

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA

Scuola di Scienze
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

WEARABLE COMPUTING PER REALTÀ
AUMENTATA E INTERNET OF THINGS:
STATO DELL'ARTE E CONSIDERAZIONI
SULLA SICUREZZA

Elaborato in
PROGRAMMAZIONE DI SISTEMI EMBEDDED

Relatore
Prof. ALESSANDRO RICCI

Presentata da
SIMONE LUNEDEI

Co-relatore
Ing. ANGELO CROATTI

Seconda Sessione di Laurea
Anno Accademico 2015 – 2016

PAROLE CHIAVE

Wearable Computing

Augmented Reality

Internet of Things

Security e Privacy

*Alla mia famiglia.
A tutti gli amici.*

Indice

Introduzione	ix
1 Sistemi Wearable e Wearable Computing	1
1.1 I sistemi wearable	1
1.1.1 Sistemi garment-based wearable	2
1.1.2 Sistemi accessory-based wearable	3
1.2 Wearable Computing	4
1.2.1 Cenni storici	5
1.2.2 Caratteristiche principali	7
1.2.3 Elementi fondanti di un Sistema Wearable	8
1.2.4 Caratteristiche tecniche	9
1.3 Wear I system	15
1.4 Architettura di un Wearable Computing System	17
2 Wearable Computing e Augmented Reality	21
2.1 Introduzione all'Augmented Reality	21
2.1.1 Definizione e cenni storici	21
2.1.2 Mixed Reality, Virtual Reality e Augmented Reality	22
2.1.3 Principi cardine dell'AR	24
2.2 Integrazione dell'Augmented Reality nel Wearable Computing	24
2.2.1 Augmented Memory	25
2.2.2 Informazioni aggiuntive nell'ambiente	27
2.2.3 Riconoscimento di oggetti virtuali	28
2.2.4 Riconoscimento del viso	30
2.3 Seen-for-action e Seen-for-perception	32
2.4 Sviluppi futuri	34
3 Wearable Computing e Internet of Things	37
3.1 Introduzione all' Internet of Things	37
3.1.1 Definizione e cenni storici	37
3.1.2 Architettura generale di IoT	38
3.1.3 Applicazioni e criticità presenti in IoT	39

3.2	Sistemi di Wearable Computing per IoT	42
3.2.1	Caratteristiche dei dispositivi	42
3.2.2	Differenti applicazioni di Wearable Internet of Things . .	43
3.2.3	Ruolo dell'utente	44
3.2.4	Caso 1: L'utente interagisce con l'applicazione, ma non è il protagonista.	44
3.2.5	Caso 2: L'utente è il protagonista delle informazioni attraverso il suo stato e le sue azioni	46
3.2.6	Uno sguardo rivolto al futuro	47
4	Sicurezza nel Wearable Computing	49
4.1	Definizione di sicurezza	49
4.2	La sicurezza in uno scenario di Wearable Computing	50
4.2.1	Agire sui dati acquisiti: Obfuscation e Diversification . .	52
4.2.2	Aggregazione sicura dei dati	54
4.2.3	Autenticazione, autorizzazione e interoperabilità	56
4.2.4	Direzioni future nell'ambito della sicurezza	57
	Conclusioni	59
	Ringraziamenti	61
	Bibliografia	63

Introduzione

La rapida innovazione in ambito tecnologico degli ultimi decenni ha portato, oggi, alla disponibilità sul mercato di dispositivi ICT di varia natura, la cui efficienza – in termini sia di prestazioni sia di capacità computazionale e di memorizzazione delle informazioni – ben si adatta alle nuove e molteplici esigenze legate allo sviluppo del software a supporto della quotidianità. Ma non solo: lo sviluppo a cui stiamo assistendo e che sta coinvolgendo la nostra attenzione è dovuto anche al fatto che, mentre i dispositivi che usiamo quotidianamente presentano performance sempre più attraenti e migliorative, la loro dimensione e la loro massa continuano a diminuire. Prestazioni, design e comfort hanno fatto sì che le persone potessero migliorare significativamente le loro attività, puntando a raggiungere una sempre più stretta interazione con questi dispositivi.

