contemporanee su un artefatto da diversi agenti sia *safe* [3].

Il concetto di stato osservabile è a supporto dell'interazione tra agenti e artefatti, in modo che gli agenti che osservano gli artefatti siano notificati in modo asincrono con un evento ogni volta che lo stato dell'artefatto cambia.

#### 4.1.1 Mirror workspace e mirror artifact

Il MW è modellato in termini di insieme di *mirror workspaces*, che estendono il concetto di workspace definito in A&A con una mappa che specifica quale parte del mondo aumentato è accoppiata con la parte del mondo fisico; i diversi mirror workspaces possono essere in esecuzione su differenti nodi della rete. I mirror artifact sono artefatti "ancorati" ad una specifica posizione del mondo fisico, definita dalla mappa. La posizione può cambiare dinamicamente ed essere osservata dagli agenti che percepiscono lo specifico mirror artifact.

Per ogni mirror workspace è definita una mappa in cui la localizzazione dei mirror artifact è specificata in termini di latitudine e longitudine oppure tramite l'utilizzo di un sistema locale di riferimento. Un mirror workspace contiene un insieme dinamico di mirror artifact e nella mappa sono definiti i riferimenti locali ad essi.

#### 4.1.2 Mirror agent e body artifact

Nel MW gli agenti possono osservare i mirror artifact attraverso due modalità:

- focus esplicito: come i normali artefatti, attraverso l'uso di ID [3]. Quest'azione è analoga all'azione di *subscribe*;
- focus dipendente dalla posizione: costituisce una peculiarità del mirror workspace e una caratteristica fondamentale degli agenti e consiste nel percepire i mirror artifact in base alla loro posizione senza dover fare un'esplicita registrazione. In questo modo gli agenti possono percepire i mirror artifact senza che questi siano conosciuti a priori ma in modo dipendente solo dalla distanza tra la posizione del mirror artifact e dell'agente.

Per poter sfruttare la seconda modalità è necessario situare l'agente in una specifica posizione del MW. A questo proposito, un agente che entra nel mirror workspace può creare un *body artifact* del quale servirsi per collocarsi in una specifica posizione all'interno del mirror workspace. La tipologia di agenti descritta può essere identificata con il nome di mirror agent.

Il body artifact permette all'agente nel mirror workspace di osservare tutti i mirror artifacts che soddisfano i criteri di osservabilità (come la distanza inferiore ad una certa soglia). Questi criteri possono essere controllati dagli agenti agendo sul proprio body artifact. Un agente può avere più body artifact, uno per ogni mirror workspace in cui è situato.

Uno degli aspetti fondamentali del MW è la capacità di situare l'utente nell'ambiente fisico in modo che possa percepire il livello virtuale, attraverso l'uso di smart-device. A questo scopo, l'utente può essere modellato utilizzando un mirror agent, il cui body è accoppiato alla posizione dell'utente, ovvero a quella del dispositivo come smartglasses, AR helmets o smartphone. Gli agenti possono sfruttare il dispositivo per comunicare con l'utente, in termini di messaggi o azioni. Nel momento in cui il mirror agent percepisce un mirror artifact in prossimità della posizione dell'utente, può sovrapporre alla realtà fisica informazioni od oggetti 2D/3D che rappresentano un'*augmentation* della realtà, derivante dai mirror artifact che l'utente ha percepito.

Le proprietà di osservabilità/osservazione sono regolata attraverso due parametri:

- *observability radius*: definito per ogni mirror artifact e definisce la massima distanza nella quale l'agente dev'essere locato per poter percepire il mirror artifact;
- *observation radius*: definito per ogni mirror agent e determina la massima distanza nella quale dev'essere posizionato un mirror artifact per poter essere percepito dal mirror agent.

### 4.1.3 Coupling

I mirror artifact realizzano l'accoppiamento tra mondo fisico e mondo virtuale precedentemente trattato nella sezione 3.4 e possono essere:

- completamente virtuali: ovvero situati in una specifica posizione del mondo fisico ma non accoppiati con un device o un oggetto fisico.

In questo caso, la posizione sarà specificata al momento dell'instanziamento del mirror artifact e potrà essere aggiornata dalle operazioni effettuate su esso.

- accoppiati con un oggetto fisico: in questo caso lo stato e la posizione del mirror artifact saranno sincronizzate a *runtime* con lo stato e la posizione del device/oggetto fisico al quale è accoppiato. Quest'ultimo si occuperà di stabilire la relazione di sincronizzazione tra il mirror world e il livello fisico, attraverso sensori e embedded device. Per esempio, nel caso di uno smartphone con un sensore GPS, l'agent body può essere legato alla posizione dello smartphone e può cambiare ed essere aggiornata al movimento dell'utente.

La locazione spaziale di un mirror artifact nel mondo fisico non è necessariamente espressa da una posizione assoluta ma potrebbe essere relativa ad un oggetto fisico.

## 4.2 Implementazione

Una prima implementazione del MW è stata sviluppata con il framework JaCaMo ?? che supporta nativamente lo sviluppo di sistemi multi-agente basati su agenti BDI che vivono in un ambiente costituito da artefatti.

Gli agenti software sono programmati utilizzando Jason ??, un linguaggio di programmazione di agenti che costituisce un'estensione di AgentSpeak infine i mirror artifact sono programmati utilizzando il framework CArtAgO ??.

### 4.2.1 Mirror Workspaces

I mirror workspaces sono basati su una mappa che definisce le regioni fisiche dell'ambiente definite in termini di latitudine e longitudine. All'interno di tali regioni si definiscono posizione e distanze, tramite le tre dimensioni del sistema euclideo. Dato un punto espresso in tale modalità è possibile determinare la posizione assoluta in termini di longitudine e latitudine usando la mappa dei workspace.

### 4.2.2 Mirror Artifact

I mirror artifact sono caratterizzati da:

- una posizione: definita come punto nel sistema di riferimento delle workspace map;
- un observability radius: che definisce la distanza utile in metri in cui può essere percepito uno specifico mirror artifact.

Inoltre l'agent body è un artifact con ulteriori informazioni relative all'observing radius che definisce la distanza utile che un mirror artifact deve avere dall'agent body per poter essere percepito.

Le API relative al MW costituiscono un livello costruito sul framework JaCaMo ed includono:

- *Mirror Artifact*: come template che estende gli artefatti di CArtAgO e rappresenta la base per ulteriori specializzazioni ed estensioni.

Le interfacce d'uso degli artefatti includono:

- una proprietà osservabile *pos*, che definisce la posizione corrente nel mirror workspace dell'artefatto;
  - *observabilityRadius*: che mantiene il raggio osservabile corrente dell'artefatto;
  - specifiche operazioni per aggiornare la posizione e l'observabilityRadius (*setPos*, *setobservabilityRadius*).
- *Agent Body*: artifact predefinito che rappresenta un mirror agent dotato di body con una posizione nel mondo fisico. Oltre alle interfacce d'uso relative ai mirror artifact, per quanto riguarda gli agent body si aggiunge *observationRadius*, che mantiene il raggio osservabile corrente dell'agent body e una specifica operazione per aggiornarlo (*setObservationRadius*)
  - un insieme di azioni che possono essere usate dagli agenti per creare mirror workspace e mirror artifact al loro interno, inclusa la creazione dell'agent body;
  - alcuni *utility artifact* in grado di fornire funzionalità utili per agire nel MW, come per esempio *GeoTool*, che fornisce funzionalità per convertire le coordinate e calcolare le distanze.

### 4.2.3 Esempio: Hello World!

In seguito si considera un semplice esempio di MW : hello world, il cui codice completo si può trovare in [27]. Nell'esempio, mostrato in figura 4.1, può essere considerato un semplice MW, composto da un singolo workspace, chiamato mirror-example, mappato in una zona specifica di una città (in questo caso, Cesena).

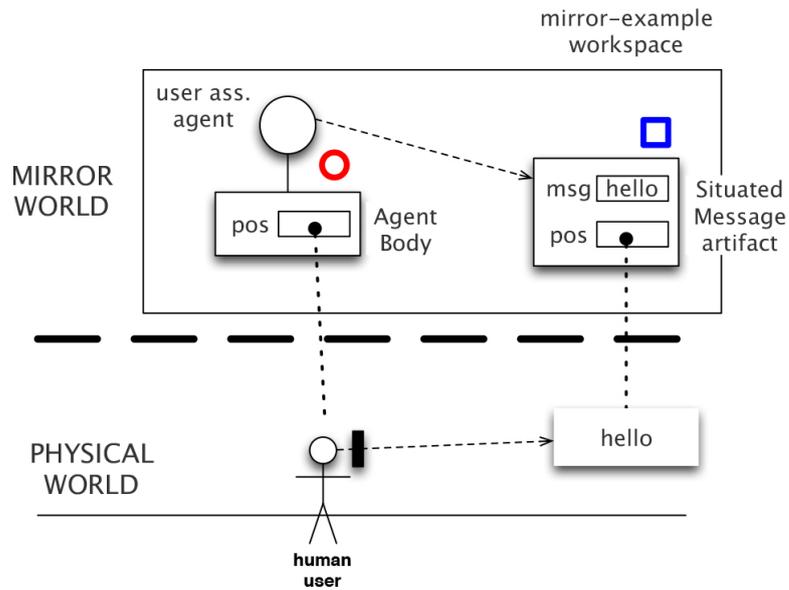


Figura 4.1: Nell'esempio hello world, ogni utente che cammina per la strada ha un agent body in esecuzione sul proprio smart-device, con una posizione determinata dal GPS. Nel momento in cui l'utente si trova vicino ad un messaggio, questo diventa osservabile dall'agent body e il contenuto sarà visualizzato sullo smart-device dell'utente. I cerchi rossi e i quadrati blu rappresentano rispettivamente gli agent bodies e i messaggi situati sulla mappa in figura 4.2

Il mirror workspace è dinamicamente popolato da mirror artifact che rappresentano un semplice messaggio situato in una specifica posizione. L'utente cammina lungo le strade con il proprio agent body in esecuzione sullo smartphone e nel momento in cui l'utente percepisce il messaggio, questo viene mostrato nel display degli smart-glass indossati.

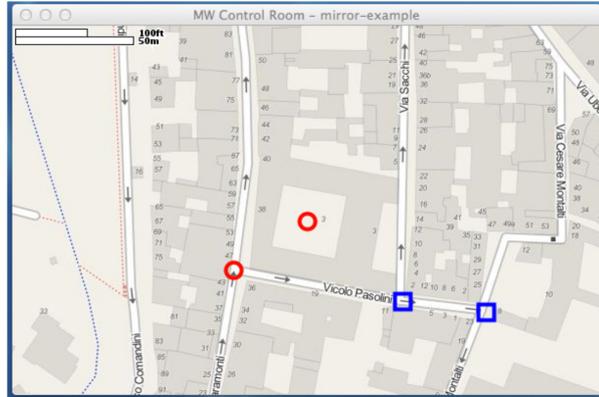


Figura 4.2: La mappa mostra la posizione degli agent body (cerchi rossi) e dei mirror artifact (messaggi).

Il programma implementato include:

- *majordomo agent*: responsabile dell’inizializzazione ed impostazione del MW, composto, in questo caso, da un singolo workspace. In seguito l’agente si occupa di creare alcuni mirror artifact di tipo *SituatedMessage*, posizionati in specifiche coordinate all’interno del mirror-example;
- *user-assistant agent*: in esecuzione sullo smartphone utilizzato dall’utente che permette di generare una reazione nel momento in cui viene percepito un messaggio vicino all’utente e sul display ne viene visualizzato il contenuto corrispondente;
- *control-room agent*: responsabile di mostrare lo stato del MW, rappresentato dalla mappa con la locazione corrente dei *SituatedMessage* artifact e degli user-assistant agents.

