

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

CONTEXT-AWARE COMPUTING E TECNOLOGIE
WEARABLE

Elaborata nel corso di: Programmazione di sistemi embedded

Tesi di Laurea di:
ANDREA NICOLINI

Relatore:
Prof. ALESSANDRO RICCI

ANNO ACCADEMICO 2014–2015
SESSIONE III

PAROLE CHIAVE

Context-Aware

Google Glass

Wearable

Wearable Computing

Realtà Aumentata

A mio fratello Luca

Indice

Introduzione	ix
1 Context-Aware Computing	1
1.1 Concetti Fondamentali	2
1.1.1 Cos' è il Context	2
1.1.2 Cos' è il Context-Aware Computing	4
1.1.3 Caratteristiche di Applicazioni Context-Aware	4
1.2 Tecnologie e Framework	5
1.2.1 Il Context-Toolkit	5
2 Dispositivi Wearable e Wearable-Computing	9
2.1 Tecnologie Abilitanti al Context-Aware	9
2.1.1 I Dispositivi Wearable	10
2.1.2 Wearable Computing	11
2.2 Recente Sviluppo Tecnologico	12
2.2.1 Smartwatch	14
2.2.2 Smartband	15
2.2.3 Smartglasses	15
2.2.4 Visore HMD	16
2.3 Mobile Computing vs. Wearable Computing	17
2.4 Aspetti Correlati al Context-Aware	18
2.4.1 Cos' è Internet of Things	19
2.4.2 Pervasive Computing	21
3 Realtà Aumentata e Context-Aware	25
3.1 Realtà Aumentata vs. Realtà Virtuale	27
3.2 Tecnologie Abilitanti alla Realtà Aumentata	30

3.2.1	La Registrazione dei Modelli	31
3.3	Applicazioni di Realtà Aumentata	32
3.3.1	Realtà Aumentata nel Militare	32
3.3.2	Realtà Aumentata nella Chirurgia	33
3.4	Piattaforme e Framework disponibili per lo Sviluppo di Ap- plicazioni di Realtà Aumentata	36
3.4.1	ARToolKit	37
3.4.2	Vuforia	37
3.4.3	Wikitude	38
4	Smartglasses come Caso di Studio	41
4.1	I Google Glass	42
4.2	Applicazioni e Sviluppo Software	44
4.2.1	Live Cards	45
4.2.2	Static Cards	46
4.3	Tecnologie e Framework	46
4.3.1	Glass Development Kit	47
4.3.2	Mirror API	48
5	Conclusioni	49
6	Bibliografia	51

Introduzione

Quest' ultimo ventennio ha visto una vera e propria rivoluzione dei dispositivi, partendo dal computer desktop, passando ai laptop fino ad arrivare agli smartphone.

Oggi giorno invece si parla di computer indossabili, i dispositivi stanno diventando sempre più piccoli e integrati in oggetti di moda come possono essere degli orologi, occhiali e orecchini.

Questi sono connessi in rete con migliaia di dispositivi e con computer più grandi, con i quali, gli utenti nel corso della giornata interagiscono continuamente senza nemmeno rendersene conto scambiandosi migliaia di piccole informazioni: quando si cammina per strada, in centro città quando si fanno compere, quando si è in casa a guardare la TV. Questo ha portato quindi alla nascita di una nuova tipologia di sistemi, in risposta ai cambiamenti portati da questa rivoluzione, i così detti "Sistemi Context-Aware".

Il context di un utente può essere descritto come la relazione che vi è tra i suoi dispositivi elettronici, e l' ambiente che lo circonda, a seconda di dove si trova esso dovrà dare delle risposte opportune, e compiere quindi autonomamente certe azioni, tal volta ad insaputa dell' utente. Le applicazioni che usano quindi questo sistema, vengono continuamente messe a conoscenza dei cambiamenti che vengono apportati all' ambiente circostante, regolandosi e reagendo di conseguenza in autonomia.

Ad esempio, il nostro dispositivo scopre tramite la rete, la presenza di un amico nelle vicinanze, mentre stiamo passeggiando per strada, allora potrebbe inviarci un messaggio mostrandoci chi è, e dove si trova, con il tragitto da percorrere per raggiungerlo. Oppure capire che siamo in riunione e ritardare le notifiche di SMS e e-mail, mostrandoceli solo a riunione ultimata.

Le migliaia di informazioni che vengono quindi scambiate in rete andranno a creare un ambiente intelligente, con il quale gli utenti interagiscono inviando informazioni sul proprio conto, senza nemmeno accorgersene, in modo da avere una risposta personalizzata, da parte dell' ambiente.

Il termine "Context-Aware computing", si riferisce quindi a tutti quei sistemi sensibili al contesto in cui sono utilizzati. Questi sistemi percepiscono o ricordano informazioni sugli utenti e sulle situazioni fisiche o emozionali, con lo scopo di ridurre lo scambio di informazioni tra computer e utente e semplificare il processo di interazione. Molti degli elementi dell' ambiente fisico e concettuale con cui questi sistemi sono utilizzati, come per esempio: posizione, tempo, storia, reazione che il computer si aspetta dall' utente ad un determinato evento, informazioni generiche e personali riguardanti l'utente, possiamo racchiuderle in un unico concetto, il contesto. Raccogliendo e interpretando le informazioni dal contesto, i sistemi context-aware, creano e conservano modelli di utente dai quali sono guidati nel corso dell' interazione. In genere la raccolta di queste informazioni avviene mediante l' uso di canali impliciti, ovvero, tutto ciò che fa l' utente e che non viene direttamente inserito nel sistema da lui, viene ad ogni modo ricordato e salvato dal sistema, considerato quindi come una comunicazione implicita.

Si deduce che tale architettura richiede alcune caratteristiche fondamentali. In primo luogo, un sistema sensibile al contesto deve monitorare costantemente l' ambiente fisico, mediante la moltitudine di sensori di cui i dispositivi sono dotati (accelerometro, GPS, barometro ecc.), e rendere disponibili tali informazioni in modo uniforme. Va da se che fondamentale sarà la posizione del dispositivo e quindi dell' utente, di conseguenza altrettanto fondamentale è la connessione a internet.

Capitolo 1

Context-Aware Computing

Una delle principali caratteristiche in cui gli esseri umani eccellono è quella di trasmettere al meglio le idee agli altri e reagire in maniera appropriata in base alla situazione.

Questo è possibile grazie a diversi fattori: la ricchezza del linguaggio condiviso, la comprensione comune di come funziona il mondo e un'implicita comprensione delle situazioni quotidiane.

Quando gli esseri umani parlano con altri esseri umani, sono in grado di utilizzare le informazioni situazionali implicite, o contesto, per aumentare la "larghezza di banda" della conversazione. Purtroppo però, questa capacità di trasmettere idee non vi è tra gli esseri umani che interagiscono con i computer, in questo caso l'utente ha un meccanismo alquanto impoverito per trasmettere informazioni di input al dispositivo, di conseguenza, i computer non sono attualmente abilitati a cogliere e quindi a sfruttare appieno il contesto del dialogo uomo-computer. Quindi migliorando l'accesso del computer al contesto, aumentiamo la ricchezza della comunicazione durante l'interazione uomo-computer, rendendo possibile produrre servizi computazionali più utili.

Ed è proprio questa una delle principali direzioni di ricerca per quanto riguarda la HCI (human-computer interaction), secondo quanto citato da Dourish [10], nel corso degli ultimi anni, quella di esplorare le varie forme di interazione, che si possono ottenere integrando le tecnologie informatiche con la vita quotidiana e il mondo fisico in cui viviamo e lavoriamo.

Questa linea di ricerca ha assunto nel corso della storia svariati nomi: Ubiquitous Computing (Weiser, 1991), context-aware computing (Dey et al., 2001), pervasive computing (Arca e Selker, 1999), embodied-interaction (Dourish, 2001), e altro ancora.

Sebbene la varia nomenclatura, le idee centrali sono in gran parte le stesse, ovvero lo sviluppo di dispositivi a basso costo e a basso consumo, che dovranno interagire intrinsecamente con l'ambiente fisico che ci circonda. Con qualsiasi nome ci rivolgiamo a questa branca della tecnologia va da se che il contesto (context) ha un ruolo fondamentale.

Per poter utilizzare in modo efficace il contesto, dobbiamo capire prima cos'è e poi come può essere usato e dobbiamo avere il supporto architettonico. Una comprensione di come il contesto potrà essere utilizzato consentirà ai progettisti di applicazioni di scegliere quale tipologia di comportamenti in relazione ad esso, dovranno essere supportate nella loro applicazioni.

Infine, il sostegno architettonico permetterà ai disegnatori di costruire le loro applicazioni più facilmente. Questo supporto architettonico ha due parti: servizi e astrazioni.

1.1 Concetti Fondamentali

1.1.1 Cos'è il Context

I primi ad introdurre il concetto di 'context-aware' furono Schilit and Theimer [7], facendo riferimento al contesto come la locazione, le identità di persone e oggetti vicini e le modifiche e cambiamenti apportati a tali oggetti.

Secondo Day [9], questi tipi di definizioni che definiscono il contesto come tale, sono di difficile applicazione. Perché per esempio quando si vuole determinare se un tipo di informazione, non elencata nella definizione, può far parte del contesto o no, potremmo trovarci in difficoltà, in quanto non è chiaro come si possa usare la definizione per risolvere il dilemma.

Altre definizioni hanno semplicemente fornito i sinonimi di contesto; per esempio, riferendosi al contesto come l'ambiente o situazione [1,4,8], anch'esse però, sono estremamente di difficile applicazione nella pratica.

Le definizioni di Schilit [6] e Pascoe [8] sono più vicine in spirito alla definizione operativa che desideriamo. Schilit sostiene che gli aspetti importanti del contesto sono: dove sei, con chi sei e che risorse si trovano nelle vicinanze. Pascoe definisce il contesto come il sottoinsieme degli stati fisici e concettuali di interesse per una particolare entità.

Queste definizioni sono troppo specifiche. Il contesto è qualcosa di più ampio e astratto, il contesto è tutto ciò che riguarda una situazione relativa a una domanda e il suo insieme di utenti. Non possiamo enumerare quali aspetti di tutte le situazioni sono importanti, come questo cambierà da situazione a situazione. Per questo motivo, non abbiamo potuto usare questo tipo di definizioni.

Day [9] ci fornisce quindi, una definizione più precisa del context, che possiamo utilizzare con più facilità:

Il contesto sono tutte quelle informazioni che possono essere utilizzate per caratterizzare la situazione di un' entità. Un' entità è una persona, un luogo o oggetto che viene considerato pertinente per l' interazione tra un utente ed un applicazione, compreso l' utente e applicazioni stesse.

Questa definizione quindi rende più facile per uno sviluppatore di applicazioni, capire quali informazioni possono essere rilevanti e quindi devono essere utilizzate, per caratterizzare la situazione di un partecipante ad una interazione, questo significa che quel' informazione è parte integrante del context. Prendiamo per esempio la tipica applicazione context-aware, un indoor mobile tour. Ovviamente le entità in questo esempio, sono gli utenti, l'applicazione e il 'sito' del tour, e prendiamo in esame due informazioni: il clima e la presenza di altre persone.

Useremo la definizione per capire se queste due sono parte del contesto della nostra applicazione. Il clima non è rilevante perché è un' applicazione indoor quindi non fa parte del contesto.

La presenza di altre persone può essere utilizzata invece per caratterizzare la situazione dell'utente, per esempio un certo itinerario potrebbe essere di particolare interesse piuttosto che un altro, per il compagno di viaggio. Quindi questa informazione fa parte del contesto.

1.1.2 Cos' è il Context-Aware Computing

Il Context-Aware computing è stato trattato e introdotto per la prima volta da Schilit e Theimer [7] nel 1994. Lo introdussero come un *"software che si adatta in base alla sua posizione di utilizzo, la raccolta di dati da persone vicine e gli oggetti, così come le modifiche a tali oggetti nel tempo"*. A partire da questa ci sono stati svariati tentativi di definire il context-aware computing, ma la maggior parte di questi sono stati tentativi troppo specifici e anche questi troppo difficili da utilizzare nella pratica [2].

Ancora una volta Day[9] ci fornisce una definizione più generica e adatta all'uso pratico. Day dice:

Un sistema viene definito context-aware se utilizza le informazioni del context per fornire informazioni e/o servizi rilevanti all'utente, dove la rilevanza dipende dalle preferenze dell'utente e compiti che esso deve svolgere.

1.1.3 Caratteristiche di Applicazioni Context-Aware

Ancora una volta i ricercatori hanno cercato di definire delle caratteristiche generali che una applicazione context-aware deve avere, andando a costruire delle linee guida, ma non riuscendo nell'intento, definendo delle caratteristiche troppo legate e specifiche al compito dell'applicazione stessa [3,6]. Quello che ha fatto Day invece è andare a definire un pool di caratteristiche generalizzate, svincolate dal caso d'uso.

La proposta di categorizzazione di Day [9] combina le idee precedenti e tenta di generalizzarle andando a soddisfare tutte le applicazioni context-aware esistenti.

Ci sono tre categorie di caratteristiche che un' applicazione context-aware deve essere in grado di supportare:

- Presentazione di informazioni e servizi ad un utente;
- Esecuzione automatica di un servizio per l'utente;
- Etichettatura del contesto di informazioni per sostenere il successivo recupero;

Sebbene quando Day definì queste tre caratteristiche, il concetto di IoT non era ancora stato sviluppato, vedremo nel secondo capitolo che si adattano perfettamente al paradigma [19].