Sotto questo punto di vista, negli ultimi anni sono stati fatti ulteriori passi in avanti, consentendo alle persone non solo di aver sempre a disposizione i propri device, ma anche di indossarli, raggiungendo uno dei massimi livelli mai visti prima dal punto di vista della loro portabilità ed interoperabilità con l'utente. A questo proposito basta pensare a dispositivi come smartwatch, smartglass, patch-sensor, fitbit e molti altri ancora. Questi dispositivi, che prendono il nome di *wearable*, sono già presenti tra di noi e senza che avessimo modo di accorgercene, hanno già influenzato le nostre azioni quotidiane. Il mondo del **Wearable Computing**, infatti, non sta avendo successo solo perchè consente all'utente di portare appresso dispositivi elettronici, ma anche perchè consente di raggiungere una maggiore interoperabilità tra i dispositivi stessi, permettendo ad esempio la comunicazione tra di loro (se appartenenti alla stessa rete), contribuendo significativamente ad estendere quella che viene definita **Internet of Things**, in breve **IoT**. Possiamo dire, infatti, che la realtà dell'IoT si sta espandendo molto rapidamente al giorno d'oggi anche perchè molti host dell'*Internet of Things* possono essere indossati, rilevando e memorizzando le azioni effettuate dall'utente, andando ad incrementare il livello di interoperabilità tra le persone, permettendo la memorizzazione dei dati acquisiti nel cloud e consentendo l'elaborazione, la visualizzazione e la trasmissione di essi in un secondo momento sia all'utente stesso, che ad altri

utenti che indossano wearable appartenenti alla stessa rete. Ma c'è di più: lo sviluppo del Wearable Computing unito ad un ambiente IoT sta portando alla realizzazione di quello che può essere definito come “*Smart Environment*”, mediante il quale l'utente, anche grazie ai wearable, può interagire con gli oggetti anche con semplici gesti, come battere le mani o ruotare il polso.

Lo sviluppo e la diffusione dei wearable, inoltre, sta contribuendo significativamente ad aumentare la percezione della realtà dell'utente che li indossa. Un esempio concreto di quanto detto lo sono gli *smartglass*, tramite i quali l'utente ha la possibilità di estendere informazioni aggiuntive provenienti dalla *Virtual Reality*. A tal proposito si può quindi dire che il mondo dell'**Augmented Reality (AR)** si sta evolvendo sempre di più, appoggiandosi a dispositivi che possono essere indossati. Sono già stati effettuati molti studi che hanno portato a numerose applicazioni realizzate grazie al processo di integrazione che la Realtà Aumentata sta compiendo verso il Wearable Computing; tuttavia molte ricerche sono ancora in atto, con il fine di poter migliorare la percezione dell'utente in un contesto di Augmented Reality mediante l'utilizzo dei wearable.

Di fronte a queste realtà, l'obiettivo di questa tesi, dopo aver presentato il mondo del Wearable Computing, esponendone le peculiarità principali, è presentare come i dispositivi che ne fanno parte hanno contribuito e espanderanno in futuro concretamente gli scenari della Realtà Aumentata e dell'Internet of Things, che attualmente costituiscono le 2 realtà dove più facilmente i *wearable* si sono sviluppati.

L'evoluzione rapida del Wearable Computing e la diffusione celere dei sistemi che ne fanno parte negli ambienti di IoT e AR, ha provocato (e provocherà anche in futuro) la diffusione di molte informazioni personali degli utenti che li usano, che devono essere tutelate il più possibile da efficaci sistemi di sicurezza. Per questo motivo, si è ritenuto opportuno sviluppare, come capitolo conclusivo di questa tesi, un approfondimento relativo ai rischi a cui possono essere soggette le informazioni che percepiamo con i sistemi wearable e alle misure di sicurezza che sono già da ora attuabili per preservare l'integrità, la riservatezza e la disponibilità dei dati acquisiti.

Capitolo 1

Sistemi Wearable e Wearable Computing

Questo capitolo mira nella prima parte ad esporre una panoramica generale sui principali sistemi wearable, partendo dal definire una loro tassonomia, indicando le loro principali caratteristiche, esponendo quali sono le origini e i principali ambiti in cui riversano i loro benefici. Nella seconda parte del capitolo, invece, viene presentato il concetto di Wearable Computing, con tutte le specificità che lo caratterizzano fino ad arrivare ad esporre un modello di architettura adottato per preservare il livello di astrazione.