In figura 4.3 viene mostrato il codice sorgente del majordom agent: il goal dell’agente è inizializzare il mirror world. Per prima cosa, crea il mirror workspace (linea 17) poi entra nel workspace appena creato (*joinWorkspace*) ed in seguito con l’introduzione del subgoal *!create\_messages*, crea un mirror artifact *SituatedMessage* (linea 24). Il piano corrispondente crea una coppia di *SituatedMessage* salvati come *hello #1* and *hello #2*, con observability radius di 2.5 metri.

```

1  /* Majordomo agent */
2
3  /* initial beliefs */
4
5  /* the center of the mirror -- latitude/longitude */
6  poi("isi_cortile", 44.13983, 12.24289).
7
8  /* the point of interests, where to put the messages */
9  poi("pasolini_montalti",44.13948, 12.24384).
10 poi("sacchi_pasolini",44.13952, 12.24340).
11
12 /* initial goal*/
13 !setupMW.
14
15 /* the plans */
16
17 +!setupMW
18   <- ?poi("isi_cortile",Lat,Long);
19   createMirrorWorkspace("mirror-example",Lat,Long);
20   joinWorkspace("mirror-example");
21   /* create an aux artifact to help coordinate conversion */
22   makeArtifact("geotool","GeoTool",[Lat,Long]);
23   /* create the situated messages */
24   !create_messages;
25   println("MW ready.").
26
27 /* to create the situated message mirror artifacts */
28 +!create_messages
29   <- ?poi("pasolini_montalti",Lat,Lon);
30   toCityPoint(Lat,Lon,Loc);
31   createMirrorArtifactAtPos("a1","SituatedMessage",["hello #1"],Loc,2.5);
32   ?poi("sacchi_pasolini",Lat2,Lon2);
33   toCityPoint(Lat2,Lon2,Loc2);
34   createMirrorArtifactAtPos("a2","SituatedMessage",["hello #2"],Loc2,2.5).

```

Figura 4.3: Esempio hello world: majordomo agent

In figura 4.4 viene mostrato il codice sorgente del mirror artifact `SituatedMessage`: il mirror artifact ha un'unica proprietà osservabile chiamata `msg` (linea 6) che salva uno specifico messaggio alla creazione del mirror artifact.

```
1  /* Mirror artifact representing a situated message */
2
3  public class SituatedMessage extends MirrorArtifact {
4
5      public void init(String msg){
6          defineObsProperty("msg",msg);
7      }
8  }
```

Figura 4.4: Esempio hello world: mirror artifact `SituatedMessage`

In figura 4.5 viene mostrato il codice sorgente dello user assistant agent. Il mirror agent crea un `SmartGlassDevice` artifact (linea 8), utilizzato come dispositivo di output per mostrare i messaggi, con l'operazione `displayMsg`. L'agente entra nel mirror workspace e crea il proprio body, con un raggio di osservazione di 10 metri (linea 15). Il body è accoppiato all'artifact `GPSDeviceDriver` (linea 19), precedentemente creato alla linea 17. L'artifact `GPSDeviceDriver` implementa l'accoppiamento tra la posizione rilevata dal sensore GPS disponibile sullo smartphone dell'utente. Nel momento in cui l'utente si trova in prossimità del punto del mondo fisico in cui è posizionato un messaggio, lo user assistant agent percepisce il messaggio e reagisce mostrando nel display degli smart-glass il contenuto corrispondente (linea 24-26). Nel momento in cui l'utente si allontana dal mirror artifact, il *belief* relativo al messaggio viene rimosso e lo user assistant agent reagisce smettendo di mostrare il contenuto del messaggio (linea 28-30).

```

1  /* User assistant agent */
2
3  /* goal of the agent */
4  !monitor_and_display_messages.
5
6  +!monitor_and_display_messages
7    <- /* setup the smart glass device */
8      makeArtifact("viewer","SmartGlassDevice",[],Viewer);
9      +viewer(Viewer);
10
11     /* join the mirror workspace */
12     joinWorkspace("mirror-example");
13
14     /* create the agent body */
15     createAgentBody(1000,10,Body);
16     /* create the artifact used as MW coupling device */
17     makeArtifact("driver","GPSDeviceDriver",Dev);
18     /* bind the body to the device */
19     bindTo(Body)[artifact_id(Dev)];
20     println("ready.");
21
22 /* plans reacting to situated messages perceived in the mirror worlds */
23
24 +msg(M) : viewer(Dev)
25   <- .concat("new message perceived: ",M,Msg);
26     displayMsg(100,50,Msg)[artifact_id(Dev)].
27
28 -msg(M) : viewer(Dev)
29   <- .concat("message ",M," no more perceived. ",Msg);
30     displayMsg(100,50,Msg)[artifact_id(Dev)].

```

Figura 4.5: Esempio hello world: user-assistant agent



# Capitolo 5

## Tassonomia

Si vogliono analizzare alcune caratteristiche che possono essere ritrovate in diverse tipologie di sistemi, che spaziano in differenti contesti applicativi.

Le informazioni ricavate saranno utili sia per distinguere le varie funzionalità realizzate con l'utilizzo delle tecnologie citate sia per esaminare i requisiti richiesti da tali applicazioni al fine di ottimizzare e raffinare il modello di augmented world, in modo che possa essere versatile per la creazione di diverse tipologie di applicazioni.

In questo studio si propongono alcune dimensioni di analisi principali.

### 5.1 Percettibilità tra utente ed entità aumentate

La capacità di percepire gli elementi aumentati nell'ambiente fisico coinvolge tutti i sensi di una persona, infatti, l'elemento aumentato che viene posto nella realtà fisica può avere una rappresentazione visiva come un'immagine oppure può fornire un'esperienza uditiva e tattile.

La possibilità, da parte delle persone, di percepire gli elementi aumentati, permette di esprimere le diverse modalità con cui l'utente stesso può rapportarsi alla tecnologia.

Oltre alla percezione che ha l'utente dell'elemento aumentato, si vuole mettere in luce anche la percezione che ha l'elemento aumentato dell'utente. In questo modo si analizza la proprietà dell'elemento aumentato di possedere o meno la conoscenza dell'utente.

Si individuano alcuni livelli relativi alla percezione delle entità aumentate da parte dell'utente e viceversa.

### 5.1.1 Entità non percepibile

Quando un elemento non ha una rappresentazione né visiva né di altra tipologia, non può essere percepito dalle persone. In questo caso la sua utilità può essere data dal trovarsi in una determinata posizione del mondo fisico e prescindere dal poter essere percepito dagli utenti e dal fornire informazioni aggiuntive sull'ambiente.

L'assenza di percezione può non avere senso in ambiti applicativi in cui l'obiettivo è quello di fornire una particolare *user-experience* attraverso l'inserimento di elementi nell'ambiente in grado di aumentare la percezione che la persona ha dell'ambiente stesso, come nell'ambito di AR.

Collocandosi, invece, in contesti come pervasive computing e IoT, nei quali la maggior parte delle interazioni possono avvenire senza che l'utente le percepisca direttamente, può essere sufficiente che gli elementi, intesi anche come oggetti computazionali, abbiano una relazione con il mondo fisico a prescindere dalla percezione che l'utente ha di essi.

### Utente percepibile

L'entità aumentata, anche se non è percepibile dall'utente, può a sua volta percepire l'utente. Si precisa che l'entità aumentata può avere una propria posizione nel mondo fisico ma non essere percepibile dagli utenti. Infatti, il comportamento dell'entità aumentata potrebbe prescindere dalla possibilità di essere percepita. Questo è significativo in sistemi il cui funzionamento dipende dall'interazione indiretta con l'utente come la rilevazione della sua presenza.

Questa funzionalità può essere utile per esempio, immaginando di essere in un museo e volendo contare le persone che lo visitano. In questo caso non è necessario situare fisicamente o tramite rappresentazione virtuale un contatore ma sarà sufficiente avere un'entità aumentata con la posizione spaziale corrispondente all'entrata del museo, che si incrementi percependo la presenza degli utenti che entrano.

Un ulteriore esempio può essere trovato nel sistema di sicurezza di un'abitazione, l'utente non percepisce gli elementi che compongono il sistema,

ma gli elementi stessi che si occupano di rilevare la presenza dell'utente, hanno la capacità di percepire l'utente stesso.

### Utente non percepibile

Un caso limite è rappresentato dall'entità che non può essere percepita dall'utente e che non è in grado di percepire l'utente. Questo è un caso degenero che può essere ritrovato in sistemi che non hanno la necessità di essere percepiti o di percepire l'utente per garantire il corretto funzionamento.

Per esempio, considerando un'entità aumentata che non può né essere percepita dall'utente né percepire a sua volta l'utente. L'entità può percepire e interagire con altre entità all'interno del sistema, che a loro volta possono avere un legame con il mondo fisico. Quest'entità può coordinare il sistema senza avere un collegamento diretto con il mondo fisico.

### 5.1.2 Entità percepibile

Un elemento può avere una propria rappresentazione in modo da poter essere percepito dagli utenti in diverse forme. Questa percezione avviene solitamente con l'utilizzo di dispositivi wearable che consentono alla persona di individuare gli elementi aumentati attraverso un display.

Un aspetto importante che caratterizza la realtà aumentata è rappresentato dal lasciare l'utente nel mondo reale e aggiungere le informazioni virtuali senza impedire la percezione dell'ambiente stesso. Gli elementi aumentati, nel caso siano immagini, devono permettere all'utente che le percepisce di vedere anche la scena reale, nel caso siano elementi audio non devono bloccare i suoni dell'ambiente reale.

L'inserimento di elementi virtuali comporta che essi si combinino con le scene reali cercando di rimanere il più realistici possibili. Gli elementi virtuali, infatti, dovrebbero comportarsi come elementi reali rispettando i vincoli dell'ambiente come la prospettiva dell'elemento virtuale con quella della scena reale.

In base a questo, gli elementi aumentati aggiunti alla scena reale possono essere analizzati considerando due livelli di integrazione e percezione [15].

### Sovrapposizione

Gli elementi aumentati sono sovrapposti alle immagini reali senza che sia considerato un orientamento adeguato alla scena reale e senza che gli oggetti reali possano in parte coprirli.

Questa sovrapposizione rappresenta una forma di immersione non integrata nell'ambiente reale, quindi può essere efficace nel caso di visualizzazione di messaggi o simili.

Alcuni degli ambiti applicativi principali in cui viene utilizzata sono applicazioni culturali che permettono di mostrare informazioni su ciò che l'utente sta guardando o applicazione di *Augmented Reality for Maintenance and Repair* (ARMAR) che supporta le operazioni di manutenzione e riparazione.

In figura 5.1 si può notare un esempio di sovrapposizione arbitraria che non rispetta nessun vincolo del mondo reale.



Figura 5.1: Sovrapposizione di un elemento aumentato alla scena reale

### Integrazione

Gli elementi virtuali sono integrati nella scena reale, garantendo una *user-experience* più coerente e gradevole che d'altra parte richiede un livello di complessità di realizzazione maggiore.