1.2 Tecnologie e Framework

Una volta capito cosa si intende quando si parla di context, e in quanti modi possibili possiamo utilizzarlo, gli sviluppatori possono decidere facilmente quali comportamenti e caratteristiche la loro applicazione deve supportare. Tutta via manca ancora qualcosa, il programmatore può aver la necessità di passare da una semplice idea, o schema concettuale di un' applicazione, alla realizzazione vera e propria di essa. Questo tipo di supporto può essere fornito in due forme.

La prima è una combinazione di servizi architetturali o funzionalità che i progettisti possono utilizzare per costruire le proprie applicazioni. La seconda invece sono delle astrazioni che permettono ai progettisti di pensare le loro applicazioni ad un livello più alto.

In rete troviamo diversi concept di toolkit e framework con cui lavorare. Essendo questa tecnologia ancora in via di sviluppo, quasi tutti questi framework sono in continua evoluzione e in fase di sviluppo a sua volta.

Tra la moltitudine ci concentriamo sul toolkit proposto da Day e il suo team [9], il quale sembra essere il più accurato, il **Context Toolkit**.

1.2.1 Il Context-Toolkit

Day e il suo team hanno sviluppato questo framework, che mette a disposizione una combinazione di caratteristiche e di astrazioni per supportare applicazioni context-aware.

Esso rende facile aggiungere la gestione del contesto ad applicazioni che prima non lo gestivano, quindi erano noncontext-aware, ed infine di mantenere ed evolvere applicazioni context-aware già esistenti. Il framework si basa sul concetto di consentire alle applicazioni di ottenere il contesto di cui necessitano senza doversi preoccupare di come il contesto viene rilevato. Questo avviene grazie un' astrazione che implementa questo concetto, il context widget [5]. Esso è responsabile dell' acquisizione di un certo tipo di informazioni di contesto rendendole disponibili per le applicazioni in modo generico, indipendentemente da come vengono rilevate (vedi [5]). Le

applicazioni possono quindi accedere al context widget interrogandolo o ereditando i metodi, comunemente disponibili con la GUI.

Nella maggior parte delle applicazioni GUI, i widget sono istanziati, controllati e utilizzati ognuno da una singola applicazione. Al contrario le applicazioni context-aware non istanziano un singolo context-widget per ognuna di esse, bensì devono essere in grado di accedere a quelle già esistenti, quando lo richiedono. Per soddisfare questo requisito, i context-widget operano indipendentemente dalle applicazioni che ne fanno uso. Questo facilita il carico di lavoro del programmatore e dell' applicazione stessa, non richiedendo di mantenere i widget, pur consentendogli di comunicare facilmente con loro. Poiché i widget vengono eseguiti in modo indipendente dalle applicazioni, vi è la necessità che siano persistenti e disponibili in qualsiasi momento.

Siccome una parte fondamentale del context-aware computing è l' informazione storica, il toolkit prevede alcune funzioni di salvataggio dei context. I context-widget vengono direttamente salvati e mantenuti in memoria, a disposizione di qualsiasi applicazione ne faccia richiesta, come per esempio quelle applicazioni che utilizzano questi dati storici per predire le azioni o le intenzioni future dell'utente. Queste funzionalità di predizione sono incapsulate nel context-interpretor, il quale accetta uno o più tipi di context e ne produce uno in uscita che interpola tutti gli altri. Un esempio banale è quello di convertire un nome nel relativo indirizzo email, mentre uno più complesso è interpretare il contesto di tutti i widget in una sala conferenze per determinare se l' incontro è iniziato o meno.

Va da se che l' input delle informazioni non avviene in maniera tradizionale in questi sistemi. Per tradizionale intendiamo la digitazione da tastiera e/o mouse, i quali sono collegati direttamente al computer con cui interagiscono. Quando si tratta di contesto, i dispositivi utilizzati per rilevare il context molto spesso non sono attaccati allo stesso computer che esegue l' applicazione. Per esempio un sistema di rilevamento ad infrarossi in un edificio, i sensori, che possono essere anche molti, devono essere sparsi

nello spazio fisico della struttura, quindi non possono essere tutti connessi direttamente allo stesso dispositivo. Il toolkit quindi si occupa anche di rendere trasparente e mediare la comunicazione tra applicazioni e i componenti sparsi.

L'astrazione finale che il toolkit supporta è l'aggregazione, `context-aggregators` aggrega o colleziona i `context`. La nozione di un aggregatore deriva direttamente dalla definizione di `context`, abbiamo detto che il `context` è l'insieme delle informazioni che utilizziamo per caratterizzare la situazione di un'entità. Se ci immaginiamo quindi il `context-widget` come la parte che gestisce le singole informazioni, abbiamo bisogno di un'astrazione ad un livello superiore, il `context-aggregators`, che sarà responsabile di rappresentare un'entità, ovvero rappresenta e gestisce tutti i singoli `context` relativi ad una certa entità. Quando i progettisti pensano al `context` e alle interazioni, è naturale per loro immaginarle in termini di entità, ed è questo che rende un aggregatore l'astrazione giusta da utilizzare per la creazione di applicazioni. In sostanza gli aggregatori raccolgono le informazioni delle entità (per esempio una persona), dai `context-widget` disponibili, comportandosi come un proxy verso i `context` per le applicazioni.

Per riassumere, il Toolkit Context supporta le caratteristiche comuni richieste dalle applicazioni `context-aware`: la cattura e l'accesso al contesto, stoccaggio, distribuzione, ed esecuzione indipendente dalle applicazioni, il tutto grazie a tre livelli di astrazione: `widgets`, `interpreti` e `aggregatori`.

Capitolo 2

Dispositivi Wearable e Wearable-Computing

Abbiamo introdotto e di conseguenza discusso approfonditamente il concetto di context e context-aware computing. Affronteremo ora il discorso relativo alle tecnologie abilitanti al context-aware computing, ovvero andremo ad introdurre tutti quei dispositivi che ci permettono di attuare il context-aware, che vedremo può essere un qualsiasi dispositivo mobile, come un classico smartphone, fino ad arrivare all' ultima frontiera della tecnologia, i dispositivi indossabili. Infatti secondo gli esperti [12,11], vi è una forte correlazione tra le tecnologie indossabili e il context-aware computing, in quanto il context è di interesse per tutti i dispositivi mobile, ma suscita particolare interesse su quelli indossabili, parlando così di wearable-computing.

Parleremo quindi del recente sviluppo tecnologico in questo ambito andando ad approfondire inoltre il cambiamento che sta avvenendo, che porta da mobile-computing a wearable-computing, sottolineando anche aspetti correlati con la IoT e pervasive computing.

2.1 Tecologie Abilitanti al Context-Aware

Va da se che il context-aware computing, verrà abbinato ai dispositivi mobili, dotati di sensori e quant' altro per rilevare il contesto. Il caso semplice è l' applicazione ai comuni smartphone.

Oggi giorno quasi tutti hanno uno smartphone, grazie a questo nuovo modo di interagire con l' utente e con l' ambiente, in base al contesto in cui

si trova, esso potrà cambiare e quindi gestire in automatico le proprie impostazioni. Per esempio quando inizia una riunione si setterà su silenzioso, tornando normale solo quando questa è finita.

2.1.1 I Dispositivi Wearable

L'ultima frontiera del context-aware computing, in accordo a quanto riportato sia negli articoli di Day [9], ma soprattutto nel libro di Scoble-Israel [11], sono i dispositivi indossabili. Secondo questi esperti, al giorno d'oggi stiamo assistendo ad una vera e propria rivoluzione, definendola "tempesta", nel campo dei dispositivi mobili. Questo termine deriva dal fatto che, come già avvenuto in altri casi, l'innovazione tende a spazzare via brutalmente tutto quello che è stato creato fino adesso importando nuove tendenze e nuove necessità.

La tecnologia indossabile è uno principali trend del momento: sensori, micro-computer, smarwatch e occhiali a realtà aumentata. Ad onore del vero che tutti i giganti dell'hi-tech (e non solo) sono al lavoro per presentare sempre nuovi modelli di braccialetti da fitness e occhiali intelligenti.

Day e Rodhes [12] definiscono delle linee guida e caratteristiche fondamentali per classificare un wearable computer:

- **Portabile mentre in funzione:** E' la definizione in generale di dispositivo mobile, l'utente può usare il computer mentre è in movimento, mentre il suo contesto cambia in maniera del tutto dinamica, incontrando nuove persone e nuovi oggetti, di conseguenza le informazioni e i servizi che esso contestuali necessarie rilevandole implicitamente.
- **Sensori:** Per migliorare l'input esplicito, ma soprattutto per permettere quello esplicito, un wearable computer deve utilizzare i sensori per raccogliere informazioni sull'ambiente circostante dell'utente. Rodhes dice che i sensori devono essere indossati sul corpo dell'utente, ma secondo Day [12] il vero obiettivo è che l'informazione rilevata sia sempre disponibile al computer indossabile.

Ciò significa che i sensori dovranno non solo essere presenti sul corpo e nel dispositivo stesso, ma anche nell'ambiente circostante, a patto che il computer sia poi in grado di ricevere ed elaborare questi dati (IoT).

- **Proattivo:** Il dispositivo elabora informazioni e agisce a nome dell'utente, anche quando egli non lo utilizza esplicitamente, ed è proprio questa l'essenza del context-aware computing.
- **Sempre attivo:** Dato il compito di monitoraggio del contesto in cui si trova l'utente, e siccome il contesto cambia dinamicamente in un qualsiasi momento, il dispositivo deve essere sempre attivo e sempre addosso all'utente.

2.1.2 Wearable Computing

Avendo introdotto i computer indossabili parliamo ora del wearable computing. Esso è stato definito da Steve Mann [13] come segue:

Il wearable computing favorisce un nuovo tipo di interazione uomo-computer, che comprende un piccolo dispositivo programmabile, il quale è sempre funzionante e sempre accessibile. A questo punto, il nuovo quadro di calcolo è diverso da quello dei dispositivi palmari, computer portatili e personal digital assistant (PDA). Il fatto che esso sia "sempre pronto" per definizione, introduce una nuova forma di sinergia tra uomo e computer. Il wearable computing quindi è lo studio o la pratica di inventare, progettare o costruire, utilizzando dispositivi di calcolo e sensoriali in miniatura. I computer indossabili possono essere indossati sotto, sopra o possono essere gli indumenti stessi.

Quindi Mann afferma che grazie a questi dispositivi in miniatura, integrati negli abiti o direttamente indossabili, vi è una costante interazione tra l'utente e il computer, in cui il computer "impara" come l'utente sta reagendo ad una data circostanza, sovrapponendo a quella esperienza ulteriori informazioni. Così facendo se si verificherà in futuro un evento del genere, il dispositivo saprà come reagire, e cosa fare, in base alle esperienze passate. In questo modo il wearable computing è una sorta di "estensione" del corpo che permette di eseguire operazioni "straordinarie". Qualcosa che non si potrebbe fare utilizzando solamente il corpo.

2.2 Recente Sviluppo Tecnologico

Secondo un rapporto di ricerca di mercato 2013[14] ci sono attualmente quattro segmenti principali del mercato della tecnologia indossabile:

-applicazioni di fitness, benessere e di monitoraggio della vita (ad esempio abbigliamento intelligente e occhiali sportivi intelligenti, monitor di attività, sensori del sonno) che stanno guadagnando popolarità presso coloro che vogliono monitorare molti aspetti della loro vita;

-infotainment (orologi intelligenti, occhiali intelligenti abilitanti alla realtà aumentata);

-assistenza sanitaria e medica (ad esempio monitoring continuo di glucosio, biosensore cerotto indossabile)

-industriali, polizia e militari.

In particolare troviamo un forte sviluppo nel campo della realtà aumentata, di cui parleremo in maniera più approfondita nel capitolo a seguire, inizialmente applicata solo a pochi settori quali: medico a quello militare. Nell' ultimo periodo troviamo un forte sviluppo di questa, applicata alla vita quotidiana, passando per: videogame, navigatori satellitari e cose basilari come leggere SMS e e-mail, con conseguente sviluppo di primordiali applicazioni context-aware.

Secondo le più recenti analisi di mercato, da parte degli analisti della Idc, il 2015 è l' anno in cui i dispositivi wearable, hanno raggiunto picchi di vendite inverosimili, a comandare su tutti, il nuovo IWatch della Apple. E la tendenza fino al 2019 è di una crescita costante: tra quattro anni si prevedono vendite per 173,4 milioni di pezzi. Gli smartglasses, gli occhiali intelligenti, per la realtà aumentata, si sono inseriti prepotentemente per contendere il primato a orologi e bracciali intelligenti, suscitando un vasto interesse da parte dell' utenza, ma anche verso le case produttrici più potenti, tanto che hanno già iniziato a lavorare ai loro modelli persino Samsung

ed Apple. Infine, un' altro dispositivo molto interessante, è l' Oculus Rift, ovvero un HMD (head-mounted display), per la realtà virtuale.

L' ultima frontiera dei dispositivi wearable, sono gli indumenti intelligenti. Ancora non esistono modelli veri e propri, se non qualche modello di scarpe con contapassi, ad ogni modo è uno degli argomenti di maggior interesse, sul quale nell'ultimo anno si stanno concentrando i maggiori sforzi e ricerche.