1.1 I sistemi wearable

Per sistema Wearable si intende un dispositivo elettronico che può essere indossato, per il fatto che è caratterizzato da dimensioni e peso ridotti[4]. Sempre di più al giorno d'oggi l'uomo utilizza quotidianamente numerosi dispositivi elettronici (smartphone, laptop, palmari, ecc...). Tutti questi device hanno in comune diversi componenti come, ad esempio, un microprocessore, un display, una memoria centrale, una batteria e una tastiera per ricevere l'input dall'utente. In questo scenario, i sistemi wearable hanno trovato sviluppo con l'obiettivo di unire le caratteristiche comuni ai dispositivi elettronici che usiamo quotidianamente, cercando di mantenere contenuti i costi, il peso, la ridondanza dei dati trasmessi e migliorare la connettività e i servizi.

In base a come possono essere indossati i wearable possiamo classificare questi device in 2 macro categorie: **garment-based wearable computers** e **accessory-based wearable computers**[3].

1.1.1 Sistemi garment-based wearable

Si tratta di sistemi che si presentano sottoforma di indumento (tipicamente i principali indumenti utilizzati per sviluppare questo genere di sistemi sono magliette, pantaloni, guanti e scarpe). Questi dispositivi necessitano della presenza di un involucro protettivo che possa custodire il sistema dagli agenti dell'ambiente in cui si trovano (come ad esempio acqua, fuoco o alte temperature). Alcune tra le principali applicazioni che vedono coinvolti questo genere di sistemi wearable sono relativi ad esempio per la rilevazione del battito cardiaco, oppure per il monitoraggio dell'attività fisica. A questo proposito Liu nel 2008 presentò un paio di pantaloni in grado di valutare la corretta o meno postura adottata dagli anziani mentre camminavano. Di seguito vengono riportate le principali regioni corporali per cui sono stati ideati e sviluppati i sistemi presi in considerazione:

- **Regione del collo e del capo.** Questa regione è stata poco utilizzata per lo sviluppo di questi sistemi, a causa della ridotta visibilità di cui può usufruire l'utente. Un'applicazione che ha trovato impiego in questa regione sicuramente risulta essere quella di Kim che nel 2008 ha presentato una fascia frontale che permette di misurare la frequenza cardiaca e la velocità del passo mentre si cammina. Questo dispositivo utilizza il protocollo ZigBee per il trasferimento dei dati e una batteria ricaricabile.
- **Regione torsale.** Si tratta di una regione in cui sono stati sviluppati numerosi progetti. Il motivo principale risiede nel fatto che quest'area, includendo il centro della massa corporea, è quella maggiormente predisposta per sopportare sistemi con unità piuttosto pesanti (come ad esempio le batterie ricaricabili). Uno dei più riconosciuti sistemi è quello ideato e progettato da Curone nel 2010 costituito da una maglietta, una giacca e un paio di stivali, in grado di rilevare sia valori fisiologici di chi lo sta indossando, sia parametri dell'ambiente esterno (come ad esempio la concentrazione di anidride carbonica nell'aria, mediante appositi sensori posizionati negli stivali, e la temperatura esterna).
- **Mani e braccia.** Progetti in questa regione hanno avuto un inferiore sviluppo rispetto alla regione torsale. Un esempio di sistema può essere considerato *StrinGlove*, guanto che attraverso 24 sensori è in grado di riconoscere le gestur e della mano e tramite il quale, attraverso altri 9, consente di percepire se l'utente è in contatto con un oggetto fisico.
- **Piedi e gambe.** I sistemi che vengono indossati negli arti inferiori consistono prevalentemente in pantaloni in cui vengono integrati opportunamente sensori. I sistemi che vengono progettati per essere indossati

ai piedi hanno la necessità di essere resistenti all'usura e presentano un funzionamento autonomo per evitare cablaggi.