Possono essere identificati diversi livelli di coerenza che possono essere combinati tra loro:

- coerenza prospettica: il problema principale è quello di allineare la prospettiva dell'elemento virtuale con quella della scena reale. Questo può essere fatto trovando la giusta prospettiva che caratterizza la scena reale e utilizzarla nella creazione dell'elemento aumentato. L'elemento aumentato risulta ancora sovrapposto alla scena reale e la percezione è ancora semplicistica ma con un livello di coerenza diverso da quello precedente, come si può vedere in figura 5.2.



Figura 5.2: Coerenza prospettica di un elemento aumentato inserito nella scena reale

- coerenza spaziale: questo problema riguarda i movimenti degli oggetti virtuali nella scena reale e occultazioni o intersenzioni che possono verificarsi tra elementi di diversa natura. Gli oggetti virtuali dovrebbero essere celati dagli oggetti reali che sono posizionati davanti ad essi o celarli a loro volta se sono posti davanti, come si può vedere in figura 5.3. Questo caratterizza una percezione coerente con l'ambiente reale consentendo alla persona di essere immersa nell'ambiente stesso.

Questa coerenza può essere pensata anche nel caso di contenuti audio in quanto basti pensare ad un contenuto situato in una precisa posizione spaziale. Rendere coerente la percezione dell'audio da parte della persona implica che il volume sia percepito in maniera diversa a seconda della lontananza o vicinanza all'elemento aumento.

- coerenza fotometrica: la considerazione della luce rappresenta uno dei fattori più complessi di cui tenere conto nel posizionamento di elementi



Figura 5.3: Coerenza spaziale di un elemento aumentato inserito nella scena reale

aumentati visivi nell'ambiente. Sono da valutare, infatti, i riflessi e le ombre che caratterizzano la scena reale per poter integrare l'elemento aumentato in modo coerente, come si può vedere in figura 5.4.



Figura 5.4: Coerenza fotometrica di un elemento aumentato inserito nella scena reale

### **Utente non percepibile**

L'entità è percepibile dall'utente ma non è in grado di percepirlo a sua volta.

Un esempio è la fotografia che l'utente è in grado di osservare ma che a sua volta non ha alcun tipo di percezione dell'utente, in quanto non utile alla sua funzione.

### **Utente percepibile**

L'entità è percepibile dall'utente e a sua volta percepisce l'utente. Questa caratteristica è propria di entità che necessitano della percezione dell'utente per poter svolgere il proprio compito o parti del proprio compito.

Un esempio è un'entità che reagisce all'interazione con l'utente e che l'utente a sua volta percepisce.

## **5.2 Accoppiamento fisico/virtuale**

Un aspetto fondamentale che si ritiene necessario analizzare è la relazione che gli elementi digitali hanno con il mondo fisico. La relazione tra un elemento digitale ad un oggetto fisico presente nel mondo reale può essere individuata su livelli differenti:

### **5.2.1 Virtuale**

Si definisce virtuale un elemento che non ha nessuna relazione con elementi della realtà fisica. Un elemento virtuale, infatti, non è caratterizzato né dalla locazione in una precisa posizione né dall'associazione ad un oggetto fisico.

Un esempio può essere rappresentato da programmi tradizionali o elementi computazionali senza una visualizzazione, che non sono percepiti dall'utente come associati alla realtà. Un elemento virtuale può, inoltre, essere rappresentato dalle interfacce 2D come radar o messaggi che si possono percepire in applicazioni che utilizzano gli smartglass. Questo tipo di elementi sono completamente disaccoppiati dalla realtà fisica e dall'ambiente in cui è immerso l'utente.

### **5.2.2 Accoppiamento limitato ad una posizione**

L'elemento è inserito nel mondo fisico specificando una posizione, relativa o assoluta, che permette di collocarlo nell'ambiente. L'unica associazione che viene utilizzata è di tipo posizionale senza riferimento a nessun oggetto fisico. La posizione specificata identifica un punto che può trovarsi anche in prossimità di un oggetto fisico ma senza che l'elemento sia associato ad esso.

Un esempio è dato dalla visualizzazione di fotografie o messaggi sovrapposti ad oggetti fisici del mondo reale, in modo da dare l'impressione che gli elementi aumentati si trovino nello stesso posto dell'oggetto fisico al quale si riferiscono. Considerando il caso in cui l'oggetto fisico viene spostato, l'elemento aumentato non subisce cambiamenti perché esso è legato esclusivamente a specifici parametri di latitudine e longitudine e non a cambiamenti di stato appartenenti all'oggetto fisico.

### 5.2.3 Accoppiamento con un oggetto fisico

L'elemento ha una relazione con un oggetto fisico, questa può riferirsi allo stato dell'oggetto stesso o alla sua posizione. La presenza di un'accoppiamento con il mondo fisico determina la definizione di particolari requisiti che consentano di mantenere tale relazione e di gestire la registrazione e sincronizzazione dell'elemento aumentato con l'oggetto fisico.

Si suppone di utilizzare, come mezzo per creare un accoppiamento posizionale tra un elemento virtuale ed un oggetto fisico, un *fiducial marker* posizionato in modo artificiale nell'ambiente oppure il *natural feature tracking* (NTF) [7] che prevede il riconoscimento di particolari figure naturali come può essere un viso o un paesaggio. Il riconoscimento del fiducial marker, infatti, determina sia l'elemento visivo da mostrare sia il suo orientamento e la sua posizione che permettono la corretta visualizzazione dell'elemento stesso.

Il sistema che gestisce tale accoppiamento dev'essere in grado di mantenere la relazione creata tra livello aumentato e fisico, in modo che se il fiducial marker viene spostato, l'elemento virtuale si muova di conseguenza. Questo viene stabilito attraverso l'imposizione di vincoli e *requirement* su ciò che dev'essere realizzato dal sistema.

L'accoppiamento tra elemento virtuale ed oggetto fisico può dipendere dallo stato dell'oggetto stesso ed in questo caso anche l'elemento virtuale dovrà possedere un concetto di stato che è in relazione con lo stato dell'oggetto fisico con il quale è accoppiato, in modo che un cambiamento di stato dell'oggetto fisico determini una modifica dello stato dell'elemento virtuale. Questo comporta la possibilità, da parte dell'utente, di interagire direttamente con l'oggetto fisico situato nell'ambiente, generando dei cambiamenti anche all'elemento virtuale e, viceversa, l'elemento virtuale può interagire

con l'oggetto fisico modificandone lo stato. E' evidente come in questo caso la relazione con il mondo fisico è molto più forte rispetto ai livelli precedenti.

Un esempio lo si può trovare nelle applicazioni di smart home, attraverso le quali si può avere una panoramica dello stato dei vari apparecchi presenti in una cucina come luci ed elettrodomestici e ai quali possono essere impartite istruzioni attraverso un'apposita interfaccia che permette di comandarli [32].

### 5.3 Dinamicità del contenuto

La dinamicità identifica la tipologia di contenuti che si vogliono integrare nelle applicazioni e quale tipo di comportamento e funzionalità possono avere. I contenuti possono essere modellati in relazione alla capacità espressiva che può spaziare dal caso più semplice in cui l'elemento virtuale è un messaggio, al caso più complesso in cui l'elemento virtuale è un'entità computazionale.

#### 5.3.1 Contenuto statico

Un contenuto statico è definito come elemento con uno stato non modificabile o semplicemente un elemento che non subisce cambiamenti come può esserlo una fotografia sovrapposta ad un palazzo presente nel mondo fisico. La fotografia può cambiare solo nel caso in cui si elimini l'elemento aumentato che la rappresenta e lo si sostituisca con un altro. In questo caso l'elemento aumentato non cambia stato ma viene sostituito da uno differente.

In questo caso l'*augmentation* si limita a dati statici salvati su dispositivi di storage che vengono richiesti dalle applicazioni al bisogno. In alcune applicazioni che fanno uso di codici QR o fiducial marker, viene eseguita una query sul server principale per richiedere l'informazione corrispondente che può rappresentare un URL a contenuti esterni, dati aggiuntivi o *point of interest* (POI).

Un'esempio è l'applicazione di *situated documentaries* del Columbia University Campus [2] dove ogni file multimediale o immagine può essere richiesta al server ed essere poi memorizzata sul dispositivo su cui dev'essere riprodotta. Questa modellazione dei contenuti può essere ritrovata soprattutto nelle applicazioni che si fondano sull'utilizzo di informazioni.

### 5.3.2 Contenuto dinamico

Un contenuto è definito come dinamico nel caso in cui l'elemento sia costituito da un'entità computazionale con un proprio stato che può cambiare nel tempo. Considerando l'entità computazionale, è necessario definire le operazioni/azioni che consentono di modificare lo stato dell'entità e definire i possibili stati che possono essere raggiunti.

In questo caso, quindi, non ci si limita ad informazioni statiche ma si ricorre all'utilizzo di oggetti computazionali dei quali è possibile definire un comportamento complesso. Questo consente di istanziare oggetti e di sviluppare comportamenti che possono variare e dipendere dall'interazione con l'utente.

Un esempio lo si può trovare in ambito *gaming*, in particolare in giochi di tipologia *role-playing game* (RPG) [3], in cui l'utente impersona vari personaggi le cui competenze sono gestite attraverso le regole di gioco. Alcuni giochi utilizzano le carte con cui l'utente può evocare creature o incantesimi. Per aumentare il coinvolgimento in questo tipologia di giochi possono essere utilizzate le carte come fiducial marker che consentono al giocatore di vedere apparire i personaggi in 3D con cui si ha la possibilità di interagire inscenando giochi e sfide (attualmente, Nintendo [27] e Sony [31] hanno sviluppato giochi AR commerciali disponibili sui loro sistemi).

Questo richiede un comportamento articolato dell'elemento aumentato che non è definito da un semplice salvataggio di un record di informazioni.

## 5.4 Modello di comportamento

Riferendosi alle entità computazionali precedentemente esposte e avendo definito un concetto di stato, è ora necessario indicare come può avvenire il cambiamento di stato in riferimento a diversi livelli di interazione con l'utente.

### 5.4.1 Passivo

L'entità computazionale non permette un'interazione diretta da parte dell'utente e di conseguenza non reagisce a stimoli derivanti dall'utente stesso.

Lo stato di tali entità computazionali cambia solo in relazione a richieste esterne di modifica da parte del sistema, indipendenti dall'utente.

### 5.4.2 Reattivo

L'entità computazionale reagisce con un determinato comportamento a fronte di stimoli provenienti dall'interazione diretta con l'utente che effettua un'azione esplicita sull'entità stessa. In caso contrario lo stato dell'entità rimane il medesimo.

L'utente può cambiare lo stato dell'entità computazionale attraverso l'interazione con essa.

### 5.4.3 Proattivo

L'entità computazionale ha un comportamento autonomo che prescinde dagli stimoli ricevuti derivanti da interazioni con l'utente. Le interazioni dirette con l'utente sono permesse ma non determinano il comportamento dell'entità stessa. La percezione della presenza dell'utente non è considerata come interazione diretta.

In questo caso l'entità aumentata è in grado di modificare in modo autonomo il proprio stato, a prescindere dalle richieste o interazioni con elementi esterni.

## 5.5 Livello di interazione tra le entità

Questa dimensione si differenzia dalla definizione di comportamento in quanto esamina l'interazione delle entità in relazione ad altre entità presenti nel sistema e non in relazione all'utente.

Le proprietà di interazione possono essere definite a livello spaziale, in base ad una certa distanza tra esse che dipende dalla progettazione del particolare sistema.

Di seguito vengono definiti diversi livelli di interazione.