L' abbigliamento è una delle future piattaforme per le comunicazioni e l' intelligenza embedded. Gli indumenti intelligenti non saranno solo uno strumento per curare moda e look, ma ci forniranno intrattenimento, ci permetteranno di essere connessi agli altri e conterranno sensori per il monitoraggio della salute integrati nell' ecosistema medicale. Gli indumenti attivi e interattivi non rappresentano una novità, ma conosceranno presto un forte impulso verso la prossima generazione grazie alla connettività cloud e ai progressi nella scienza dei materiali. Sono già disponibili vari indumenti attivi, che però in genere richiedono batterie e controller cablati, l' obiettivo è quindi quello di renderli totalmente "autonomi".

Gli indumenti quindi possono venire trasformati in sistemi attivi grazie all' inserimento di sensori elettronici direttamente nella trama dei tessuti. Questa tecnologia è stata dimostrata, anche se gli sviluppatori non hanno ancora messo a fuoco come ricavarne vantaggi. Ad esempio, al Virginia Polytechnic Institute sono allo studio dei pantaloni in grado di rilevare il movimento: utilizzano fili elettrici inseriti nella trama del tessuto insieme ai sensori per rilevare il movimento e possono inviare segnali in modalità wireless al display di un computer.

Un' altro esempio sono le scarpe conta-passi, prodotte già dalle maggiori case come la Nike e Adidas.

Le problematiche, però, legate a questo campo sono diverse e tutt' ora non sono state risolte: l' elettronica modulare, i sensori e i display non sono realmente parte del tessuto del materiale, ma sono costosi dispositivi spesso ingombranti aggiunti ai capi di abbigliamento; in secondo luogo, perché l' elettronica, i sensori e i display sono sensibili all' acqua e umidità quindi questo implica che questi capi non potranno essere lavati; infine, perché richiedono alimentazione o energy harvesting a basso costo.

Tutto questo potrebbe presto cambiare grazie ad alcune innovazioni, come la possibilità di stampare dispositivi a OLED flessibili direttamente sui tessuti. Molte tecnologie a getto di inchiostro si sono già dimostrate utili e questo aprirà la strada alla realizzazione di indumenti attivi.

Andiamo ora invece ad analizzare i dispositivi più rilevanti tra quelli già testati e in commercio.

2.2.1 Smartwatch

Uno smartwatch è un dispositivo wearable, quindi un computer, da polso. Definirlo un orologio è di fatti molto riduttivo, tanto che su di esso possiamo installare migliaia di applicazioni, possiamo visualizzare foto, navigare in Internet, effettuare chiamate, scattare foto e video, mandare messaggi e interagire con il nostro smartphone, anche se esso è in stand-by nelle nostre tasche.

Ed è proprio questo il maggior utilizzo fatto degli smartwatch, di fatto è una periferica, un'estensione dello schermo dello smartphone che abbiamo in tasca, dal quale possiamo ricevere e leggere le notifiche.

Al momento non sono dei dispositivi totalmente indipendenti, ovvero, necessitano per funzionare del supporto di uno smartphone, possibilmente con lo stesso sistema operativo presente sullo smartwatch, nel raggio di una decina di metri, dato che sono collegati via Bluetooth. Le case produttrici assicurano che nel giro di qualche anno, questa caratteristica verrà rimossa, poiché diventeranno dei dispositivi talmente indipendenti, quindi svincolati dalla presenza di uno smartphone con cui lavorare.

Quello che ci permette di fare questo dispositivo quindi è abilitarci ad un totale controllo del nostro smartphone, un totale accesso alle sue funzionalità, direttamente dal polso, senza dover estrarlo dalle tasche.

Troviamo un utilizzo molto spinto degli smartwatch nel settore sportivo: possibilità di monitorare le performance (nella corsa, in bici o in mountain bike) mediante applicazioni di fitness sviluppate appositamente per questi dispositivi, questo implica quindi anche la possibilità di essere geo-localizzati costantemente.

2.2.2 Smartband

Gli smartband, ovvero bracciali intelligenti, sono la seconda categoria più venduta secondo le analisi di mercato. Uno smartband, non si differenzia molto dagli smartwatch.

Gli smartband sono detti "dispositivi passivi", ovvero: senza la presenza dello schermo, o comunque risorse di output visive ridotte ai minimi, che mediante molteplici sensori, riceve dati generati direttamente dall'indossatore (dati fisiologici come il battito cardiaco, consumo di calorie, conta-passi ecc.), per inviarli ad uno smartphone il quale mediante opportune applicazioni procederà ad elaborarli e produrre: statistiche, notifiche e a volte consigli per la salvaguardia e il benessere dell'utente.

Usati anche questi nell'ambito del fitness, preferiti agli smartwatch, poiché permettono di lasciare a casa gli smartphone durante lo svolgimento dell'attività. Questo perché grazie alla presenza di una piccola memoria interna, tutti i dati verranno salvati localmente, per poi essere elaborati in un secondo momento, alla fine dell'attività.

Tra le applicazioni più interessanti troviamo: la possibilità di effettuare una dieta elettronica, servendosi di un'applicazione per smartphone possiamo tenere traccia di tutti gli alimenti mangiati, contare le calorie assunte e quelle spese nell'arco della giornata, fissarci degli obiettivi e quant'altro.

Monitorizzazione del sonno, il bracciale mediante i sensori di movimento e battito cardiaco, riesce a fare delle statistiche di sonno agitato, veglia, ecc. Fornendoci delle statistiche e quindi dei consigli, da adottare per migliorare la qualità del sonno.

2.2.3 Smartglasses

Gli smartglasses sono dei dispositivi wearable, sicuramente tra i più interessanti e promettenti, poiché aprono le porte ad una concezione totalmente innovativa riguardante l'utilizzo di questi dispositivi. Infatti si ha che sono dei dispositivi total hand-free, ovvero non richiedono l'utilizzo delle mani per essere utilizzati, se non per qualche operazione di base, e aggiungono informazioni a ciò che vediamo (realtà aumentata).

Mentre i primi modelli potevano svolgere solo delle operazioni base, come per esempio l'utilizzo di essi come un display remoto, i moderni smartglasses, utilizzando la connessione ad internet ed il collegamento wifi con lo smartphone, sono un grado di eseguire delle applicazioni apposite, e nella

maggior parte dei casi di essere comandanti mediante l' utilizzo del linguaggio convenzionale, usando quindi dei semplici comandi vocali, nel caso non si possa fare, allora sfiorando dei semplici bottoni [24, 25, 26].

Come altri computer, possono raccogliere informazioni dai sensori interni o esterni. Può controllare, o recuperare dati da altri strumenti o computer (IoT, context-awareness, pervasive-computing). Può supportare le tecnologie wireless come Bluetooth, Wi-Fi e GPS e una piccola branca monta un sistema operativo mobile, quindi con delle applicazioni che permettono di: catturare immagini, eseguire video e trasmetterli ad altri dispositivi, live tracking ecc.

Come con altri dispositivi di lifelogging e monitoraggio delle attività, l' unità di localizzazione GPS e fotocamera digitale di un paio di occhiali intelligenti possono essere utilizzati per registrare dati storici. Per esempio, dopo il completamento di un allenamento, i dati possono essere caricati su un computer in rete per creare un registro delle attività per una successiva analisi [27, 28].

Anche se molti dei dispositivi costruiti di recente sono del tutto autonomi, i costruttori raccomandano, anche per gli occhiali, di comprare uno smartphone dello stesso sistema operativo, come supporto, in modo che i due dispositivi possono essere sincronizzati per maggiori funzionalità aggiuntive. Gli occhiali intelligenti possono lavorare come estensione, per head-up display (HUD) del telefono e avvisare l'utente di dati di comunicazione come le chiamate, messaggi SMS, e-mail ed impegni segnati sul calendario dell' utente[29].

Tra i vari modelli in fase di sviluppo prendiamo come esempio quelli targati Google, già testati dai maggiori esperti [11], avendo suscitato grande interesse presso il grande pubblico.

2.2.4 Visore HMD

Oculus Rift è un visore HMD, non è altro che una maschera, con uno schermo, che ci permette di "entrare" in una realtà virtuale. Le sue caratteristiche principali sono una bassa latenza e un campo di visuale ampio, alcune volte totale. Sono combinati con una telecamera posta davanti il giocatore, sono in grado di rilevare gli spostamenti nelle tre direzioni, permettendo così agli utenti di potersi spostare nell' ambiente 3D (offrendo ad esempio la possibilità di avvicinarsi ad un oggetto per vederlo meglio)

anche questa miglioria contribuisce all' eliminazione del senso di nausea, problematica principale dei primi modelli.

Questa tecnologia viene abbinata al videogaming, ovvero le maggiori ricerche ed applicazioni si sviluppano verso quel ramo, infatti è un accessorio il cui utilizzo è vincolato, al momento, alle console last-gen (PS4 e XboxOne) e PC.

2.3 Mobile Computing vs. Wearable Computing

Secondo i maggiori esperti [11,13] stiamo assistendo ad un vero e proprio cambiamento, definito anche come "la tempesta perfetta"[11], riguardante una transazione che va dall' attuale mobile computing verso l' innovativo wearable computing. Pur essendo una tecnologia relativamente nuova il mobile computing, presenta alcune differenze dal wearable computing, sottolineate da molti come dei difetti.

La principale differenza sta nel fatto che, un PC portatile, o uno smartphone, per la maggior parte della giornata, rimane inattivo dentro una borsa, nelle tasche o persino nelle nostre mani tenendole quindi occupate.

Un dispositivo wearable, invece sarà sempre operativo e va da se che non possiamo metterlo da parte, basti pensare ad una spilla appesa alla giacca o un bracciale.

Il mobile computing consente a un utente di lavorare e di accedere a diversi servizi ovunque esso si trovi, prestando attenzione al compito di calcolo, che è il compito primario.

Il wearable computing, invece fornisce un supporto persistente, durante l' intero arco della giornata, mentre si svolgono i compiti primari, che vengono eseguiti non utilizzando un computer, ma altri strumenti.

Notiamo inoltre che la tecnologia wearable manca la dimensione dello schermo e dispositivi di input (tastiere), questo perché l'idea primaria del wearable computing è quello di "nascondere" la ricerca e mostrare solo le informazioni rilevanti per l'utente al momento opportuno, proprio per questo vengono accostati al context-aware computing.

Il fatto di mostrare le informazioni, senza distrarre l' utente, senza che esso venga distolto da ciò che stava facendo prima, e quindi distaccarlo dal mondo reale, è la chiave del successo della tecnologia indossabile. A volte

la distrazione data dai dispositivi "ordinari" può essere molto pericolosa, basti pensare quando si tenta di leggere o scrivere un SMS mentre siamo alla guida.

Infatti è proprio la distrazione minima il fattore chiave del successo per i dispositivi personali e indossabili.

Questo avviene grazie al passo successivo in questa rivoluzione digitale: context-aware computing. Conoscendo il "contesto della persona che utilizza il dispositivo consente al dispositivo di presentare solo le informazioni che sono assolutamente rilevanti per l'utente. Recenti studi affermano che il multitasking non è un bene. Persone che usano, anche per lavoro, computer, smartphone e tablet, non sono produttive e non riescono a dare il meglio di se, infatti la tecnologia wearable, che nasce per non distrarre l'utente, non tempesta l'utente di notifiche distraendolo, essi infatti le mostreranno al momento più opportuno, mostrando l'informazione solo quando l'utente si trova nella situazione giusta e al momento giusto. Il contesto dell'utente quindi è essenziale, così facendo si aggiungono informazioni al compito che l'utente sta svolgendo, al posto di distrarlo in un altro compito.

Questa è una distinzione sottile ma importante per l'utilizzo di dispositivi indossabili. L'informazione è alla portata dell'utente senza la distrazione del dispositivo.

L'avvento dei dispositivi indossabili innescano un'ondata di re-thinking e re-building del nostro modo di lavorare e il modo in cui usiamo la tecnologia. Utilizzando per esempio i Google Glass non è proprio la stessa cosa, come il montaggio di uno smartphone in testa. L'utilizzo e lo scopo del dispositivo richiede che vengano ristrutturati: l'interaction design e anche il design informativo. L'aspetto fondamentale per design di un dispositivo wearable è che si pone "tu e il tuo mondo" al centro di tutto, i dispositivi devono integrare senza soluzione di continuità con il vostro mondo, il vostro lavoro e integrarsi perfettamente con altri dispositivi, invece di competere tra di loro per l'attenzione, come avviene nel mobile computing.

2.4 Aspetti Correlati al Context-Aware

Secondo l'idea di Day[12] quindi, i sensori non devono essere solamente montati sui devices o portati addosso dall'utente, ma il vero obiettivo è

quello di creare un' ambiente interattivo, ovvero cosparso di sensori, in grado di rilevare informazioni, elaborarle e trasmetterle ai nostri dispositivi.

Questo significa creare un' ambiente "intelligente" in continua comunicazione con i nostri dispositivi, questo significa IoT. Infatti il context-aware computing ha svolto un ruolo fondamentale nell' informatica di questi ultimi anni. In particolare notiamo che tale prospettiva sta entrando in "simbiosi" con il paradigma di IoT, il quale pur essendo stato sviluppato prima, vedremo che si adatta alla perfezione con il concetto di context-awareness esaminato fino ad ora.

Analizzeremo poi forme di pervasive computing, un sistema che sfrutta appieno il paradigma internet of things.