1.1.2 Sistemi accessory-based wearable

A differenza dei sistemi *garment-based wearable*, questa tipologia di sistemi presenta una vasta tipologia di progetti soprattutto nelle aree del capo, del collo e degli arti superiori, piuttosto che nella regione torsale. Questo perchè il peso e la lunghezza di questi dispositivi non eccede i limiti fisici di queste regioni corporee.

- **Regione del collo e del capo.** Si tratta di una delle regione in cui maggiormente sono stati sviluppati sistemi utilizzati come accessori nel campo del Wearable Computing. Un esempio di sistemi di questo genere è rappresentato dal *Brainy Hand System*, sviluppato nel 2009 da Tamaki, costituito da un auricolare che permette sia il riconoscimento delle gesture che l'utente effettua, sia la ricezione di messaggi di feedback rispetto alla gesture eseguita. Altro sistema che fa parte di questa categoria sono i Google Glass¹, occhiali la cui progettazione è terminata nel 2014 e che consentono a chi li indossa di percepire informazioni aggiuntive sull'ambiente in cui si trova grazie all'impiego della Realtà Aumentata.
- **Regione torsale.** Tra i wearable che sono stati sviluppati per essere usati in questa fascia corporea, viene ricordato quello ideato dal docente Oliver Amft al Wearable Computer Laborator al politecnico ETH di Zurigo, che nel 2009 presentò il suo sistema QBIC (Q-Belt-Integrated Computer)[3]. Tale dispositivo consiste in una cintura flessibile su cui è montato un computer le cui capacità computazionali consentono a tale device di supportare diverse applicazioni tra cui il monitoraggio sulle condizioni di salute dei pazienti, il prelevamento e la memorizzazione dei movimenti eseguiti da chi si appresta a fare riabilitazione, il supporto come guida turistica e molte altre.
- **Mani e braccia.** Rispetto a questa regione, Lee presentò nel 2010 un braccialetto, in cui era integrato un chip, la scheda di memoria SD, un MP3 decoder e le cui funzioni sono simili a quello di un classico lettore di musica digitale. Altro sistema wearable che occupa la regione dell'avambraccio è il *Myo arm-band*, braccialetto prodotto nei Thalmic Labs nel 2015, in grado di riconoscere le gesture effettuate dall'utente, oltre che ad individuare i movimenti del braccio che l'utente esegue.

¹<https://developers.google.com/glass/>

- **Regione del polso.** Senza dubbio, sono molteplici gli sviluppi di sistemi wearable che sfruttano il polso umano per aumentare le conoscenze dell'ambiente esterno di chi li indossa. A questo proposito, è sufficiente pensare alla diffusione che hanno avuto negli ultimi anni gli smartwatch che, seppur utilizzati per la maggior parte del tempo come comuni orologi, consentono all'utente di acquisire diverse informazioni aggiuntive, come ad esempio l'eWatch, device ideato da Maurer nel 2006, che permette di visualizzare notifiche ricevute dall'utente, mentre vengono rilevati la luminosità, il tempo atmosferico, la temperatura dell'ambiente esterno. Alcuni di questi dispositivi sono stati sviluppati per essere in grado di rilevare parametri corporei, tra cui il grado di saturazione dell'ossigeno nel sangue oppure la pressione sanguigna, come nel caso del wearable sviluppato nel 2004 da Anliker.
- **Mani e dita.** Come per la regione del capo, quella della mano è molto sfruttata da alcuni dispositivi wearable per l'acquisizione delle informazioni. Una delle principali dimensioni in cui si presentano tali sistemi è quella di un guanto, come nel caso di SCURRY, ideato da Kim nel 2005. Tale sistema integra al suo interno diversi sensori, tra cui giroscopi e accelerometri.
- **Piedi e gambe.** A differenza dei sistemi che si presentano sottoforma di indumenti, non sono ancora stati sviluppati sistemi wearable sottoforma di accessori che sfruttino gli arti inferiori.