### 5.5.1 Interazione assente

Nella maggior parte delle applicazioni non vi è una percezione tra le entità presenti nel sistema, in quanto non è necessario che le entità interagiscano tra loro. Tra le entità aumentate del sistema non c'è nessun tipo di interazione.

Per esempio nel caso di sovrapposizione di fotografie nella scena reale, le fotografie non hanno percezione delle altre fotografie presenti e non hanno possibilità di interagire fra loro.

### 5.5.2 Interazione presente

Le entità aumentate presenti nel sistema possono avere interazioni tra loro. L'interazione tra le entità, presuppone che le entità si possano percepire tra loro. L'interazione può dipendere dalla distanza che intercorre tra le entità.

Un esempio possono essere i giochi basati su carte, utilizzate come fiducial marker, sulle quali vengono posizionati i personaggi ovvero le entità aumentate. Nel momento in cui due carte vengono avvicinate, i personaggi interagiscono tra loro inscenando combattimenti.

## 5.6 Classificazione di applicazioni note

Dopo l'analisi effettuata si vogliono collocare alcune applicazioni rilevanti in base alle caratteristiche evidenziate:

	Percettibilità	Accoppiamento fisico-virtuale	Dinamicità contenuto	Modello di comportamento	Interazione tra le entità
<b>IoT: Security System</b> [1]	L'utente non percepisce l'entità L'entità percepisce l'utente	Oggetto fisico	Dinamico	Proattivo	Presente
<b>Culture heritage: Historical Tour Guide</b> (presenza di oggetti con cui l'utente può interagire)	L'utente percepisce l'entità L'entità percepisce l'utente	Posizione	Dinamico	Reattivo	Non presente
<b>Audio AR</b> [43]	L'utente percepisce l'entità L'entità non percepisce l'utente	Posizione	Statico	Passivo	Non presente
<b>MAR (POI e Situated Documentaries)</b> [15]	L'utente percepisce l'entità L'entità non percepisce l'utente	Posizione	Statico	Passivo	Non presente
<b>Avionica e ARMAR</b> [31]	L'utente percepisce l'entità L'entità percepisce l'utente	Oggetto fisico	Statico	Reattivo	Non presente
<b>Gaming: Augmented Coliseum o Card-base Game</b> [21,3]	L'utente percepisce l'entità L'entità non percepisce l'utente	Oggetto fisico	Dinamico	Proattivo	Presente
<b>Image-Guide Surgery</b> [27]	L'utente percepisce l'entità L'entità non percepisce l'utente	Oggetto fisico	Statico	Reattivo	Non presente

Figura 5.5: Caratteristiche di applicazioni in diversi ambiti

# Capitolo 6

## Modello

Dopo aver esaminato sia i concetti fondamentali che definiscono l'augmented world sia una sua realizzazione concreta, si vuole definire un primo modello in grado di integrare diverse tecnologie ma prescindendo dalla specifica implementazione.

Prima di entrare nel merito del modello ci si vuole soffermare sugli aspetti che portano alla necessità di definizione di un livello aumentato a supporto di applicazioni di realtà aumentata.

In ambito IoT, i dispositivi necessitano di una parte hardware e una parte software che forniscono precise funzionalità:

- self-awareness: essere in possesso di un identificativo univoco, avere la capacità di conoscere e comunicare la propria posizione e avere capacità di monitorare i parametri interni per comprenderne il corretto funzionamento e l'eventuale necessità di assistenza;
- interazione con l'ambiente: capacità di acquisire dati, tramite sensori, che descrivono il sistema fisico circostante come ad esempio temperatura, pressione, accelerazione o consumo di energia e capacità di attuazione, ovvero di eseguire comandi impartiti da remoto o derivati dall'elaborazione dei dati interni;
- elaborazione dati;
- connettività tramite connessioni wireless o wired.

Esaminando l'interazione con questi dispositivi, si identifica un *middleware* [Fig. 6.1] rappresentato da un'infrastruttura di connessione, come il

*cloud*, e dalla funzionalità di *discovery* dinamico che permette di individuare i dispositivi presenti in un determinato luogo, per esempio in una stanza. Una volta che l'utente ha raggiunto il dispositivo desiderato e ricevuto il relativo riferimento, come può essere un indirizzo IP, le interazioni avverranno in modo diretto con il dispositivo stesso.

Quindi si evince che in ambito IoT ci sia sempre un riferimento all'oggetto fisico situato nell'ambiente e che l'interazione con questi oggetti possa essere gestita tramite l'invio di comandi diretti.

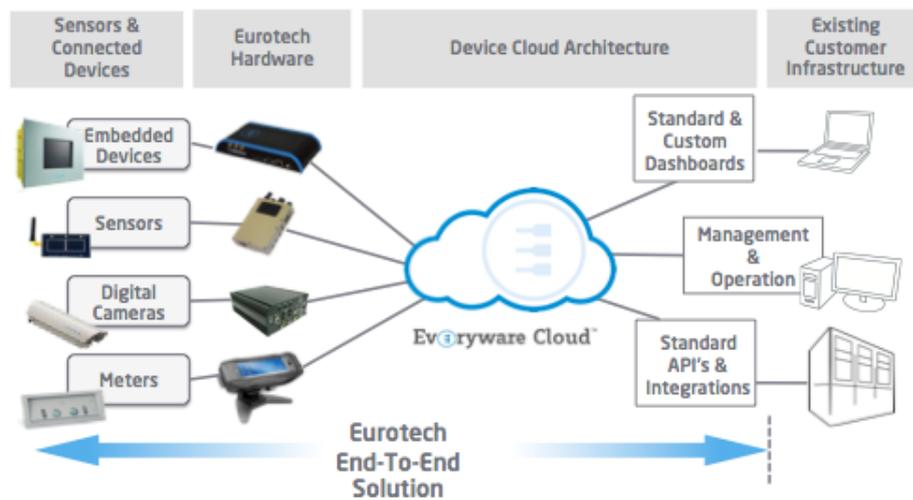


Figura 6.1: Rappresentazione di alcuni aspetti di Internet of Thing

Nel caso dell'augmented world si prevede, invece, la possibilità che possano esserci elementi aumentati senza che questi abbiano un corrispettivo fisico nel mondo ed, inoltre, che questi elementi aumentati siano entità computazionali con un proprio comportamento [Fig.6.2]. In questo caso il *middleware* è ben più che una funzionalità di *discovery* bensì si distingue un livello in grado di rendere operativo il sistema e le entità al suo interno.

Negli aspetti esposti precedentemente relativi a IoT e AR, si possono notare, oltre a sostanziali differenze, alcuni aspetti comuni come l'interazione con il mondo fisico e l'arricchimento di oggetti fisici con nuove funzionalità.

Per questo l'obiettivo che ci si pone è quello di identificare un modello, considerando l'analisi tassonomica affrontata, che possa essere efficace sia per la realtà aumentata che per l'IoT e pervasive computing.

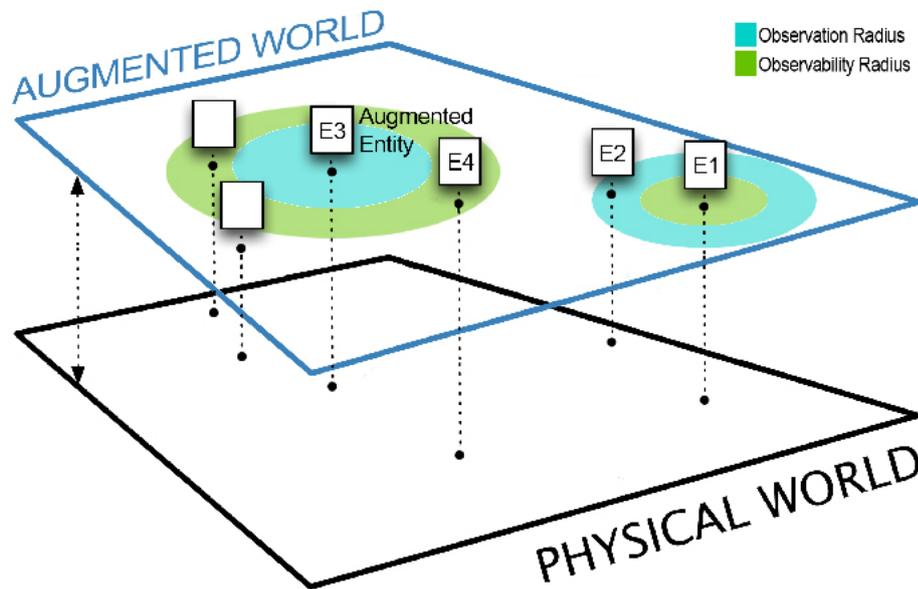


Figura 6.2: Rappresentazione di alcuni aspetti dell'Augmented World

Si vuole ora definire un modello di riferimento per il supporto dell'augmented world, in cui vengono definiti concettualmente gli elementi fondanti.

## 6.1 Augmented Entity

L'augmented entity, come anticipato nel capitolo 3, può rappresentare un oggetto computazionale con un proprio comportamento, in grado di fornire funzionalità specifiche a seconda del contesto. Le augmented entities sono entità, per lo più passive, con un'interfaccia d'uso che mette a disposizione diverse operazioni ed attraverso le quali si può interagire con l'entità stessa.

In particolare, un augmented entity può essere caratterizzata da:

- una posizione:
  - definita: la posizione dell'entità aumentata può essere nota ed identificare coordinate assolute o relative. In questo caso la posizione può essere sfruttata per le proprietà di osservabilità/osservazione

di cui l'entità si può servire per percepire altre entità presenti nel sistema o essere percepita a sua volta;

- non definita: la posizione dell'entità aumentata non è definita ma è specificata solo l'esistenza dell'entità stessa.
- uno stato: definisce lo stato dell'entità. Lo stato è una proprietà osservabile dell'augmented entity, i cui cambiamenti possono essere percepiti dalle entità che la osservano;
- un'insieme di operazioni: in grado di modificare lo stato dell'augmented entity. L'insieme di operazioni, definiscono le azioni con le quali è possibile agire sulle entità stessa. L'esecuzione delle operazioni avviene attraverso chiamate asincrone e può essere richiesta dagli agenti presenti nel sistema oppure può dipendere dal comportamento proprio dell'entità stessa, nel caso in cui l'entità sia proattiva;
- view: definisce la rappresentazione dell'entità aumentata ovvero il modo in cui dev'essere percepita attraverso i sensi dell'utente. La view dell'augmented entity è percepibile solitamente attraverso l'utilizzo di dispositivi wearable o smartphone. Per esempio, inquadrando con uno smartphone un libro, si possono visualizzare su esso i personaggi che rappresentano la scena narrata. La view può essere dipendente dall'utente che la percepisce oppure può essere percepita in modo uguale da tutti gli utenti. In quest'ultimo caso, l'infrastruttura può fornire un modello di riferimento con cui viene progettata la view per l'augmented entity, specificando come dev'essere rappresentata. In questo modo conoscendo la posizione della persona e cosa sta guardando, vengono visualizzati gli elementi percepiti. In caso di view personalizzata si può lasciare alla parte applicativa la costruzione della rappresentazione in termini di realtà aumentata, lasciando al sistema l'impostazione di una view di default;
- estensione: identifica l'occupazione di spazio e i confini dell'augmented entity, questa proprietà può essere fondamentale in applicazioni in cui sono necessarie funzionalità di collision detection, in cui è consentita un'interazione diretta con l'utente oppure quando due o più augmented entities interagiscono tra loro.