2.4.1 Cos' è Internet of Things

Internet of things significa creare una rete di dispositivi connessi ad internet in grado di comunicare tra di loro in maniera costante. Significa creare un' ambiente "intelligente". Prendiamo come riferimento la definizione [15]:

IoT permette alle persone e le cose di essere connessi sempre e ovunque, con qualsiasi cosa. Si parla di oggetti intelligenti, in quanto essi forniscono un' interfaccia mediante la quale possiamo interagire, un classico esempio è quello della domotica dove via cellulare possiamo comandare il riscaldamento, la lavatrice e quant' altro. Quindi chiunque può connettersi con qualsiasi cosa e sfruttare tutti i servizi che esso fornisce.

Dopo aver analizzato nel primo capitolo il context-aware computing, secondo quanto riportato nel primo capitolo da Day [9], partendo da delle idee di Schilit et al. [16] e Pascoe [17], Abowd al. [18], sono state identificate tre caratteristiche che un' applicazione context-aware deve poter supportare: presentazione, esecuzione e tagging. Come già riportato nel primo capitolo, nonostante quella volta il termine IoT non era ancora stato sviluppato, notiamo che queste tre caratteristiche sono senz' altro adattabili ad esso [19].

- **Presentazione:** Il contesto può essere utilizzato per decidere quali informazioni e servizi devono essere presentati all' utente. Prendiamo come esempio uno smart-environment, quando un' utente entra in un supermercato, estrae dalle tasche il suo smartphone, e quello che vuole vedere è la lista della spesa. Un' applicazione context-aware

dovrebbe quindi connettersi al frigorifero (visto come entità/oggetto intelligente) a casa per recuperare gli oggetti mancanti ed elencarli presentandoli all'utente che è al supermercato. Questo fornisce l'idea di presentare le informazioni in base al contesto, come posizione, tempo, ecc.

Ricordiamo infatti che per definizione, internet of things permette di fornire qualsiasi servizio sempre e ovunque, con qualsiasi cosa e chiunque.

- **Esecuzione:** L'esecuzione automatica dei servizi è anche una caratteristica "critica" nel paradigma degli oggetti. Consideriamo l'esempio di domotica (casa intelligente), quando l'utente avvia la navigazione dal suo ufficio per rientrare a casa, allora l'applicativo IoT dovrebbe avviare il sistema di raffreddamento/riscaldamento a seconda del periodo, attivare la macchina del caffè per far sì che sia già pronta all'utilizzo quando l'utente torna a casa. Queste azioni devono essere intraprese automaticamente in base al contesto, ricordando che la comunicazione Machine-to-machine è una parte significativa della IoT.
- **Etichettatura:** Nel paradigma IoT avremo un numero altissimo di sensori collegati agli oggetti quotidiani. Questi oggetti produrranno grandi volumi di dati, raccogliendoli dai loro sensori. Questi dovranno essere quindi elaborati, fusi e interpretati, poiché i dati prodotti da un singolo sensore, difficilmente ci fornirà le informazioni necessarie per comprendere appieno la situazione e costruire quindi un context. Dunque i dati raccolti da sensori multipli hanno bisogno di essere fusi assieme.

Per fare questo, in base al context che vogliamo rilevare, ai dati raccolti assegniamo un'etichettatura, una diversa per ogni context, infine durante il momento di fusione, andremo ad aggregare solo il contenuto con la stessa etichettatura. L'annotazione del contesto gioca un ruolo significativo nella ricerca del context-aware computing. Viene chiamata anche operazione di annotazione.

2.4.2 Pervasive Computing

Parlando di internet of things abbiamo parlato di oggetti intelligenti, sparsi ovunque nell' ambiente e addosso alla persona che ne è l' utilizzatore finale, l' utente.

Questa caratteristica introduce il concetto di pervasive computing o ubiquitous computing.

Il pervasive computing è un modello post-desktop, di interazione uomo-macchina, in cui l' elaborazione delle informazioni è stata interamente integrata all' interno di oggetti e attività di tutti i giorni.

Il primo a parlare di questo modello fu Mark Weiser, nel 1988 durante la docenza come Chief Technologist, presso il Palo Alto Research Center della Xerox.

A differenza del paradigma desktop, nel quale un' utente aziona una singola macchina, consciamente, per svolgere un compito specifico, nel pervasive computing, l' utente aziona più dispositivi di calcolo, simultaneamente, anche senza esserne conscio di averli attivati, per svolgere anche delle azioni ordinarie, o quotidiane, come fare la spesa o andare a lavoro. Un sistema di pervasive computing quindi è un ambiente saturo di dispositivi di calcolo, anche molto piccoli, ma in armonia con l' utente, tanto che esso non si accorge nemmeno di interagire con essi, persino durante lo svolgimento di azioni ordinarie, facendo così che la tecnologia "scompaia".

Se camminare richiede l' intervento di alcuni dispositivi che supportano la camminata, allora l' utente non dovrà capirlo che essi si attivano a tal scopo.

Quindi, il pervasive computing è la sussunzione del mobile computing, in quanto va molto oltre, poiché incorpora quattro concetti [20].

- **Utilizzo degli spazi intelligenti:** Uno spazio intelligente può essere applicato ad uno spazio chiuso, come una sala riunioni o corridoio, o può essere un' area aperta ben definita come un cortile o un parco. Incorporando delle componenti informatiche, di calcolo, nella infrastruttura fisica, otteniamo uno spazio intelligente, il quale mette assieme due mondi che hanno avuto stati disgiunti fino ad oggi [21]. La fusione di questi mondi permette il rilevamento e il controllo reciproco di un mondo dall' altro. Un semplice esempio è la regolazione automatica di riscaldamento, raffreddamento e illuminazione in una stanza, in base al profilo dell' occupante. O viceversa, un software in

esecuzione sul PC/Smartphone dell'utente può comportarsi in modo diverso a seconda di dove la utente si trova, a seconda del contesto quindi (forte correlazione quindi con il context-aware computing).

- **Invisibilità:** L'ideale espresso da Weiser è la completa scomparsa della tecnologia, dalla consapevolezza dell'utente. In pratica, una ragionevole approssimazione a questo ideale è la distrazione dell'utente minima. Se un ambiente di elaborazione pervasiva soddisfa continuamente le aspettative degli utenti e raramente gli presenta delle notifiche di ciò che sta accadendo e cosa sta facendo, all'utente viene permesso di interagire quasi a livello inconscio [22].
- **Scalabilità localizzata:** Gli spazi intelligenti crescono nella sofisticazione e l'intensità delle interazioni. Questo ha gravi implicazioni di larghezza di banda, di energia e di distrazione per l'utente. La presenza di più utenti favorirà a complicare ulteriormente questo problema. La scalabilità, è quindi un problema critico nel pervasive computing. Le soluzioni adottate fino ad ora dai server per garantire la scalabilità non tiene conto delle distanze fisiche dell'utente da esso, tanto è vero che un server deve riuscire a gestire il maggior numero di utenti a prescindere che essi siano accanto ad esso o sparsi in giro per il mondo. La situazione nel pervasive computing è molto diversa, qui le interazioni devono cessare non appena ci si allontana, altrimenti sia l'utente e il sistema di calcolo saranno coinvolti in interazioni a distanza di scarsa rilevanza. La progettazione quindi di un buon sistema per ottenere la scalabilità, deve far sì che si riducano fortemente le interazioni tra entità lontane. Questo contraddice l'etica di Internet concepita fino adesso.
- **Mascherare le irregolarità di condizioni:** Il tasso di penetrazione della tecnologia abilitante al pervasive computing nell'infrastruttura e nell'ambiente, varierà considerevolmente a seconda di molti fattori non tecnici, quali: struttura organizzativa, l'economia e modelli di business. L'uniformità, se mai sarà raggiunta, la avremo nel corso dei prossimi decenni. Nel frattempo abbiamo enormi differenze di "intelligenza" dell'ambiente. Ovvero, infrastrutture relative ad organizzazioni più ricche potranno permettersi di creare infrastrutture all'avanguardia, mentre altre no. Questo può essere un problema per l'

utente, e per attuare il pervasive computing, il quale ricordiamo dovrebbe essere invisibile all'utente. Un modo per ridurre la quantità di variazione percepibile da un utente, è quello che esso deve essere fornito del suo spazio di personal computing per andare a compensare l'eventuale lacuna della infrastruttura. L'esempio classico è quello di un dispositivo capace di lavorare offline per fronteggiare all'assenza di copertura wireless.

La completa invisibilità è pressoché impossibile da raggiungere, ma ridurre la variabilità è una cosa fattibile.

Illustrato il concetto di pervasive computing, dobbiamo capire come questo possa essere in qualche maniera correlato con il context-aware computing.

Come illustrato nell'articolo [20], questi sistemi sono altamente dipendenti dal contesto dell'utente, poiché un sistema di calcolo pervasivo che si sforza di essere minimamente invadente, quasi invisibile, deve essere context-aware. In altre parole, deve essere consapevole dello stato e dintorni del suo utente, e deve modificare i suoi comportamenti in base a queste informazioni.

Come già illustrato nel primo capitolo il context relativo ad un utente può essere molto ricco di informazioni, composta da attributi quali: la posizione fisica, stato fisiologico (come ad esempio la temperatura corporea e la frequenza cardiaca), stato emotivo (come arrabbiato, sconvolto, o calma), storia personale, modelli comportamentali quotidiani, e così via. Se ad un assistente umano vengono dati tali informazioni contestuali, lui/lei saprebbe prendere decisioni in modo proattivo, anticipando le esigenze degli utenti. Nel prendere queste decisioni, l'assistente tipicamente non andrà a disturbare l'utente nei momenti meno opportuni, tranne in caso di emergenza. Può un sistema di calcolo pervasivo emulare un assistente del genere umano?

Ebbene lo si può fare, la sfida è quella di ricavare tutte le informazioni necessarie al funzionamento in maniera context-aware, quindi estrapolarle dall'ambiente circostante, rimangono però le classiche problematiche di un'applicazione: come viene rappresentato il modello del contesto internamente? Quanto frequentemente devono essere interrogati i servizi di context e ogni quanto devo attingere alle informazioni all'interno del modello fornito? Quali sono i servizi minimi che un ambiente ha bisogno per fornire per rendere context-awareness fattibile?

Capitolo 3

Realtà Aumentata e Context-Aware

Un sistema di Realtà Aumentata (AR - Augmented Reality) è un sistema che, acquisendo una scena reale, è in grado di arricchire tale scena di elementi grafici. Il mondo reale è "aumentato", ovvero virtualmente arricchito, con informazioni grafiche e testuali addizionali, sincronizzate e generate dal computer [31].

Si catalogano come sistemi di Augmented Reality tutte quelle applicazioni il cui scopo è di incrementare la percezione visiva dello spazio fisico con immagini prese dallo spazio virtuale, quindi l'arricchimento della percezione sensoriale umana, mediante informazioni, in questo caso convogliate ed elaborate elettronicamente, mediante i dispositivi abilitanti, che non sarebbero percepibili dai cinque sensi.

Il risultato è che l'ambiente reale e virtuale sembrano coesistere e l'utente si può muovere liberamente nella scena, con la possibilità, altre sì, 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 il reale ed il virtuale sono due entità indistinguibili. Il termine Augmented Reality fu coniato nel 1990 da alcuni ricercatori dei laboratori della Boeing, Tom Caudell e David Minzell. I due scienziati, al lavoro su un prototipo che rimpiazzasse gli strumenti di bordo di un aereo, svilupparono una tecnologia, simile agli attuali HMD, indossabile dai piloti e capace di visualizzare velocemente la rotta e tutte le informazioni relative alle sessioni di volo, come i decolli e agli atterraggi. Il congegno così realiz-

zato, venne denominato "Realtà Aumentata", poiché alla visuale reale del pilota, venivano aggiunte informazioni di altro tipo. Nel corso degli anni a seguire, ma in particolare negli ultimi anni, si è assistito ad un notevole passo avanti nella realizzazione di sistemi di questo tipo e nell'implementazione di ambienti in cui il reale ed il virtuale interagiscono fra loro formando un'unica scena [23, 32].

Oggi giorno, grazie ai dispositivi indossabili, abbiamo un'associazione macchina-uomo molto più accurata, poiché grazie ai sensori montati su di essi, i dispositivi possono: vedere cosa vede l'utente, percepire lo stato fisico del portatore, vedere cosa sta scrivendo ecc.

Le prime definizioni le abbiamo già a metà del Novecento, e nella fattispecie, si auspicava la possibilità di poter leggere, tramite una schermata posta in sovrapposizione, dei dati riguardanti la persona di fronte. La tecnologia, però, si è diffusa davvero solo a partire dalla fine degli anni ottanta.

Il primo ricercatore che introdusse in maniera concreta il discorso di realtà aumentata fu Azuma [23] nel '97, l'articolo è datato ma ci fornisce le caratteristiche base per comprendere cosa si intende con AR.

La realtà aumentata, è una variante dell'ambiente virtuale o realtà virtuale. Quest'ultima infatti, coinvolge totalmente l'utente in un ambiente digitale, sovrapponendosi in maniera intrusiva a quello reale, isolandolo (Oculus Rift, HMD), dato che l'utente, in tal caso, non può vedere ed interagire con il mondo reale.

Al contrario la realtà aumentata permette all'utente di non distaccarsi dal mondo reale, ma gli oggetti digitali verranno sovrapposti alla realtà fisica, andandosi a mescolare, fornendo delle informazioni aggiuntive, andando quindi ad integrare la realtà, piuttosto che sostituirla.