- proprietà di osservabilità e osservazione: l'augmented entity per poter interagire sia con altre entità sia per poter essere percepibile dagli utenti ha proprietà di osservazione/osservabilità. Si definisce la distanza entro la quale queste proprietà sono valide come:
  - observability radius: raggio entro il quale l'augmented entity può essere percepita;
  - observation radius: raggio entro il quale l'augmented entities può percepire altre augmented entities.

### 6.1.1 Augmented Entity Coupled

L'augmented entity può essere collegata ad un oggetto presente nel mondo fisico, tale collegamento permette di mantenere una sincronizzazione con lo stato o la posizione dell'oggetto fisico. In questo modo si possono arricchire le funzionalità proprie dell'oggetto e si possono mantenere aggiornate le informazioni ad esso relative. In questo caso è necessario definire un'ulteriore entità, chiamata `AugmentedEntityCoupled`, in modo che possano essere esplicitate le operazioni utili a gestire l'accoppiamento. Tali operazioni riguardano:

- la sincronizzazione dello stato: lo stato dell'oggetto fisico con cui l'entità è accoppiata può cambiare in seguito ad azioni umane dirette effettuate nel mondo fisico oppure può cambiare lo stato dell'entità aumentata a seguito di interazioni dirette di agenti nel livello aumentato. I cambiamenti devono essere propagati e mantenuti coerenti tra livello fisico e livello aumentato;
- invio di comandi: gli agenti che operano nel livello aumentato possono richiedere l'esecuzione di operazioni sull'entità aumentata, in questo caso l'oggetto fisico dovrà reagire di conseguenza.

Un oggetto fisico ha quindi nel livello aumentato un'`AugmentedEntityCoupled`, situata concettualmente sull'oggetto stesso, che include parte delle funzionalità e del comportamento. Per esempio una sveglia associata ad un `AugmentedEntityCoupled`, può sfruttare le informazioni in essa contenute relative all'agenda degli appuntamenti della persona, ed in base a questo modificare l'orario in cui deve suonare.

Si precisa che, nel caso di un `AugmentedEntityCoupled` di cui non sia definita una posizione ma sia esplicito solo l'accoppiamento all'oggetto fisico, non si esclude la possibilità che l'entità possa essere percepita attraverso un'interazione a livello fisico con altre entità. Per esempio una percezione a livello fisico può derivare dalla ricezione di un segnale bluetooth che determina la presenza di un oggetto fisico e della corrispondente entità aumentata.

## 6.2 Proprietà di osservazione e osservabilità

Si vogliono definire le proprietà di osservabilità/osservazione delle entità in relazione ad altre entità presenti nel sistema, siano esse `AugmentedEntity` oppure agenti. Le proprietà di osservabilità/osservazione sono definite a livello spaziale, in modo che si possa percepire un'entità senza avere a priori un suo riferimento ma potendola rilevare in base ad una certa distanza che dipende dalla progettazione del particolare sistema.

L'entità che rappresenta l'utente non deve necessariamente dichiarare l'ID dell'entità con la quale vuole interagire ma è in grado di percepirla e visualizzarla quando si trova in prossimità di essa. Quindi, a livello di modello, l'interazione è legata alla posizione fisica sia dell'entità stessa che dell'entità con cui si interagisce senza, però, che si abbia un riferimento diretto.

Questo rispetta il principio di località in cui l'utente non dev'essere sommerso di informazioni ma vuole poterle scoprire nel momento in cui siano utili, ovvero quando si trova in prossimità di esse.

Gli aspetti di discovery sono, quindi, legati alla specifica posizione concretizzando un modello di interazione più simile alla realtà.

Basti pensare al caso in cui ci sia un'elemento aumentato sovrapposto ad un armadio, che rappresenta un post-it con l'elenco del contenuto che si trova all'interno. L'utente vuole scoprire l'informazione e poterla percepire solo nel caso in cui sia nella stessa stanza dell'armadio o comunque sia sufficientemente vicino ad esso da poter essere interessato alle informazioni visualizzate. Una percezione indesiderata sarebbe il sommergere l'utente di informazioni che non sono solo utili, come percepire il post-it quando sta facendo una corsa al parco.

La proprietà di osservabilità differisce dal concetto di percezione e quindi da come un'entità viene rappresentata in riferimento all'utente ma riguarda la capacità di osservazione degli agenti in relazione ad una posizione spaziale specifica.

Le proprietà di osservazione/osservabilità possono essere gestite in diversi modi a seconda del contesto applicativo:

- entità con proprietà di osservabilità e di osservazione: un'entità può essere osservata da altre entità del sistema e a sua volta può osservare altre entità presenti in esso. Questo caso può essere ritrovato in una realizzazione aumentata del parcheggio che conteggia i posti liberi/occupati senza l'utilizzo di un sensore per la percezione delle informazioni dall'ambiente. In questo caso l'entità che rappresenta il contatore deve poter percepire le entità che rappresentano le macchine, le quali a loro volta possono essere interessate a percepire l'entità contatore per conoscerne lo stato, ovvero se il parcheggio ha ancora posti liberi o meno;
- entità con proprietà di osservabilità e non di osservazione: un'entità può essere osservata da altre entità ma non è in grado di osservare altre entità presenti. Nel caso di un'entità che rappresenta un messaggio, esso dev'essere percepito da un utente che inquadra un particolare punto dell'ambiente ma non ha interesse a percepire a sua volta l'utente;
- entità con proprietà di osservazione e non di osservabilità: un'entità non può essere osservata da altre entità ma è in grado di osservare altre entità presenti. Questo può essere utilizzato nel caso in cui un'entità che rappresenta un utente voglia percepire le altre entità ma non vuole che le entità a loro volta possano osservarlo;
- entità senza proprietà di osservazione e di osservabilità: un'entità non può essere osservata da altre entità e non è in grado di osservare altre entità presenti. Nella maggior parte delle applicazioni non vi è una percezione tra le entità presenti nel sistema, per esempio nel caso di sovrapposizione di fotografie nella scena reale, le fotografie non hanno percezione delle altre fotografie presenti e non hanno possibilità di interagire fra loro.

### 6.3 Zona

Si definisce il concetto di zona come estensione spaziale che individua una regione dell'ambiente fisico. Per semplificare, può essere espressa con la definizione di un centro e di un raggio.

La zona definisce una porzione di mondo fisico in cui un'entità può essere situata. Un'entità che si trova in una determinata zona può essere percepita da altre entità interessate ad osservare quella determinata zona.

L'intersezione tra zone è riconosciuta nel caso in cui una zona  $Z2$  sia inclusa in una zona  $Z1$  oppure nel caso una zona  $Z1$  sia, anche parzialmente, intersecata con una zona  $Z2$ .

### 6.4 Augmented Agent

L'AugmentedAgent modella un'entità che partecipa all'augmented world e possiede operazioni che si occupano di creare, usare ed agire sulle augmented entities. Si include in questa modellazione qualsiasi entità in grado di richiedere l'esecuzione di azioni e di osservare altre entità presenti nel sistema. L'AugmentedAgent non possiede la definizione di una posizione specifica in quanto non è interessato ad avere proprietà di osservabilità ma si limita alla proprietà di osservazione tramite focus esplicito e alla capacità di modificare lo stato delle diverse augmented entities.

L'AugmentedAgent è in grado di eseguire alcune operazioni come:

- *track*: si considera che l'agente può essere interessato ad osservare più entità aumentate poste in varie regioni dell'ambiente fisico. In questo caso si prevede di non effettuare focus espliciti su tutte le entità da osservare ma di utilizzare un'operazione di *track* su una zona specifica che permette di osservare le diverse entità aumentate presenti all'interno di quella zona. L'AugmentedAgent può effettuare più operazioni di *track* su zone diverse per ricevere gli eventi relativi alle entità presenti nelle zone specificate. In questo caso non è necessario specificare la posizione in cui ci si trova l'agente ma solo specificare la zona da osservare. Un AugmentedAgent che esegue una *track* su una zona può osservare tutte le entità che sono all'interno di quella zona o il cui raggio di osservabilità interseca la zona specificata. In questo modo si specifica la zona di spazio che si vuole osservare e nel mo-

mento in cui inizio l'osservazione, l'agente inizia a percepire gli eventi significativi in relazione alla zona specificata. L'azione di track può essere fatta su più zone diverse nello stesso tempo, in quanto si possono voler osservare molteplici posizioni contemporaneamente. Infine, la primitiva `stopTrack` permette di interrompere l'osservazione di una determinata zona.

- `lookAt`: permette di recuperare gli ID delle entità che sono presenti in una specifica zona in un determinato momento. Trovandosi in un sistema distribuito la nozione di tempo è relativa, quindi nel momento in cui viene eseguita l'operazione di `lookAt()` su una determinata regione, si potranno recuperare tutti gli ID delle entità aumentate associabili a quella zona in un momento relativo, passato il quale le entità potrebbero anche essere uscite dalla zona specificata;
- operazioni che permettono di creare, eliminare ed agire sulle entità aumentate.

### 6.4.1 Situated Augmented Agent

Uno degli aspetti più importanti dell'augmented world è quello relativo all'interazione e al coinvolgimento dell'utente. L'utente che partecipa all'augmented world dev'essere in grado di percepire le augmented entities presenti in esso. L'utente può essere modellato come `SituatedAugmentedAgent` con l'aggiunta di proprietà di osservabilità (rispetto all'`AugmentedAgent`) che permette di renderlo percepibile dalle augmented entities o da altri `AugmentedAgent`. A questo scopo sono sfruttate le proprietà di osservabilità e di osservazione esposte precedentemente.

Per poter utilizzare tale proprietà, è necessario definire una posizione per il `SituatedAugmentedAgent` in quanto la proprietà di osservabilità, che permette all'agente di essere percepito dalle augmented entities, è basata sulla distanza che si ha da esse.

Il `SituatedAugmentedAgent` può utilizzare le proprietà di osservabilità per essere percepito in più posizioni diverse senza essere legato alla posizione specifica del dispositivo al quale è associato. Per realizzare questa funzionalità l'agente può creare altre entità di tipo `SituatedAugmentedAgent` situandole in posizioni diverse.

Il `SituatedAugmentedAgent` presente sul dispositivo dell'utente, per esempio lo smartphone, ha il compito di guidare l'utente nella la visualizzazione degli elementi aumentati. L'utente può percepire le entità aumentate perché queste sono osservate dall'agente posto sul dispositivo.

## 6.5 Augmented World

Il livello dell'augmented world rappresenta il livello aumentato e si occupa di fornire un ambiente distribuito e concorrente nel quale possano coesistere augmented entities e di supportare funzionalità aggiuntive ad esse attribuite. Questo livello fornisce operazioni con le quali poter gestire le augmented entities già presenti nel sistema o permettendone la creazione e l'eliminazione. Ulteriori funzionalità sono esposte di seguito.

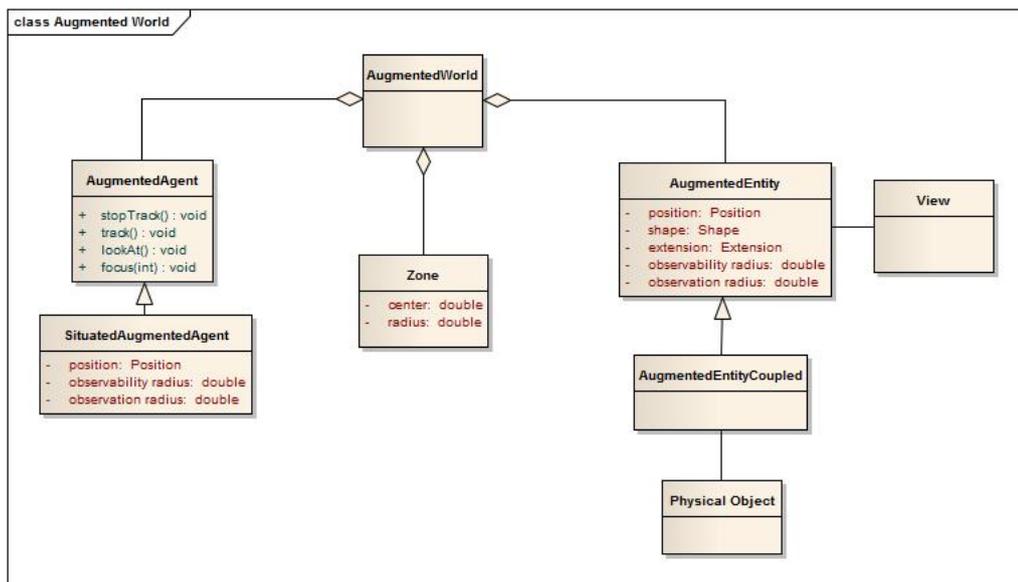


Figura 6.3: Un modello di Augmented World

### 6.5.1 Partecipazione dell'utente

Viene rivolta, ora, l'attenzione alla partecipazione dell'utente all'augmented world definendo come esso possa partecipare al livello aumentato ed interagi-

re con le entità presenti. La partecipazione dell'utente all'augmented world è definita da un'operazione di *join* al sistema, che corrisponde alla creazione di un `AugmentedAgent`, ovvero un'entità che partecipa all'augmented world con caratteristiche esclusivamente di osservazione. Inizialmente, infatti, si può pensare che un utente voglia poter percepire ed osservare le entità presenti senza però rendersi osservabile da esse. Concettualmente l'`AugmentedAgent` differisce dalla definizione di `AugmentedEntity` proprio perché quest'ultima è definita tale dalla presenza di proprietà sia di osservazione sia di osservabilità, che inizialmente l'`AugmentedAgent` non possiede completamente.

La partecipazione dell'utente all'augmented world dev'essere gestita in modo da prevedere eventuali malfunzionamenti. Per gestire queste situazioni si possono attuare varie strategie che possono risultare migliori in un contesto rispetto ad un altro. Un esempio può essere individuato nei problemi di connettività, a causa dei quali l'utente può disconnettersi involontariamente dall'augmented world.

In questa eventualità è necessario gestire due punti di vista:

- utente: in ottica di ambienti in cui la connettività può avere interruzioni, si supporta il fatto che una volta effettuata l'operazione di *join* all'augmented world e la connessione venga a mancare, l'utente rimanga comunque all'interno del sistema. Il sistema stesso deve essere in grado di rilevare un utente non più collegato ed eventualmente consentire la riconnessione automatica, questo senza la necessità, da parte dell'utente, di rieffettuare manualmente l'operazione di *join*;
- augmented world: il sistema deve poter rilevare un accoppiamento non più attivo e gestire eventuali informazioni destinate a quell'utente. Se l'utente si disconnette, il sistema non elimina dall'augmented world l'entità ad esso associata ma le nega la possibilità di rilevare eventuali aggiornamenti dell'ambiente circostante. Gli aggiornamenti riprenderanno solo nel momento in cui l'utente si riconnetterà all'augmented world.

L'uscita dall'augmented world dev'essere effettuata tramite un'operazione esplicita di *exit*.

### 6.5.2 Interfaccia di accoppiamento

Ogni entità ha una localizzazione spaziale e proprietà di osservabilità e osservazione che la caratterizzano. Le entità possono essere utilizzate anche nel caso si voglia effettuare un collegamento con un'entità fisica. Questo collegamento può essere utile per poter arricchire le funzionalità già presenti in oggetti fisici o interagire indirettamente con esse [Fig. 6.9].

La gestione di questo collegamento non può essere concettualmente assorbita nel livello di sistema ma è necessario esplicitarla introducendo un livello di accoppiamento che si occupa di modellare la connessione tra un'entità aumentata e un oggetto fisico, occupandosi, inoltre, di mantenerlo aggiornato. In particolare l'interfaccia di accoppiamento dovrà mettere a disposizione alcune funzionalità di consistenza che possano essere sfruttate dagli oggetti fisici.

L'interfaccia, infatti, dev'essere in grado di poter analizzare l'accoppiamento in termini di connessione attiva/non attiva, quest'informazione è necessaria per rendere affidabili le informazioni ricevute sino a quel momento. La possibilità che un accoppiamento diventi non attivo può presentarsi nel caso di problemi di connettività che potrebbero anche rivelarsi persistenti. Per esempio questa funzionalità può essere realizzata richiedendo a tutti gli oggetti fisici accoppiati con un `AugmentedEntityCoupled`, l'invio di un byte di *keep-alive* in determinati intervalli di tempo, anche a discapito dell'utilizzo della banda. Nel caso trascorra il tempo prefissato si può prevedere uno stato in cui l'entità risulti disconnessa ma non ancora uscita dall'augmented world. Quest'informazione dev'essere propagata nel sistema in modo che tutti i partecipanti possano sapere il livello di affidabilità delle informazioni provenienti da essa. Si lascia poi all'entità fisica l'implementazione custom di tale funzionalità a livello applicativo in base alle specifiche caratteristiche dell'entità stessa.

Con tale interfaccia di accoppiamento si può mantenere un principio di coerenza e consistenza con il mondo fisico che tuttavia non può essere totalmente allineata alla realtà ma avere un certo livello di approssimazione.

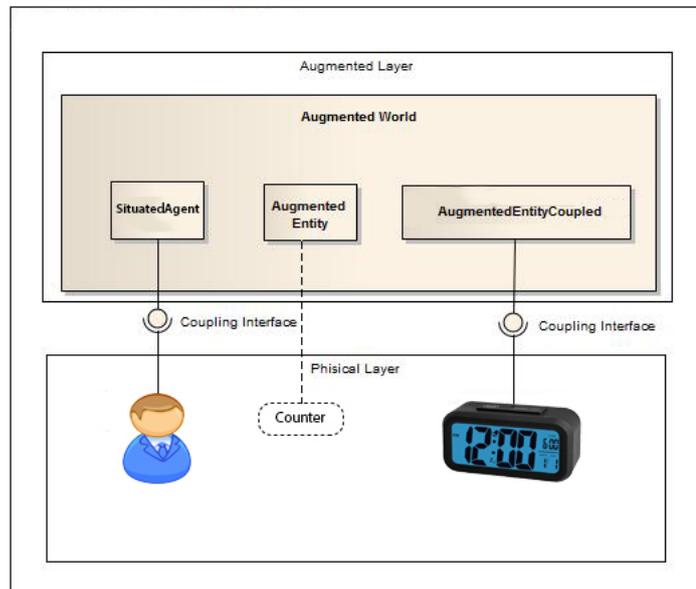


Figura 6.4: Esempio di utilizzo dell'augmented world

## 6.6 Interazione

### 6.6.1 Interazione tra agenti ed entità

L'AugmentedAgent può richiedere l'esecuzione di specifiche azioni per cambiare lo stato delle entità aumentate di cui possiede un ID o che percepisce attraverso un'operazione di track su una zona. L'osservazione di un'entità comporta la ricezione di eventi relativi ai suoi cambiamenti di stato e alle operazioni che l'agente richiede che riguardano lo svolgimento corretto o eventuali errori.

Nel momento in cui l'AugmentedAgent esegue una track ed inizia ad osservare una zona con all'interno diverse entità aumentate, può percepire i seguenti eventi:

- entrata di un'entità nella zona: segnala all'agente che è iniziata l'osservazione di una nuova entità entrata nella zona specificata;
- uscita di un'entità dalla zona: segnala all'agente la fine dell'osservazione di una determinata entità che è uscita dalla zona specificata;

- cambiamento di stato di un'entità presente nella zona: avverte l'agente del cambiamento di stato di un'entità che sta osservando sia che derivi da un'operazione eseguita dall'agente stesso o da altri.

### 6.6.2 Interazione tra mondo fisico e mondo aumentato

Nel momento in cui viene stabilito un accoppiamento tra un'entità aumentata e un oggetto fisico, l'interazione virtuale avviene solo attraverso l'entità aumentata che rappresenta l'unico entry point a tutte le funzionalità proprie dell'oggetto fisico e a quelle aggiuntive. L'interazione non avviene tramite un riferimento diretto all'oggetto fisico presente nel mondo.

L'interazione può avvenire:

- tra l'entità aumentata e l'oggetto fisico: questo tipo di interazione avviene quando si ha necessità di aggiornare le informazioni, relative allo stato dell'oggetto fisico, nell'entità aumentata ad esso associata, a seguito di un'azione fisica sull'oggetto stesso o nel caso l'entità aumentata debba inviare comandi a cui l'oggetto fisico deve reagire;
- tra oggetti fisici: l'interazione può coinvolgere due entità fisiche con la sola mediazione delle corrispondenti entità aumentate presenti nel augmented world. Un'azione su un'entità fisica è in grado di creare un effetto su un'altra entità fisica proprio perché esiste una relazione/interazione creata tra le entità aumentate presenti nell'augmented world.

## 6.7 Casi di studio

Si svolge una prima validazione del modello esposto attraverso la modellazione di alcune applicazioni significative in diversi contesti applicativi. Si specifica che la modellazione astrae da specifici dettagli implementativi e da concetti riguardanti la comunicazione e la sincronizzazione tra livello fisico e livello aumentato.

### 6.7.1 Domotica

Si considera un'applicazione di domotica che mira a realizzare un ambiente domestico intelligente e versatile: *Managing an Adaptive Versatile Home (MavHome)* [6, 10].

MavHome è il progetto di una casa intelligente in grado di percepire lo stato dell'ambiente attraverso l'utilizzo dei sensori e la capacità di agire in modo razionale attraverso un controller che comanda gli attuatori. L'applicazione ha come obiettivo quello di massimizzare il comfort dei suoi abitanti e ridurre al minimo i costi. Al fine di raggiungere questi obiettivi, la casa deve essere in grado di ragionare e adattarsi ai comportamenti dei suoi abitanti. In particolare, la casa deve agire come un agente razionale in grado di prevedere con precisione la mobilità e le attività dei suoi abitanti. Attraverso l'utilizzo di queste previsioni, la casa può accuratamente mostrare istruzioni e informazioni multimediali, ed essere in grado di automatizzare attività che altrimenti sarebbero eseguite manualmente dagli abitanti.

Un esempio del suo funzionamento è il medesimo. Alle 6:45, MavHome accende il riscaldamento perché ha appreso che la casa ha bisogno di 15 minuti per riscaldarsi e raggiungere la temperatura ottimale per il risveglio. La sveglia di Bob suona alle 7:00, questo fa accendere le luci in camera da letto e la macchina del caffè in cucina. Bob entra in bagno ed accende la luce, MavHome percepisce quest'azione e visualizza su uno schermo del bagno le notizie e accende la doccia.