Azuma e il suo team, hanno definito tre caratteristiche fondamentali per un sistema in realtà aumentata:

- **Deve combinare la realtà con il virtuale;**
- **Interattività in tempo reale;**

- **Deve lavorare in tre dimensioni**, esattamente come l' umano percepisce l'ambiente circostante;

Troviamo l' utilizzo della realtà aumentata nei settori più svariati: i primi utilizzi si hanno come detto in precedenza, negli aerei, in particolare quelli da combattimento, dotati di uno schermo apposito, montato o sull' aereo o sul casco del pilota, per fornire supporto durante la battaglia, l' atterraggio ecc.

In particolar modo, la realtà aumentata sta radicalmente trasformando i settori della medicina e della sanità in modo significativo.

Infatti secondo quanto riportato dal Augmented World Expo in Santa Clara, California, tenutasi l' 8 Giugno 2015, il moderatore Brian Wassom, ha affermato che è il settore in cui si sta svolgendo la maggiore ricerca, e passo dopo passo, si sta insidiando sempre di più.

I progetti presentati si basano tutti sull' utilizzo di occhiali intelligenti come i Google Glass, e vanno da applicazioni inerenti alla formazione del personale e all' addestramento medico, monitoraggio della condizione fisica dei pazienti, fino ad arrivare a cose più complesse tipo il supporto per lo svolgimento di complesse operazioni chirurgiche, che verranno illustrate nei prossimi paragrafi.

3.1 Realtà Aumentata vs. Realtà Virtuale

In letteratura il termine Augmented Reality compare sovente associato ai termini di Virtual Reality (VR) e Mixed Reality (MR). Si può sicuramente affermare che la Realtà Aumentata rappresenta un'evoluzione della Realtà Virtuale, con sostanziali differenze.

La **Realtà Virtuale** nasce dalla volontà di "replicare" la realtà, quanto più precisamente possibile dal punto di vista visivo, uditivo, tattile e anche olfattivo, per compiere azioni nello spazio virtuale superando limiti fisici, economici, di sicurezza.

Più precisamente è una rappresentazione tridimensionale generata dal computer, con diversi gradi di affinità con l' ambiente reale, da un ab-

bozzo schematico degli oggetti fino al fotorealismo, in cui è possibile agire interattivamente con l'ambiente e gli oggetti.

L'accesso alla Realtà Virtuale può avvenire tramite le tradizionali interfacce di comunicazione del computer (monitor, tastiera, mouse) oppure tramite dispositivi specifici che rendano l'esperienza dell'utente più coinvolgente "immergendolo" totalmente nell'ambiente virtuale (HMD come Oculus Rift).

Tali dispositivi comprendono caschi con visori stereoscopici, speciali guanti chiamati "data glove" per interagire manualmente con le componenti tridimensionali, rilevatori di movimento come dispositivi di motion tracking o head tracking.

L'interazione diretta con gli scenari, che avvenga ruotando un oggetto tridimensionale su un monitor tramite un mouse oppure manipolandolo in un ambiente immersivo, rende la Realtà Virtuale la tecnologia ideale per la comunicazione e la formazione. Il non limitarsi ad un filmato che, per quanto coinvolgente ed efficace, rimane comunque uno strumento da fruire "as is", ma andare oltre interagendo con gli oggetti virtuali in tempo reale, conferisce una straordinaria efficacia allo strumento nei processi di comunicazione, specie se associati ad operazioni manuali o comunque legate ad oggetti fisici.

L'utilizzo della Realtà Virtuale è ormai esteso ai più svariati campi di applicazione, dall'istruzione in campo meccanico ai simulatori di volo, dalle simulazioni in campo chirurgico alla riabilitazione di pazienti con deficit cognitivi, dall'architettura al turismo.

A differenza, con il termine **Realtà Aumentata** si intende la sovrapposizione di elementi virtuali generati dal computer alla percezione, non solo visiva, del mondo reale, ripresa attraverso una telecamera o attraverso speciali occhiali. In realtà, non esiste una definizione univoca e chiara per il termine "realtà aumentata". In generale, la Realtà Aumentata (Augmented Reality o AR) è la rappresentazione di una realtà alterata in cui, alla normale realtà percepita attraverso i nostri sensi, vengono sovrapposte informazioni sensoriali artificiali/virtuali.

Quindi il fruitore di applicazioni in Realtà Aumentata, quindi, vedrà sovrapposti alla realtà, oggetti virtuali o filmati, sentirà suoni, percepirà sensazioni tattili o, addirittura, olfattive.

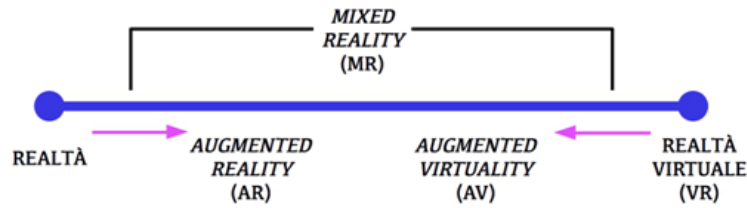


Figura 3.1: Il grafico di Milgram

La differenza fondamentale fra Realtà Aumentata e Virtuale consiste nel concetto di simulazione utilizzato.

La realtà virtuale ci induce tramite un sistema più o meno immersivo a pensare di vivere una certa realtà ingannando i nostri sensi; tale realtà è completamente generata dal computer.

La realtà aumentata, diversamente, aggiunge livelli informativi di varia natura a ciò che i nostri sensi percepiscono, esprimibile quindi come un potenziamento percettivo, basato principalmente sulla generazione di contenuti virtuali da parte di un computer e dalla loro sovrapposizione con la realtà. È importante puntualizzare che queste integrazioni non sono circoscritte ai dati visivi ma possono comprendere, se la tecnologia lo consente, dati olfattivi, uditivi e perfino tattili. Milgram e Kishino hanno descritto una tassonomia, il Reality-Virtual Continuum (Continuo Realtà-Virtualità) riportato nella seguente figura, che spiega in che modo la Realtà Aumentata e quella Virtuale sono collegate. Secondo Milgram il mondo reale e l'ambiente virtuale rappresentano due condizioni estreme.

La Realtà Aumentata giace nella scala di Milgram a sinistra, più vicina all'ambiente reale, essendo in essa il mondo reale predominante rispetto ai dati aggiunti tramite computer; simmetricamente all'AR, sulla destra compare poi la Virtualità Aumentata, che è un termine coniato da Milgram per indicare sistemi in prevalenza virtuali con una piccola dose di realtà [33], descritto in figura (3.1).

3.2 Tecnologie Abilitanti alla Realtà Aumentata

Si contano numerose e diverse tecnologie da integrare in sistemi di Realtà Aumentata. Si va da un semplice computer dotato di webcam, ai display portatili (come palmari e cellulari), o ancora ai visori indossabili e superacessorizzati. La scelta della tecnologia dipende fondamentalmente dai requisiti che il sistema di Realtà Aumentata richiede.

Sono disponibili in commercio due tipi di HMD, chiamati "optical see-through" e "video see-through".

Questi dispositivi sono indossabili dall'utente e hanno il vantaggio di fornire una sensazione di immersione nell'ambiente di Realtà Aumentata ed allo stesso tempo di permettere di avere le mani libere per agire sulla scena [34].

Un semplice esemplare di visore ottico see-through impiega un divisore di fascio ottico, consistente in uno specchio traslucido che trasmette la luce in una direzione e contemporaneamente riflette la luce 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.

Una caratteristica dei combinatori ottici è che riducono l'intensità della luce della scena reale; infatti solo il 30% circa di luce reale si percepisce attraverso questi display.

In figura (3.2) è riportato il principio di funzionamento ed una soluzione basata su HMD Optical See-Through.

I visori video see-through usano invece due telecamere, una per ciascun occhio, con le quali 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 ottico 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. Nella (3.3) invece è riportato il principio di funzionamento ed una soluzione basata su HMD Video See Through.

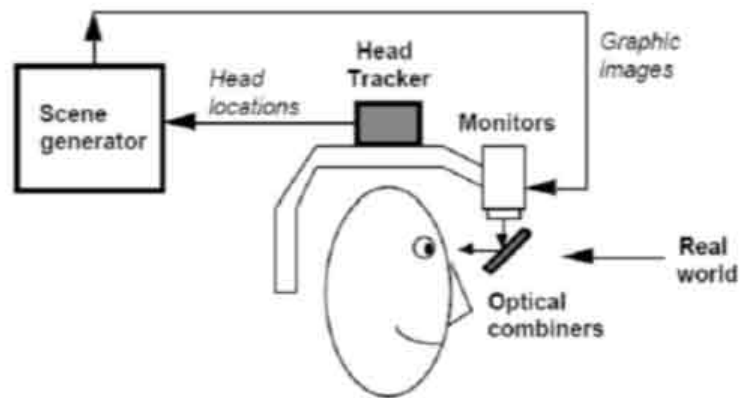


Figura 3.2: Funzionamento di un dispositivo HMD Optical See-Through

Come si può notare entrambe le tecnologie hanno i loro pregi ed il loro difetti, per cui la scelta della tecnologia dipende fondamentalmente dai requisiti applicativi.

Nei sistemi AR progettati per l'assemblaggio e per le riparazioni sono solitamente utilizzati i sistemi ottici; nelle applicazioni mediche, invece, sono spesso utilizzati i sistemi video, probabilmente per la flessibilità nel blending reale e virtuale e per le strategie di registrazione offerte.

Un'altra delle tecnologie di visualizzazione molto utilizzata nella Realtà Aumentata sono gli hand-held display, ovvero dei display portatili che possono essere palmari o semplici cellulari.

3.2.1 La Registrazione dei Modelli

Il concetto di registrazione consiste nel preciso allineamento e sincronizzazione di due o più elementi sensoriali, ossia richiede un'esatta calibrazione della camera e degli strumenti utilizzati e comprende le tecniche necessarie affinché l'oggetto virtuale elaborato attraverso il computer si collochi nell'ambiente reale con precisione e con esattezza.

Una delle maggiori difficoltà nelle applicazioni di AR è, appunto, il calcolo in real-time del punto di vista dell'utente in maniera che gli oggetti virtuali siano perfettamente allineati con quelli reali; solo in caso di perfetto allineamento le informazioni della AR possono costituire un valido ausilio.

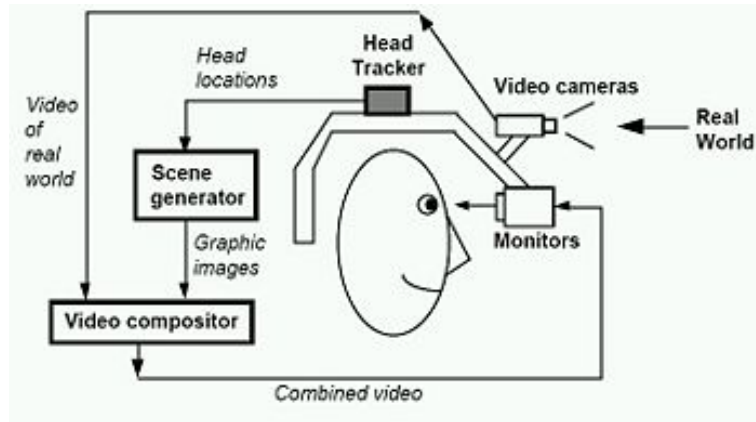


Figura 3.3: Funzionamento di un dispositivo HMD Video See-Through

A tale fine, occorrono infatti dei precisi algoritmi o dei metodi basati su fiducial point che devono essere necessariamente applicati per posizionare con precisione il modello virtuale nella scena reale [35, 36].

Nel caso di applicazione in medicina, poiché le tecniche di Realtà Aumentata vengono utilizzate anche in sede operatoria per consentire la visualizzazione esatta degli organi e prendere decisioni importanti ai fini dell'intervento, se il processo di registrazione fosse errato, il medico andrebbe incontro a errori, spesso imperdonabili.

Stessa cosa nel settore militare, se un pilota da combattimento, incapasse in questo problema, magari in fase di combattimento o atterraggio, ne potrebbe andare della sua vita.

3.3 Applicazioni di Realtà Aumentata

L'applicazione della realtà aumentata negli ultimi anni è stata smisurata ed estesa a svariati campi, maggiormente nel settore bellico-militare e soprattutto nel settore medico-chirurgico.

3.3.1 Realtà Aumentata nel Militare

In campo militare, al fine di rendere più semplice, per i soldati, lo svolgimento dei propri compiti. L'esercito americano è stato il primo ad introdurre

il concetto di realtà aumentata con una semplice tecnologia di visualizzazione di dati (denominata Head Up Display) implementata esplicitamente per l'aeronautica, la quale permetteva di proiettare le informazioni necessarie al pilota direttamente sul casco dello stesso, come i dati di volo (velocità, altitudine, orizzonte ecc.), senza quindi obbligarlo ad abbassare lo sguardo sugli strumenti dell'abitacolo.