MavHome presume alcuni elementi principali:

- sensori: si occupano di rilevare le informazioni provenienti dall'ambiente, come la temperatura e la pressione di pulsanti. Possono essere modellati come `AugmentedEntityCoupled` accoppiate ad oggetti fisici come il sensore di temperatura o il pulsante in modo da poter rilevare il relativo stato attuale ed eventuali cambiamenti;
- attuatori: sono dispositivi che agiscono sull'ambiente e sono in grado di modificarlo, come la macchina del caffè o il rubinetto della doccia. Anch'essi possono essere modellati come `AugmentedEntityCoupled` accoppiate ad un oggetto fisico. L'oggetto fisico in questo caso può essere manipolato dalla persona situata nell'ambiente o dal controller che lo gestisce;

- controller: gestisce tutti i sensori e attuatori presenti nella casa. Si occupa di elaborare le informazioni rilevate dai sensori ed agire conseguentemente sugli attuatori. Può essere modellato come *AugmentedAgent* non situato in una precisa posizione dell'ambiente fisico ed in grado di osservare tutte le *AugmentedEntityCoupled* presenti nella zona relativa alla casa.

Senza entrare nel merito degli algoritmi di previsione utilizzati e di alcuni dettagli implementativi si descrive il comportamento del sistema: il controller si occupa di gestire l'intero sistema. Il controller effettua un'operazione di track su tutta la zona relativa alla casa in modo da osservare tutte le *AugmentedEntityCoupled* presenti. Nel momento in cui il controller riceve un evento relativo al cambiamento di stato di un *AugmentedEntityCoupled* relativa ad un sensore, agisce sull'attuatore, attraverso l'*AugmentedEntityCoupled* corrispondente. Il controller percepisce, inoltre, gli eventi relativi a cambiamenti degli attuatori che possono venire effettuati manualmente dagli abitanti della casa.

### 6.7.2 Avionica e ARMAR

Nell'ambito dell'avionica [8] e dell'*augmented reality for maintenance and repair* (ARMAR) [13] si costruiscono interfacce avanzate utilizzando sistemi di visualizzazione interattiva e dispositivi wearable per implementare nuovi metodi per visualizzare le informazioni relative ad operazioni di manutenzione e riparazione. Solitamente i sistemi sovrappongono dei marker sugli oggetti fisici in modo che sia possibile un facile riconoscimento in modo da poter visualizzare le informazioni corrette in tempo reale.

In particolare nel settore dell'avionica si percepisce la necessità di collocare i marker sugli aeromobili come una limitazione. Per questo ci si è concentrati su soluzioni *markless* in cui si sfrutta la computer-vision e il riconoscimento di pattern per mostrare le informazioni pertinenti con ciò che si sta visualizzando.

Questi sistemi si basano sui seguenti elementi:

- dispositivo wearable: è indossato dalla persona incaricata delle operazioni di manutenzione e riparazione. Il dispositivo è responsabile della visualizzazione delle informazioni da mostrare all'utente. Può essere modellato come *Agent* in grado di osservare gli oggetti fisici vicino a sé;

- componenti fisici: identificano gli oggetti o i pezzi che l'utente deve manipolare per portare a termine l'operazione. Possono essere modellati come `AugmentedEntityCoupled` la cui `View` rappresenta le informazioni grafiche per guidare la procedura di manutenzione o riparazione.



Figura 6.5: Esempio di applicazione ARMAR

Il comportamento del sistema è riassunto di seguito: l'utente che indossa il dispositivo wearable rappresenta l'Agent che è in grado di osservare gli oggetti a lui vicini attraverso un'operazione di track della zona in cui opera. L'utente rileva le informazioni aggiuntive percepite attraverso le entità e interagisce con le `AugmentedEntityCoupled` in modo da far proseguire l'operazione di manutenzione e riparazione.

### 6.7.3 Cultura e turismo

L'ambito culturale e quello turistico condividono molti aspetti comuni, come la presenza di elementi virtuali sovrapposti a luoghi o edifici.

In termini di funzionalità specifiche per il turismo, la maggior parte delle applicazioni offrono elementi per la ricerca di particolari punti di interesse. La maggior parte delle applicazioni in questo ambito offrono servizi basati sulla consultazione di mappe, anche se variano in forma e modalità di fruizione.

Un'applicazione di questo tipo è Layar [41].

Layar è un'applicazione per mobile devices, che tramite la posizione dell'utente, ottenuta tramite il sensore GPS e la bussola integrata all'interno del device, è in grado di far apparire sullo schermo l'immagine dei luoghi

nelle vicinanze e la segnalazione dei punti di interesse (POI, Point Of Interest) come ristoranti o hotel. I punti di interesse sono scelti in base alle esigenze dell'utente e può essere impostata la distanza entro la quale si vuole che vengano date le informazioni.

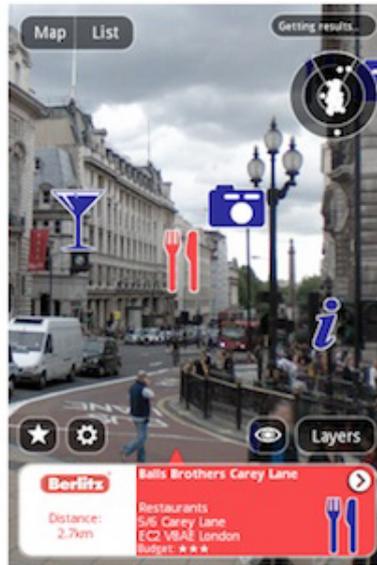


Figura 6.6: Esempio di applicazione in ambito turistico

Un esempio è fornito dalla seguente situazione: un'utente si trova in un determinato quartiere, nel quale è intenzionato ad acquistare una casa. Tramite l'applicazione imposta come luoghi d'interesse le case in vendita nel raggio di un chilometro. Nel momento in cui l'utente inquadra gli spazi intorno a sé, utilizzando la fotocamera del device, l'applicazione segnalerà i luoghi pertinenti.

In ambito culturale, l'obiettivo principale è combinare le esigenze dei turisti in ambienti reali con la tecnologia di realtà aumentata. L'uso di questa tecnologia permette agli utenti di consultare informazioni multimediali personalizzate e interattive su monumenti ed edifici storici della città che stanno visitando.

Si prende come esempio l'applicazione ARCHEOGUIDE [33].

Il progetto ARCHEOGUIDE è associato allo sviluppo di una guida elettronica personalizzata e di un assistente in tour culturali. Il sistema è stato sviluppato per trasformare il metodo di visualizzazione e di apprendimento

del patrimonio culturale in cui i visitatori si trovano. In questo sistema, i visitatori creano un profilo utente che rappresenta i loro interessi ed in base a questo il sistema fornisce un insieme di tour, tra i quali il visitatore può scegliere. Una volta effettuata la scelta, il sistema guiderà il visitatore attraverso il luogo mostrando la ricostruzione dei templi [Fig. 6.7] e altri monumenti presenti. Il sistema mostra le immagini in modo dipendente dalla posizione dell'utente e dal riconoscimento di determinati elementi. I visitatori utilizzano gli smartglass per visualizzare le informazioni e le immagini 3D.



Figura 6.7: Immagine originale (a sinistra), immagine con ricostruzione AR (a destra)

Entrambi gli ambiti applicativi hanno elementi comuni:

- utente: rappresenta il turista che visita una città o un museo. Può essere modellato come un *SituatedAgent*, in quanto in relazione alla posizione assunta sono percepite determinate informazioni;
- informazioni: rappresentano tutte le informazioni, tipicamente dati statici come icone o immagini 3D. Possono essere modellate come *AugmentedEntity* in quanto sono associate ad una determinata posizione e non ad un'elemento fisico specifico.

#### 6.7.4 Militare

Le operazioni militari sono sempre più diversificate per la loro natura e per poter far fronte a questo si sono ricercati nuovi strumenti da utilizzare sia durante le operazioni sia per gli allenamenti. Un requisito fondamentale è rappresentato dall'evitare il sovraccarico di informazioni visualizzate

dall'utente, in modo da non ostacolare la capacità visiva. Le informazioni devono essere mostrate solo se appropriate al ruolo dell'utente nella missione di squadra e inerenti al luogo in cui si trova. Alcuni esempi di informazioni sono: le posizioni delle forze amiche, dati specifici relativi ad un edificio, nomi delle strade e gli identificatori di orientamento rispetto ad un sistema di coordinate.

Si vogliono prendere come esempio specifico le operazioni militari effettuate su ambienti urbani. Queste operazioni includono caratteristiche di visibilità limitata, mancanza di familiarità con l'ambiente, minacce di cecchini appostati, comunicazioni inefficaci, e localizzazione e identificazione sia del nemico sia delle forze amiche. Per questo è necessario che i militari coinvolti nell'operazione abbiano consapevolezza della situazione. L'utilizzo di radio, mappe e visualizza palmari, in questi casi, è stato ritenuto inefficiente ed è per questo che si è sviluppato il *Battlefield Augmented Reality System* (BAR) [17] in collaborazione con la Columbia University che utilizza la tecnologia di realtà aumentata.

Il sistema è costituito da un see-through Head Mounted Display (HMD) e un sistema di rete wireless. L'ambiente si arricchisce, attraverso sovrapposizione grafica, di informazioni che l'utente è in grado di percepire attraverso il dispositivo wearable. Per esempio, sovrapposta ad un edificio potrebbe comparire la sua planimetria interna con all'interno alcune icone che rappresentano i luoghi che possono essere occupati dai cecchini e i nomi strade delle adiacenti ad esso. Le informazioni sono registrate con l'ambiente reale e possono sia rappresentare dati statici sia dati dinamici, come per esempio lo stato vitale di un compagno di squadra.

Il sistema può essere modellato come segue:

- utente: rappresenta il militare che prende parte ad una missione. Può essere modellato come `SituatedAgent` perchè può osservare altri suoi compagni di squadra ed entità presenti nel sistema e a sua volta essere osservato. Questa è una caratteristica fondamentale, soprattutto per le operazioni svolte in squadra;
- informazioni: costituiscono tutti i dati, sia statici sia dinamici, sovrainpressi alla visuale dell'utente. Possono essere modellati come `AugmentedEntity` accoppiate ad una posizione specifica assoluta o relativa.



Figura 6.8: Esempio di visuale dell'utente in un applicazione militare

### 6.7.5 Gaming

L'applicazione presa in considerazione è un gioco collaborativo in realtà aumentata: AR2 Hockey [28].

AR2 Hockey descrive un sistema in cui due giocatori possono condividere un campo di gioco, mazza e un disco virtuale per giocare ad air-hockey. L'obiettivo del gioco è colpire il disco con la mazza e direzionarlo verso il gol, rappresentato dalla postazione dell'avversario.



Figura 6.9: Punto di vista del giocatore

L'oggetto che devono manipolare, ovvero il disco, si trova in uno spazio

virtuale e reagisce alle azioni fisiche dei giocatori, spostandosi nello spazio. I giocatori utilizzano dispositivi optical see-through ed ogni giocatore può vedere l'azione compiuta dall'avversario, in quanto entrambi coesistono all'interno del campo di gioco e sono visibili a vicenda. Il tempo di risposta tra un'azione fisica e la sua reazione è inferiore ad una determinata soglia in modo che i giocatori abbiano l'illusione che il mondo fisico e quello virtuale siano "uniti". Il sistema è composto da:

- due giocatori: possono essere modellati come `SituatedAgent` in quando devono avere una precisa posizione per poter visualizzare in modo corretto il disco virtuale;
- due mazze: una per giocatore e possono essere modellate come `AugmentedEntityCoupled`, in quando accoppiate con un oggetto fisico del quale devono mantenere la posizione che permette l'interazione con il disco virtuale;
- un disco: modellabile come `AugmentedEntity` con una `View` in quanto l'oggetto ha una rappresentazione puramente virtuale senza un corrispondente oggetto fisico. Inoltre viene specificata un'estensione/forma per determinare l'interazione che la mazza ha con il disco stesso.