Rivoluzionario è anche il progetto finanziato dalla DARPA, ovvero delle lenti a contatto a realtà aumentata, chiamate iOptik. La DARPA, acronimo per Defense Advanced Research Projects Agency (Agenzia di progetti per la ricerca avanzata per la difesa), ha infatti deciso di finanziare questo progetto della Innovega, un'agenzia di Washington specializzata in tecnologie che consentono all'occhio umano di focalizzarsi su oggetti sia reali che virtuali proiettati a breve distanza dall'occhio. Il sistema iOptik si basa sull'azione di due semplici unità: un paio di occhiali in policarbonato e due lenti a contatto con filtri speciali. Le immagini della realtà aumentata vengono proiettate sugli occhiali, mentre i filtri servono a consentire o meno il passaggio dei vari tipi di luce, permettendo all'utente di vedere in contemporanea la realtà circostante e le informazioni digitali. Egli potrà inoltre regolare l'azione dei filtri per "spegnere" la realtà circostante in modo da immergersi completamente in quella digitale. Il sistema iOptik si rivela dunque assolutamente innovativo, capace non solo di sostituire l'ingombrante sistema HUD (vedi prima foto), ma, come in tanti casi di tecnologia militare, anche di trovare utilizzo nella vita di tutti i giorni.

Le applicazioni ipotizzabili per queste lenti sono ipoteticamente infinite: è possibile per esempio cambiare banalmente il colore dell'iride o trasformarle all'occorrenza in "lenti da sole". Lo scenario più intrigante è ovviamente il loro utilizzo all'interno della vita quotidiana, per fornire per esempio informazioni sulla realtà che ci circonda. Questo progetto quindi potrebbe andare a "surclassare" l'innovativo progetto della Google (Google Glasses), andandolo, in qualche modo, ad inglobare.

3.3.2 Realtà Aumentata nella Chirurgia

Secondo quanto riportato dal Augmented World Expo tenutosi quest'anno, la realtà aumentata sta subendo un notevole sviluppo verso il settore medico sanitario, in particolare nel settore chirurgico [37].

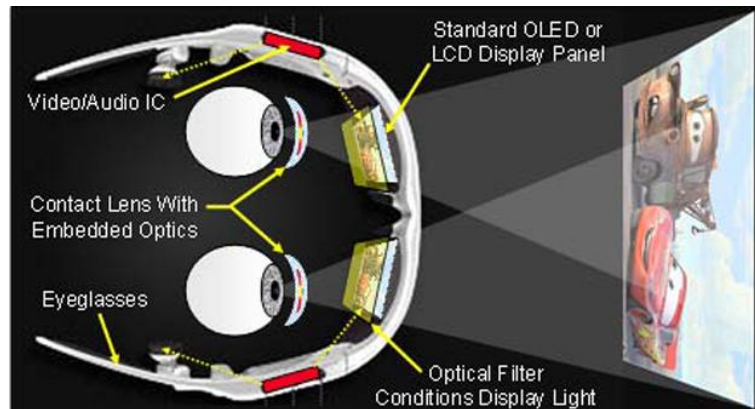


Figura 3.4: Funzionamento della tecnologia iOptik

Gli sviluppi tecnologici nell'imaging medico, quali TAC, MRI e ultrasuoni, permettono al medico di ottenere informazioni dettagliate sull'anatomia e la fisiologia del paziente. Le tecniche di Chirurgia Minimamente Invasiva (MIS - Minimally Invasive Surgery), quali la laparoscopia, permettono di effettuare complesse procedure minimizzando le incisioni e riducendo il trauma per il paziente.

Una delle difficoltà di tali tecniche è dovuta alla limitata visione degli organi interni, quindi molte attività di ricerca si sono orientate verso lo sviluppo di sistemi di assistenza e di supporto per il medico durante le diverse fasi dell'operazione. Le interfacce di AR permettono di sovrapporre le immagini virtuali al corpo del paziente fornendo ai medici una visione quasi "a raggi X". In questo modo il chirurgo può eseguire con maggiore precisione procedure quali, ad esempio, la perforazione della scatola cranica per la chirurgia al cervello o una biopsia o di una operazione in laparoscopia. Attualmente sono stati sviluppati diversi sistemi di AR dedicati a diverse applicazioni mediche.

Le applicazioni in questo settore si concentrano fondamentalmente sulla chirurgia guidata tramite immagini, in cui immagini acquisite dal paziente vengono utilizzate per pianificare o eseguire l'intervento. Un altro settore medico in cui potrebbe sicuramente essere utilizzato è il settore riabilitativo in quanto consentirebbe, per esempio, a persone che hanno dei problemi di mobilità, nel caso di certi disturbi legati al morbo di Parkinson,



Figura 3.5: La visuale del chirurgo nel momento dell' operazione

visualizzando dei punti di riferimento sovrapposti allo spazio reale.

Tra le implementazioni e le ricerche sui sistemi di AR applicati al campo della medicina, uno degli istituti di ricerca più avanzati è quello dell IRCAD (Institut de Recherche Contre le Cancers de l Appareil Digestif) di Strasburgo [38]. L IRCAD è un prestigioso centro di ricerca di base ed applicata, che adotta le più nuove ed innovative tecnologie chirurgiche. Tra le numerose ricerche e gli svariati campi d applicazione su cui si concentrano i ricercatori dell IRCAD c è anche la Realtà Aumentata.

Il gruppo di ricerca CAMP (Computer Aided Medical Procedures), diretto dal professore Nassir Navab a Monaco (Germania), conta numerosi progetti che hanno a che fare con sistemi di Realtà Aumentata per usi e contesti medici [39]. Tra questi progetti c è, ad esempio, quello relativo alle "3D User Interface for Medical Interventions", ovvero delle interfacce utente che, utilizzando dati 3D, le quali vengono utilizzate per sperimentare tecniche di interazione avanzata e soluzioni alternative in chirurgia. Nel progetto NARVIS (Navigated Augmented Reality Visualization System) sono state utilizzate immagini TAC per un sistema di AR utile ad un intervento chirurgico alla spina dorsale.

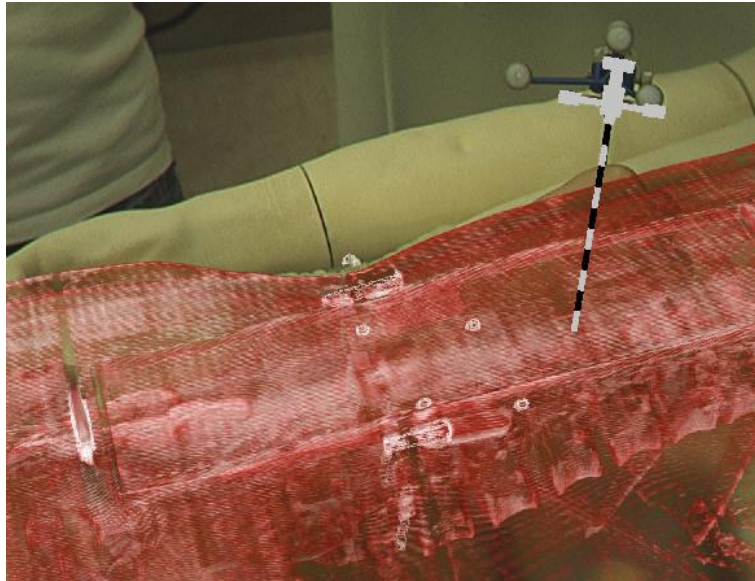


Figura 3.6: La visuale del chirurgo nel momento dell' operazione

3.4 Piattaforme e Framework disponibili per lo Sviluppo di Applicazioni di Realtà Aumentata

L' obiettivo odierno, che i ricercatori e sviluppatori si sono posti, è quello di estendere la realtà virtuale e tutto ciò che concerne, alla vita quotidiana, senza relegarla ad ambiti professionali come abbiamo appena visto.

Non solo, secondo recenti ricerche, si nota un profondo interesse nello sviluppo di applicazioni context-aware, in realtà aumentata, abbinandole quindi a dispositivi wearable.

Un esempio su tutti sono i Google Glass, un sistema total end-free, che ci permette di interagire con il nostro smartphone, quindi con i social e quant'altro, senza dover utilizzare le mani e senza dover prestare la totale attenzione allo schermo di uno smartphone, come per esempio visualizzare e rispondere ad una mail mentre stiamo attraversando un' incrocio.

Quello che andremo a vedere ora in questa sezione, sono le principali piattaforme e tecnologie, tra quelle già esistenti, che ci forniscono la possi-

bilità di interagire con applicazioni di AR basate sul paradigma Context-Aware, e non solo, vedremo alcuni dei Framework più famosi per realizzare questo tipo di applicazioni estendendo questa tecnologia quindi alla portata di chiunque.

3.4.1 ARToolKit

E' il toolkit multiplatforma più usato e facilmente reperibile in rete, per sviluppare applicazioni di realtà aumentata. Questo software open source, che gode inoltre di una grande comunità di esperti sviluppatori sin dal 2001, è stato distribuito in migliaia di progetti commerciali e open-source.

Come ben sappiamo una delle parti più difficili dello sviluppo di un' applicazione di realtà aumentata sta nel calcolare il punto di vista dell' utente in tempo reale in modo che le immagini virtuali siano esattamente allineate con oggetti reali. Un punto di forza di ARToolKit sta nel fatto che utilizza tecniche di visione artificiale per calcolare la reale posizione della telecamera e l' orientamento rispetto alle forme quadrate o superfici strutturate piane, consentendo al programmatore di sovrapporre oggetti virtuali più agevolmente.

ARToolKit attualmente supporta il marcatore classico quadrato, codice a barre 2D, multimarker, e il monitoraggio naturale delle caratteristiche. Inoltre, ARToolKit supporta qualsiasi combinazione di quanto appena riportato. ARToolKit supporta sia video che optical see-through AR.

Video AR see-through è dove le immagini virtuali sono sovrapposte sul video "dal vivo" del mondo reale. L' alternativa sta nell' optical see-through augmented reality dove la computer grafica viene direttamente sovrapposta su una visione del mondo reale, questo però richiede un head mounted display, e dei requisiti di calibrazione della fotocamera e registrazione più complicati.

La velocità e la precisione di tracking fornito da ARToolKit ha consentito il rapido sviluppo di migliaia di nuove e interessanti applicazioni AR.

3.4.2 Vuforia

E' anch' esso un SDK per lo sviluppo di applicazioni mobile di AR. Mediante l' utilizzo della Computer Vision può riconoscere e monitorare le immagini planari (immagini obiettivo) e oggetti 3D semplici, come scato-

le, il tutto in tempo reale. Questa capacità di registrazione di immagini consente agli sviluppatori di posizionare e orientare oggetti virtuali come i modelli 3D, marker e quant' altro, in relazione alle immagini del mondo reale quando queste sono visti attraverso la fotocamera di un dispositivo mobile. L' oggetto virtuale quindi traccia la posizione e l' orientamento dell' immagine in tempo reale in modo che la prospettiva dell'osservatore sull'oggetto corrisponda con la prospettiva sulla immagine di destinazione, in modo che l' oggetto virtuale appaia come una parte della scena mondo reale.

Vuforia fornisce delle API in: C++, Java, Objective-C e persino il linguaggio .NET mediante alcune estensioni. In questo modo, l' SDK supporta sia lo sviluppo nativo per iOS e Android, mentre anche consentendo lo sviluppo di applicazioni AR in Unity. Le applicazioni AR sviluppate utilizzando Vuforia sono quindi compatibili con una vasta gamma di dispositivi mobili, tra cui l' iPhone, iPad e Android.

3.4.3 Wikitude

E' una tecnologia AR per dispositivi mobile.

E' il classico esempio di applicazione context-aware: inizialmente focalizzata sulla fornitura di informazioni location-based in realtà aumentata attraverso il browser Wikitude App World. Nel 2012, la società ha ristrutturato la sua proposta con il lancio del Wikitude SDK, un quadro di sviluppo che utilizza il riconoscimento delle immagini e di monitoraggio, e le tecnologie di geo-localizzazione. Il Wikitude SDK lanciato nel mese di ottobre 2008, l' SDK include il riconoscimento di immagini e di monitoraggio, rendering del modello 3D, video overlay e location-based AR. Il Wikitude SDK è disponibile per i sistemi operativi Android e iOS, ed è ottimizzato per diversi dispositivi di occhiali intelligenti.

Per realtà aumentata basata sulla posizione, la posizione degli oggetti sullo schermo del dispositivo mobile viene calcolato utilizzando la posizione dell'utente (da GPS o Wi-Fi), la direzione in cui l'utente si trova di fronte (utilizzando la bussola) e accelerometro.

Dal mese di agosto 2012, Wikitude inoltre ha introdotto le tecnologie di riconoscimento delle immagini che permettono di attivare la tecnologia AR all'interno della app, mediante delle immagini traker.

L' utilizzo dell' applicazione è molto semplice: sfruttando il database di Wikipedia, questa applicazione riesce a fornirci informazioni dettagliate su gran parte di ciò che ci circonda. Ci basterà aprire l' applicazione e cominciare a inquadrare intorno a noi per scoprire magari che, proprio dietro la nostra posizione, c' è una pizzeria. Offre anche altre piccole opzioni come la possibilità di avere informazioni utili su ciò che inquadrriamo, conoscere quanti chilometri ci separano da esso, scoprire, attraverso un radar posizionato in basso a sinistra, quanti punti di interesse abbiamo intorno a noi e tanto altro ancora.

Capitolo 4

Smartglasses come Caso di Studio

Abbiamo parlato nel secondo capitolo dei dispositivi wearable, i quali li abbiamo definiti come la tecnologia più indicata per attuare il context-aware computing.

Abbiamo elencato e parlato poi dei recenti sviluppi tecnologici, facendo accenni alla realtà aumentata e ai dispositivi che ne permettono la realizzazione.

Senza ombra di dubbio tra le innovazioni più interessanti troviamo gli smart glasses.

Israel e Scoble [11], inizialmente molto scettici, esaltano questa nuova tipologia di dispositivi, definendoli sensazionali, qualcosa di nuovo a cui gran parte dell'umanità forse, non è ancora pronta, la restante invece, una volta provati non potranno più farne a meno.

Nei primi due capitoli abbiamo accennato allo smart clothing, ovvero ai vestiti intelligenti, con una capacità computazionale, in grado di interagire con l'utente e nel caso di context-awareness, con l'ambiente intelligente.

Tra migliaia di dispositivi tra i più importanti e più venduti, troviamo: orologi, bracciali e occhiali.

Sono gli occhiali i dispositivi di maggior interesse, per un semplice motivo: sono gli unici che riescono ad interpolare alla perfezione tutte le caratteristiche di context-aware computing e pervasive computing.

Essi infatti sono dei devices wearable, forniscono un sistema totalmente hands-free, ovvero l'utente per svolgere un qualsiasi task non usa le mani,

e soprattutto non distolgono la concentrazione dell'utente nel caso esso stia svolgendo un'altra mansione. Si parla quindi di realtà aumentata, poiché permette di non distaccare l'utente dalla realtà, ma "fonde" la realtà fisica a quella virtuale.

Come caso specifico andremo a considerare il modello più noto, ovvero quelli ideati da Google, i Google Glass.

4.1 I Google Glass

Google Glass è un headset, o head-mounted display ottici, che viene indossato come un paio di occhiali da vista. È stato sviluppato [29], con la missione di produrre un computer onnipresente. [30] Questi smartglass permettono di visualizzare le informazioni in un formato smartphone-like, con la differenza del hands-free format, ovvero possiamo visualizzarle avendo le mani libere, senza dover estrarre il telefono e sbloccarlo. Permettono inoltre agli indossatori di comunicare con il dispositivo (connesso in rete), utilizzando comandi vocali.

Inizialmente la casa ha rilasciato una versione di prova, per soli sviluppatori, con unità limitate, acquistabili al prezzo di 1500 dollari. In seguito la vendita è stata aperta al pubblico in America e poi in Europa, nello specifico nel Regno Unito, seguita da numerose critiche da parte di molti, a causa di problemi legati alla violazione di privacy e di sicurezza, in quanto il dispositivo essendo sempre acceso, potrebbe riprendere tutto, persino informazioni riservate.

Secondo il documento ufficiale rilasciato dagli uffici della Google, il display è stato montato su una lente, è ad alta definizione e andrà a proiettare le immagini direttamente sugli occhi dell'utente, dove i contenuti verranno visualizzati come se ci si trovasse di fronte a uno schermo da 25 pollici, visto da una distanza di due metri.

Vari sensori infrarossi che terranno monitorizzato il nostro occhio per "capire" dove si guarda.

Basati sul sistema operativo Android, i Google Glass sono compatibili con ogni smartphone dotato della tecnologia Bluetooth. Presente sul lato destro della montatura un touchpad utile a scorrere tra i menu e tra i conte-

nuti; la dotazione comprende poi una fotocamera con sensore da 5 megapixel in grado di garantire una buona qualità delle fotografie e di catturare video a 720p, 16 GB di storage di tipo flash (di cui 12 GB utilizzabili dall'utente), un comparto audio a conduzione ossea, connettività Wi-Fi e Bluetooth e una batteria che assicurerà un'autonomia pari a circa un giorno di normale utilizzo, ma che secondo alcuni utenti, questa durata non è stata rispettata.

Definite le caratteristiche tecniche andiamo a capire cosa possiamo fare con questo rivoluzionario dispositivo.

Secondo numerosi sviluppatori ed esperti nel settore che hanno già avuto modo di testare gli occhiali, in particolare Israel e Scoble [11], i Google Glass sono talmente innovativi che non se ne potrà più fare a meno perché cambiano la vita. Ciò è dovuto alle numerose funzionalità che possiedono. Innanzitutto, il dispositivo si comanda tramite i comandi vocali e/o il touchpad inserito sul lato destro: semplicemente usando la propria voce, chi li indossa potrà effettuare ricerche su Google e visitare i siti Web desiderati, leggere le notizie online, controllare i social network, utilizzare gli Hangout per avviare videoconferenze con i propri amici e mostrare loro ciò che si sta guardando in quel momento, telefonare, visualizzare i messaggi (SMS) e inviarne uno nuovo, tradurre un testo da una lingua di origine a una di destinazione, scattare fotografie, registrare video, condividere ogni contenuto sui canali sociali e utilizzare Google Maps per ottenere indicazioni stradali, il tutto senza dover estrarre lo smartphone dalle tasche, quindi senza distogliere lo sguardo dalla strada, per esempio, mentre stiamo guidando o camminando. Queste sono le feature offerte direttamente da Google, ma gli sviluppatori terze parti sono già al lavoro su numerose applicazioni volte ad estendere le possibilità dei Glass. Tra queste, ve n'è ad esempio una che permette di identificare un amico nella folla sfruttando il riconoscimento facciale, e un'altra che consente di dettare un'email: ben si comprende perché un oggetto simile, in grado di far "scompare" il hardware all'interno di un semplice paio di occhiali, si candidi a diventare la "next big thing" nel contesto di quella che sarà la nuova ondata di tecnologia indossabile. Come accennato in precedenza però, l'avvento di questa tecnologia sta già suscitando varie preoccupazioni e perplessità presso gli utenti, infatti sono numerosi i rischi per la privacy delle persone che potrebbero derivare da un uso scorretto dei Google Glass.

Si tratta di una questione di fondamentale importanza, tanto che ha anche sollevato delle serie preoccupazioni tra i membri del Congresso USA, i quali hanno chiesto al produttore delucidazioni in merito. A preoccupare sono in particolar modo le app che faranno utilizzo delle tecnologie di riconoscimento facciale, sulla registrazione dei video e sulla possibilità di scattare le fotografie. Secondo Google, per eseguire azioni come queste è però necessario interagire con la mano oppure mediante comandi vocali, così che le persone nei dintorni possano rendersi conto di quanto sta accadendo.

Google si è però spinto anche oltre, mettendo nero su bianco una vera e propria netiquette per gli utilizzatori di Glass. Quel che Google non vuole, infatti, è vedere i propri occhiali nelle mani dei cosiddetti "Glasshole", utenti che utilizzano in modo rude lo strumento senza la necessaria consapevolezza di ciò che tale uso comporta nei rapporti con le altre persone. Google chiede ai propri "explorer" di non essere schiavi della tecnologia e, anzi, di liberarsene proprio grazie a strumenti indossabili quali i Glass. Non solo: spegnerli quando inopportuno, chiedere prima di fotografare e agire con discrezione sono regole di buon comportamento che occorre interiorizzare prima di sfoggiare i propri occhiali in mezzo ad altre persone. Alcuni governi ad ogni modo hanno già vietato l'uso dei Glass alla guida, in quanto essi possono trasmettere le informazioni e le indicazioni stradali mentre siamo alla guida, l'obiettivo è quello di evitare che il conducente si distraenga alla guida mettendo a rischio la propria vita e quella altrui.

Queste discussioni suscitano due correnti di pensiero, come normale che sia: chi dice che siano delle preoccupazioni eccessive per una tecnologia assolutamente rivoluzionaria e chi dice che è assolutamente da vietare in qualsiasi contesto.

4.2 Applicazioni e Sviluppo Software

Attualmente per Google Glass, troviamo già diverse applicazioni sviluppate, oltre a quelle native: Google+, Google Maps, Google Now e Gmail.

Tra di esse troviamo alcune dedite all'editing ed esecuzione di foto e video, news riportate dalle testate più importanti al mondo ecc.

Molti sviluppatori hanno già sviluppato addirittura applicazioni che permettono il riconoscimento facciale, e la condivisione di contenuti multimediali sui principali social, come Facebook e Twitter.

Il 23 Marzo del 2013, Google ha rilasciato le Mirror API, permettendo così a tutti gli sviluppatori di iniziare produrre applicazioni per i Google Glass, annunciando inoltre che, per motivi tecnici, nessun sviluppatore potrà inserire annunci o quant'altro in esse.

Le applicazioni per Google Glass si chiamano Glassware, e consistono, in quello che possiamo definire "applicazioni native" e "web app" HTML(5), un po' come per tutti i dispositivi mobile e smartphone.

La concezione che abbiamo di applicazione, è legata agli smartphone, quindi andrà rivista.

Lo strumento di "interfaccia" principale con i Google Glass è la cosiddetta "timeline". Immaginatoci, in sostanza, di avere, in alto a destra del nostro occhio destro, un "nastro" di schede scorrevole da destra a sinistra e viceversa. La prima scheda che si aprirà all'avvio è una sorta di "home-screen" ed è quella con cui noi possiamo parlare ed impartire ogni sorta di comando vocale compatibile: a sinistra di questa scheda si trovano le schede che rappresentano il "futuro e il presente" (cioè quelle che vengono aggiornate direttamente) mentre a destra le schede del "passato", ovvero quelle che abbiamo ricevuto e già lette.

Quindi sulla Timeline, le applicazioni installate sui glasses invieranno le informazioni, le quali verranno riportate sotto forma di scheda, e poste in ordine cronologico.

Analizzata la Timeline vediamo ora le schede che la vanno a comporre.

Le schede sono chiamate anche cards, e ne esistono due tipologie: *live cards* e *static cards*.

4.2.1 Live Cards

Queste tipologie di schede risiedono a sinistra della schermata "home" e mostrano informazioni aggiornate costantemente e utili per l'utente in quel momento. La prima scheda di default che troviamo, ad esempio, è la schermata che ci dice il livello di carica della batteria o ci mostra le indicazioni stradali. Le Live Cards si dividono in due sezioni a loro volta:

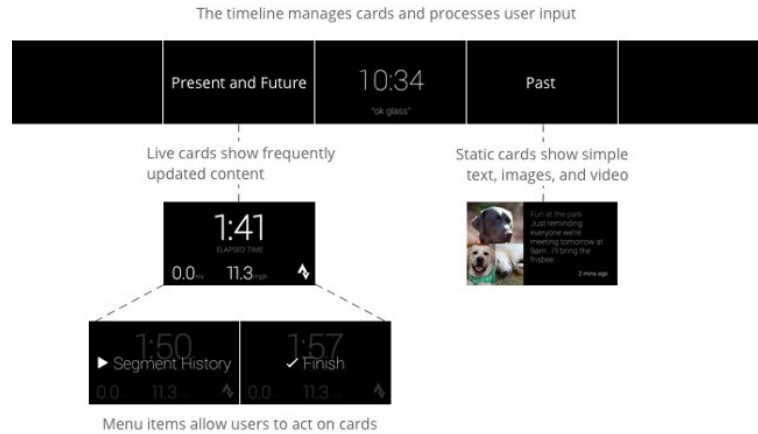


Figura 4.1: La Timeline dei Google Glass

1. **High Frequency** (richiedono un aggiornamento costante e più volte al secondo, oltre a poter mostrare complessi elementi 2D o 3D. Esempio classico è il navigatore);
2. **Low Frequency** (vengono aggiornate ogni 2-3 secondi e mostrano informazioni sullo status dei Glass oppure altre applicazioni quali ad esempio un timer);

4.2.2 Static Cards

Le schede "statiche" sono quelle più simili alle pagine web. Vengono mostrate a destra della schermata home e, man mano che vengono inviate ai Google Glass, fanno scorrere quelle più vecchie verso destra, allontanandole dalla schermata principale, come nella figura (4.2)

4.3 Tecnologie e Framework

Concludiamo infine dicendo che Google mette a disposizione dei developer due diversi strumenti e modalità per sviluppare app e "siti" per Google Glass: il **Glass Development Kit**, da usare se è richiesta interazione real-time con i Glass, accessibilità offline o accesso all' hardware (ad esempio alla

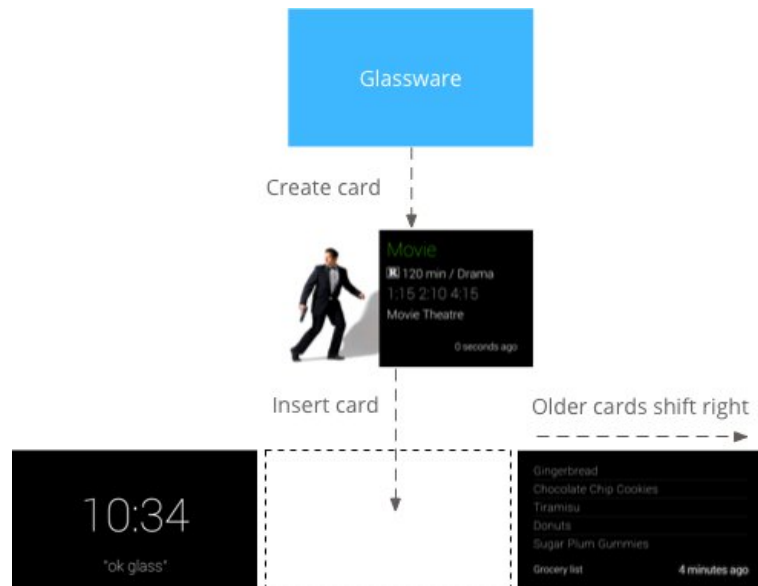


Figura 4.2: La Timeline dei Google Glass con Static Cards

fotocamera) e le **Mirror API**, utili se si vogliono sviluppare static cards in maniera semplice e veloce.