Prescindendo dai dettagli di sincronizzazione tra livello fisico e livello aumentato si descrive il comportamento del sistema: entrambi i giocatori (`SituatedAgent`) possono osservare le entità presenti nell'area di gioco (track su area di gioco) per percepirne i cambiamenti di stato che permettono di renderizzare l'immagine in modo coerente con le azioni eseguite. I giocatori muovendo l'oggetto fisico mazza (`AugmentedEntityCoupled`) possono modificarne la posizione e di conseguenza agire sul disco (`AugmentedEntity`), che a sua volta modifica la propria posizione a seconda delle azioni richieste.

# Capitolo 7

## Conclusioni

In questa tesi si è voluto definire un modello che permetta lo sviluppo di applicazioni che integrano diversi ambiti tecnologici.

Per questo è stata affrontata in primo luogo una disamina delle principali tecnologie utilizzate nel panorama applicativo odierno come IoT, sistemi embedded, dispositivi wearable. Queste tecnologie sono considerate sia abilitanti per la realizzazione di applicazioni di realtà aumentata sia un sostegno per una nuova tipologia d'interazione con l'utente.

In particolare ci si è soffermati su una descrizione più dettagliata degli aspetti principali relativi alla realtà aumentata.

In merito a questo, si è proposto il concetto di augmented worlds, del quale sono stati descritti gli elementi essenziali e le potenzialità. Sono stati esposti, inoltre, i limiti e le difficoltà che lo sviluppo di applicazioni di realtà aumentata porta alla luce come la sincronizzazione tra il mondo fisico e il mondo aumentato, la precisione dei dati acquisiti dall'ambiente e la freschezza e l'affidabilità dell'informazione.

Attraverso un esempio concreto come il Mirror Worlds si è mostrata una prima implementazione dell'idea di augmented worlds. In seguito è stata elaborata un'analisi tassonomica mediante la quale si sono analizzate le caratteristiche fondanti di questi sistemi in diversi contesti applicativi.

Alla luce di questo si è definito un modello con il quale realizzare diverse tipologie di applicazioni che spaziano dalla realtà aumentata al pervasive computing.

Il modello è stato sottoposto ad una prima validazione tramite l'applicazione ad alcuni casi di studio riguardanti i principali ambiti applicativi.

Attraverso questa prima modellazione si è riscontrato un buon livello di adeguatezza del modello esposto e non si sono evidenziati particolari limiti.

Il concetto di *augmented worlds* può delineare la prospettiva di sviluppi futuri che prevedono un raffinamento del modello presentato ed una sua implementazione.

Nello specifico sarà necessario analizzare la gestione degli aggiornamenti tra il mondo reale e il mondo aumentato e valutare l'utilizzo di tecniche di comunicazione a polling o più orientate all'*event-driven*. L'organizzazione delle *augmented entity* presenti nell'*augmented world* rappresenta un altro aspetto da approfondire, in quanto è necessario un identificativo che ne permetta il riconoscimento e la localizzazione. La gestione degli identificativi può essere sviluppata ad hoc o, per esempio, può essere considerato REST come principio architetturale di riferimento. Sarà inoltre necessario definire la connessione e comunicazione tra l'*augmented world* e gli oggetti fisici, accoppiati ad *augmented entities*, o gli utenti partecipanti, tenendo conto dei problemi di connettività che possono presentarsi.

Infine, definire un livello di persistenza in modo che una *failure* del sistema non comporti la perdita dello stato dell'*augmented world* e di tutte le informazioni e dati presenti.

# Ringraziamenti

Ringrazio la mia famiglia per aver creduto in me e senza la quale tutto ciò non sarebbe stato possibile. In particolare i miei genitori, Michaela e Stefano, che mi hanno dato coraggio e mi hanno sempre mostrato il lato positivo di tutte le situazioni.

Ringrazio la mia super sorella Serena, che mi ha accompagnata in ogni momento importante facendomi passare la tensioni e dandomi la giusta carica.

Un ringraziamento speciale a Mattia, che mi ha sopportato nei momenti più duri e ha reso questo percorso più sereno. Grazie per aver fantasticato con me sui nostri progetti futuri quando sembravano davvero troppo lontani e che adesso, invece, possiamo realizzare sul serio.

Ringrazio Michela, Sara, Micol e tutte le amiche che in un modo o nell'altro hanno condiviso con me questi anni e che mi hanno sempre sostenuta e spronata. Grazie per tutti quei pranzi organizzati all'ultimo momento solo per poterci vedere e fare due chiacchiere, sono stati, soprattutto nell'ultimo periodo, la mia boccata d'aria fresca.

Ringrazio tutte le persone che ho incontrato sul mio cammino universitario per tutto ciò che abbiamo condiviso insieme e per tutti i bei ricordi che porterò con me.

Infine non posso che ringraziare, chi in qualsiasi momento è sempre riuscito a strapparmi un sorriso: Milù e Penny, due cuori puri.



# Bibliografia

- [1] M. H. Assaf, R. Mootoo, S. R. Das, E. M. Petriu, V. Groza, and S. Biswas. Sensor based home automation and security system. 2012.
- [2] W. Barfield, editor. *Wearable Computers and Augmented Reality*. CRC Press, 2016.
- [3] S. Bedoya-Rodriguez, C. Gomez-Urbano, A. Uribe-Quevedoy, and C. Quintero. Augmented reality rpg card-based game. In *Games Media Entertainment (GEM), 2014 IEEE*, 2014.
- [4] S. Bedoya-Rodriguez, C. Gomez-Urbano, A. Uribe-Quevedoy, and C. Quintero. Augmented reality rpg card-based game. In *Games Media Entertainment (GEM), 2014 IEEE*, pages 1–4, Oct 2014.
- [5] A. H. Bordini, J. F. Hübner, and M. Wooldrige. Programming multi-agent systems in agentspeak using jason. 2007.
- [6] D. J. Cook, M. Youngblood, E. O. Heierman, K. Gopalratnam, S. Rao, A. Litvin, and F. Khawaja. Mavhome: An agent-based smart home. 2003.
- [7] A. B. Craig. *Understanding Augmented Reality - Concepts and application*. Morgan Kaufmann, 2013.
- [8] F. D. Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L. D. Stefano, P. Azzari, and S. Salti. Augmented reality for aircraft maintenance training and operations support. 2011.
- [9] A. Croatti and A. Ricci. Programming abstractions for augmented worlds. 2015.

- 
- [10] S. Das, D. J. Cook, A. Bhattacharya, I. E. O. Heierman, and T. Lin. The role of prediction algorithms in the mavhome smart home architecture. 2003.
- [11] A. Dix, J. Finlay, G. D. Abowd, and R. Beale. Virtual and augmented reality. 2004.
- [12] J. Gubbia, R. Buyyab, S. Marusic, and M. Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. 2013.
- [13] S. J. Henderson and S. K. Feiner. Augmented reality for maintenance and repair (armar). 2007.
- [14] T. Hollerer, S. Feiner, and J. Pavlik. Situated documentaries: embedding multimedia presentations in the real world. In *Wearable Computers, 1999. Digest of Papers. The Third International Symposium on*, pages 79–86, Oct 1999.
- [15] O. Hugues, P. Fuchs, and O. Nannipieri. New augmented reality taxonomy: Technologies and features of augmented environment. 2011.
- [16] A. Inc. Apple inc., official web site. <http://www.apple.com/it/watch/>.
- [17] S. Julier, Y. Baillot, M. Lanzagorta, D. Brown, and L. Rosenblum. Bars: Battlefield augmented reality system. 2000.
- [18] P. Kalagiakos and P. Karampelas. Cloud computing learning. 2011.
- [19] I.-H. Kim, H.-J. Kim, J.-T. Ihm, G.-M. Jeong, and K.-D. Chung. Wpan platform architecture and application design for handset. 2008.
- [20] M. Kojima, M. Sugimoto, A. Nakamura, M. Tomita, H. Nii, and M. Inami. Augmented coliseum: an augmented game environment with small vehicles. In *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006. TableTop 2006. First IEEE International Workshop on*, pages 6 pp.–, Jan 2006.
- [21] Microsoft. Microsoft hololens, official web site. <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens>.

- 
- [22] P. Milgram and F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. 1994.
- [23] P. Mistry and P. Maes. Sixthsense: A wearable gestural interface. 2009.
- [24] G. Moreau. Visual immersion issues in virtual reality: a survey. 2013.
- [25] Mourlas and Constantinos. Cognitive and emotional processes in web-based education: Integrating human factors and personalization: Integrating human factors and personalization. 2009.
- [26] N. Navab, M. Feuerstein, and C. Bichlmeier. Laparoscopic virtual mirror - new interaction paradigm for monitor based augmented reality. 2007.
- [27] Nintendo. Ar cards see your games in the real world. <http://www.nintendo.com/3ds/ar-cards>, 2014.
- [28] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura. Ar2hockey: a case study of collaborative augmented reality. In *Virtual Reality Annual International Symposium, 1998. Proceedings., IEEE 1998*, pages 268–275, 1998.
- [29] A. Ricci, A. Croatti, P. Brunetti, and M. Viroli. Programming mirror-worlds: an agent-oriented programming perspective. 2015.
- [30] A. Ricci, M. Piunti, and M. Viroli. Environment programming in multi-agent systems: an artifact-based perspective. 2011.
- [31] Sony. Ar play augmented reality gaming on ps vita system. <http://us.playstation.com/psvita/apps/psvitaapp-ar.html>, 2014.
- [32] S. Soucek, G. Russ, and C. Tamarit. The smart kitchen project an application of fieldbus technology to domotics. 2000.
- [33] D. Stricker, P. Dähne, F. Seibert, I. Christou, L. Almeida, and N. Ioannidis. Design and development issues for archeoguide: An augmented reality-based cultural heritage on-site guide. 2001.
- [34] H. Sundmaecker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelfflé. Vision and challenges for realising the internet of things - cluster of european research projects on the internet of things. 2010.

- 
- [35] L. Sydanheimo, M. Salmimaa, J. Vanhala, and M. Kivikelski. Wearable and ubiquitous computer aided service, maintenance and overhaul. 1999.
- [36] L. Tan and N. Wang. Future internet: The internet of things. 2010.
- [37] ThalmicLabs. Myo. <https://www.myo.com/>, 2013.
- [38] D. van Krevelen and R. Poelman. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. 2010.
- [39] F. William and B. Carlo. Sistemi embedded. sviluppo hardware e software per sistemi dedicati. 2007.
- [40] S. Yoshimoto, Y. Hamada, T. Tokui, T. Suetake, M. Imura, Y. Kuroda, and O. Oshiro. Haptic canvas: Dilatant fluid based haptic interaction. 2010.
- [41] Z. Yovchevaa, D. Buhalisb, and C. Gatzidisc. Overview of smartphone augmented reality applications for tourism. 2012.
- [42] D. Zhang, L. T. Yang, and H. Huang. Searching in internet of things: Vision and challenges. 2011.
- [43] Z. Zhou, A. D. Cheok, Y. Qiu, and X. Yang. The role of 3-d sound in human reaction and performance in augmented reality environments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 37(2):262–272, March 2007.