4.3.1 Glass Development Kit

Come detto, il GDK serve soprattutto per creare le "app native" di Google Glass, ovvero le "live cards" che hanno accesso alle funzionalità real-time del dispositivo, che possono essere usate anche offline e che possono utilizzare l' hardware (ad esempio la fotocamera).

Il Glass Development Kit è in sostanza il SDK Android con in aggiunta alcune API specifiche di Glass, e cioè: riconoscimento vocale, riconoscimento dei gesti (ad esempio quando si indossano i Glass per "svegliarli" se in pausa), gestione di cards e timeline.

Il codice sviluppato per Android funzionerà così com' è su Google Glass, senza bisogno di nessuna variazione (ovviamente tenendo conto delle differenti modalità di input e output fra smartphones e occhiali), tanto che il Glassware che andremo a sviluppare con il Glass Development Kit sarà un pacchetto APK che possiamo installare sul nostro device, questo implica

che il linguaggio di programmazione utilizzato è Android, lo stesso utilizzato per sviluppare le app su smartphone.

4.3.2 Mirror API

Con queste funzionalità e chiamate, infatti, possiamo creare dei semplici ma completi e interattivi servizi web per Google Glass, come ad esempio un sito di news che invia periodicamente delle cards ai Google Glass degli "iscritti" oppure un sistema che permette di interrogare un database o altro. Gli utenti quindi potranno associarsi, ad un servizio (iscrizione) e ricevere quindi periodicamente le cards associate. Con le Mirror API possiamo:

- **Gestire le card sulla timeline:** ricordiamo che le cards sono "pagine" testuali, HTML, video o immagini che rappresentano la maggior parte del contenuto che viene visualizzato da un utilizzatore con Google Glass. Con delle semplici chiamate POST e GET possiamo inserire, creare, cancellare e modificare le card che inviamo ai nostri utenti.
- **Usare e creare menu per ogni card:** con le Mirror API possiamo gestire le voci di menu associate ad ogni card, usando quelle standard (ad esempio "condividi" o "leggi ad alta voce") oppure creare le nostre voci di menu su misura.
- **Gestire le notifiche di modifica della timeline:** con una semplice chiamata possiamo "iscriverci" ad ogni modifica che avviene sulla timeline di un utente, ricevendo un "messaggio" ogni volta cambia qualcosa sulla sua timeline (ad esempio alla ricezione di una nuova scheda).
- **Condividere con i contatti:** un "contatto" è sia una persona effettivamente nei contatti dell'utente sia un'altra applicazione o Glassware, a cui possiamo ad esempio inviare delle foto o dei messaggi che saranno poi processati.
- **Utilizzare la geo-localizzazione dell'utente:** con le Mirror API possiamo "iscriverci" ad ogni modifica della geo-localizzazione utente, potendo così intercettare i suoi spostamenti e mandare card appropriate. Possiamo inoltre associare un paio di coordinate ad una card consentendo così all'utente di "navigarci".

Capitolo 5

Conclusioni

Il context-aware computing è una tecnologia sensazionale e sta suscitando tantissimo interesse tra gli sviluppatori e ricercatori. Abbinata a dispositivi wearable, specialmente a modelli di smartglasses, possiamo ottenere risultati sensazionali. Basti pensare a sistemi totalmente hands-free, che non richiedono la totale attenzione dell'utente, a differenza di uno smartphone o uno smartwatch.

I più grandi esperti del settore sono stati piacevolmente sorpresi dalle prime esperienze di questa tecnologia, anche se è tutt'ora in fase di sviluppo.

Come per ogni aspetto, abbiamo i due lati della medaglia, fino ad ora si è parlato delle potenzialità e di tutti gli aspetti interessanti di questa tecnologia, citando i maggiori esperti, ma non ha ricevuto solo riscontri positivi, il consumatore medio infatti, non ha preso di buon occhio i device come gli smartglasses.

Si è riscontrato infatti un problema legato alla privacy e alla sicurezza, tanto che produttori di questi dispositivi, come la Google per esempio, hanno rilasciato delle vere e proprie "guide", da seguire per essere un buon utilizzatore di essi. Il problema sorge dal fatto che chiunque indossi questi occhiali può, in qualsiasi momento, registrare e fare foto, applicazioni di riconoscimento facciale in real-time, quindi andare in un luogo pubblico con essi potrebbe causare disagio a taluni, tanto è vero che in America e Inghilterra, sono nati dei veri e propri divieti nei locali, dove non solo non sono ammessi cani e fumatori ma anche indossatori di smartglasses, i così detti "glassholes", termine vezzeggiativo di coloro che li utilizzano in maniera spropositata.

Vediamo inoltre che, diversi governi in vari paesi del mondo, li hanno addirittura vietati alla guida, in quanto essi forniscono un sistema di navigazione totalmente innovativo che, grazie alla realtà virtuale, riesce a far comparire le frecce e le varie indicazioni, direttamente sul capo visivo dell'utente, ma secondo molti questo potrebbe distrarre il guidatore, provocando incidenti.

Questi effettivamente, sono dei veri e propri problemi, ma non sono nuovi, in quanto sono sempre esistiti, basti ricordare quando uscirono i primi telefoni cellulari dotati di fotocamera. Il fatto è che gli smartglass li possono rendere più "visibili" di quanto non lo fossero prima, ma odiare questo dispositivo o chi lo utilizza non aiuterà di sicuro ad avvallare il problema, anche perché non tutti gli utilizzatori saranno dei malintenzionati o persone senza criterio. La reazione contro gli smartglass è quello che potremmo chiamare foregrounding, ovvero, quando una nuova tecnologia rende qualche spiacevole aspetto preesistente della società più visibile e, così facendo, viene scambiata per aver causato il fenomeno in questione, nonostante fosse sempre esistito, piuttosto che averlo portato ad una maggiore attenzione. Basti pensare al problema del creepshot, quando una persona scatta una foto ad altre, quando esse sono totalmente inconsapevoli, ebbene è un problema nato con i primi computer portatili dotati di fotocamera. Gli scienziati sociali sono da tempo consapevoli che questo accade e hanno descritto il fenomeno con molti nomi diversi. Vietare e bandire gli smartglasses, non vieterà a Google, Facebook, NSA e quant'altro di raccogliere e collezionare informazioni personali su di noi, ebbene questo continuerà, a prescindere dal fatto di persone con degli occhiali intelligenti in faccia.

Secondo alcuni è in dubbio quindi che gli smartglasses e di conseguenza, tutte le tecnologie relative prendano piede, anche se i maggiori produttori come Samsung, Apple e Microsoft, stanno già lavorando a prodotti simili, a quello della Google. Nonostante tutto Google ha ritirato dal commercio i suoi occhiali e secondo alcuni mai li rilascerà al grande pubblico, c'è chi afferma che verranno applicati solo a settori professionali, altri invece dicono che non verranno rilasciati affatto. Penso che al momento la società non è ancora pronta ad una tecnologia simile, una tecnologia che va a radicarsi in maniera strabiliante nella vita quotidiana, fornendo supporto e facilitandoci qualsiasi compito. Come sempre la gente ha paura del cambiamento, è una cosa ancestrale, ma ad ogni modo penso che sia una rivoluzione inevitabile, e che sia solo questione di tempo, poiché ormai è divenuta realtà.

Capitolo 6

Bibliografia

1. Schilit, B., Theimer, M. Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts. *IEEE Network*, 8(5). 1994. pp 22-32;
2. Brown, P.J. The Stick-e Document: a Framework for Creating Context-Aware Applications. In: *Proceedings of Electronic Publishing 96*. 1996. pp 259-272
3. Rodden, T., Cheverst, K., Davies, K. Dix, A.. Exploiting Context in HCI Design for Mobile Systems. *Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices (1998)*;
4. Ward, A., Jones, A., Hopper, A. A New Location Technique for the Active Office. *IEEE Personal Communications* 4(5). 1997. pp 42-47;
5. Schilit, B., Adams, N. Want, R. Context-Aware Computing Applications. *1st International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. 1994. pp 85-90;
6. Pascoe, J. Adding Generic Contextual Capabilities to Wearable Computers. In: *Proceedings of 2nd International Symposium on Wearable Computers*. 1998. pp 92-99;
7. Dey, A.K. Abowd, G.D. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. *CHI 2000 Workshop on the What, Who, Where, When, and How of Context-Awareness (2000)*;

8. Salber, D., Dey, A.K., Abowd, G.D. The Context Toolkit: Aiding the Development of Context-Enabled Applications. In: Proceedings of CHI99. 1999. pp 434-441;
9. Day, Understanding and Using Context, 2001, Future Computing Environments Group, College of Computing GVU Center at Georgia Institute of Technology, Journal Personal and Ubiquitous Computing archive Volume 5 Issue 1, February 2001 Pages 4-7;
10. Paul Dourish, What We Talk About When We Talk About Context, 2004, School of Information and Computer Science University of California, Irvine, Journal Personal and Ubiquitous Computing archive Volume 8 Issue 1, February 2004 Pages 19-30;
11. Scoble-Israel, Age Of Context, editor: CreateSpace Independent Publishing Platform;
12. Anind K. Dey, Daniel Salber, Gregory D. Abowd, The Conference Assistant: Combining Context-Awareness with Wearable Computing;
13. Steve Mann, (1996a): Smart Clothing: The Shift to Wearable Computing. In *Communications of the ACM*, 39 (8) pp. 23-24. See Mann, Steve (2013): *Wearable Computing* In: Soegaard, Mads and Dam, Rikke Friis (eds.). *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, 2nd Ed. Aarhus, Denmark: The Interaction Design Foundation;
14. *Wearable Technology Market - Global Scenario, Trends, Industry Analysis, Size, Share And Forecast, 2012 - 2018 Market Research Reports Biz*. January 2013;
15. P. Guillemin and P. Friess, Internet of things strategic research roadmap, The Cluster of European Research Projects, Tech. Rep., September 2009;
16. B. Schilit, N. Adams, and R. Want, Context-aware computing applications, in *Mobile Computing Systems and Applications*, 1994;
17. J. Pascoe, Adding generic contextual capabilities to wearable computers, in *Wearable Computers*, 1998. Digest of Papers. Second International Symposium on, oct 1998, pp. 92-99;

18. G. D. Abowd, A. K. Dey, P. J. Brown, N. Davies, M. Smith, and P. Steggles, Towards a better understanding of context and context-awareness, in Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, ser. HUC 99. London, UK: Springer-Verlag, 1999, pp. 304-307;
19. Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey, Charith Perera, Student Member, IEEE, Arkady Zaslavsky, Member, IEEE, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos, Member, IEEE;
20. Pervasive Computing: Vision and Challenges, M. Satyanarayanan School of Computer Science Carnegie Mellon University, Journal Personal and Ubiquitous Computing archive Volume 8 Issue 1, February 2004, Pages 19-30 ;
21. Katz, R.H., Long, D., Satyanarayanan, M., Tripathi, S. Workspaces in the Information Age. In Report of the NSF Workshop on Workspaces in the Information Age. Leesburg, VA, October, 1996;
22. Weiser, M, Brown, J.S. The Coming Age of Calm Technology. In Denning, P.J., Metcalfe, R.M. (editors), Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing. Copernicus, 1998;
23. Ronald T. Azuma, A Survey of Augmented Reality 1997, Proceeding SIGGRAPH '04 ACM SIGGRAPH 2004 Course Notes Article No.26;
24. Goldman, David (4 April 2012). "Google unveils 'Project Glass' virtual-reality glasses";
25. Albanesius, Chloe (4 April 2012). "Google 'Project Glass' Replaces the Smartphone With Glasses";
26. Newman, Jared (4 April 2012). "Google's 'Project Glass' Teases Augmented Reality Glasses";
27. Ari Brockman. "It's 2013: Put On Your Smart Glasses Viewer";
28. Smart glasses for the oil and gas industry: A look into the future?;
29. Goldman, David (April 4, 2012). "Google unveils 'Project Glass' virtual-reality glasses";

30. Albanesius, Chloe (April 4, 2012). "Google 'Project Glass' Replaces the Smartphone With Glasses";
31. Oliver Bimber, Ramesh Raskar. Spatial Augmented Reality. AK Peters Ltd. 2004;
32. Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications. November/December 2001;
33. P. Milgram and F. Kishino, A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, IEICE Trans. Information Systems, vol. E77-D, no. 12, 1994, pp. 1321-1329;
34. NSF/ARPA Science and Technology Center for Computer Graphics and Scientific Visualization;
35. Kutulakos, Kiriakos N. and James Vallino. Affine Object Representations for Calibration-Free Augmented Reality. Proceedings of VRAIS '96 (Santa Clara, CA, 30 March - 3 April 1996), 25-36;
36. Shahzad Malik. Robust Registration of Virtual Object for Real-Time Augmented Reality. Carleton University, Canada. 2002, A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Computer Science ;
37. Silke Geisen, Universitat Paderborn. Augmented Reality in Surgery. 2005, seminar "Medical Images";
38. Institut de Recherche Contre les Cancers de l'Appareil Digestif (IRCAD). Strasbourg. <http://www.ircad.fr/homepage.php>;
39. Computer Aided Medical Procedures (CAMP). <http://campar.in.tum.de/>;