1.2 Wearable Computing

“Wearable computing is the study or practice of inventing, designing, building, or using miniature body-borne computational and sensory devices. Wearable computers may be worn under, over, or in clothing, or may also be themselves clothes.” [23]

Così il ricercatore canadese Steve Mann ha definito il Wearable Computing. Da questa citazione possiamo subito capire la relazione che intercorre tra i wearable system e il *Wearable Computing*. I wearable system, infatti, costituiscono i dispositivi veri e propri che possono essere indossati dall'utente e che sono in grado di svolgere determinate funzionalità. Il concetto di *Wearable Computing* mira, invece, ad utilizzare i wearable system, per poter percepire dati ed analizzare ed elaborare le informazioni ottenute da essi, per poter poi trarne dei benefici come, ad esempio, nello sviluppo dei sistemi stessi. Mentre quindi per wearable system intendiamo un dispositivo fisico, quando parliamo di Wearable Computing ci riferiamo ad un ramo della tecnologia ben più

ampio, che si appoggia ai wearable system; mentre non è corretto affermare il viceversa: i wearable sono dispositivi, infatti, che portano dei benefici agli utenti che li indossano, ma ciò non significa che i dati che essi raccolgono debbano essere necessariamente elaborati in un secondo momento.

1.2.1 Cenni storici

Seppur questi dispositivi abbiano iniziato ad evolversi e a svilupparsi velocemente solo negli ultimi 4 decenni, l'origine di essi risale in realtà al XVI secolo, con l'invenzione dei primi orologi da taschino. Detto ciò, a ricoprire il ruolo di inventori del primo sistema nel mondo del *Wearable Computing* sono stati gli scienziati Thorpe e Shannon nel 1961 [2]. Il loro intento era quello di riuscire ad aumentare le probabilità di vincita nei giochi di carte o nel gioco della roulette. Il loro sistema era costituito da un computer di ridotte dimensioni (tali da poter essere nascosto in un pacchetto di sigarette), azionato da un interruttore nascosto in una sciarpa e in grado di trasmettere un segnale (una nota musicale) ad un dispositivo acustico. Scelto un determinato punto di riferimento nella roulette, si azionava l'interruttore con l'allucce al primo e secondo passaggio di un numero nel punto di riferimento e al passaggio della pallina nello stesso punto di riferimento. Il compito del computer era quello di calcolare la traiettoria e di inviare un segnale acustico all'auricolare. Ad ogni nota era stata precedentemente assegnata un settore di 5 numeri da giocare denominato "octant". L'esperimento si rivelò un fallimento, a causa di alcuni problemi dovuti all'utilizzo di un filo sottilissimo che univa il computer all'auricolare. Si trattava, tuttavia, di un sistema che prevedeva l'unione di diverse caratteristiche tipiche di un sistema wearable, tra cui la ricezione di valori di input, un processo di computazione di tali valori, la loro trasmissione e la comunicazione delle informazioni recuperate.

Da qui in poi sono stati effettuati numerosi passi in avanti, che hanno portato allo sviluppo di moltissimi progetti. Di seguito vengono riportati alcuni tra quelli che sono stati i principali progetti ideati e realizzati in seguito a quello di Thorpe e Shannon.

- Nel 1967 Bell Helicopter Company ideò e realizzò un sistema a Realtà Aumentata mediante il quale i piloti degli aerei militari potessero atterrare nelle ore notturne anche in terreni accidentati, in quanto dotati di un casco di protezione la cui rotazione permetteva ad una telecamera ad infrarossi di muoversi, permettendo al pilota di visualizzare l'area sottostante in base al movimento effettuato con il capo[27].

- Nel 1977 l'istituto Smith-Kettlewell of Visual Science sviluppò un sistema wearable che permetteva di indossare una telecamera sopra alla testa che potesse aiutare i non vedenti a muoversi[27].
- Nel 1986 l'americano Steve Roberts progettò la prima bicicletta dotata di un computer di bordo[27].
- Nel 1991 alcuni studenti, al termine di un corso estivo al Carnegie Mellon's Engineering Design Research Center, svilupparono un sistema wearable che, attraverso una cintura, permettesse all'utente di visualizzare la planimetria di una casa[27].
- Nel 1994 venne ideato "*Forget-Me-Not*", un sistema wearable in grado di memorizzare in un apposito database le interazioni delle persone con gli oggetti, tramite l'utilizzo di trasmettitori wireless presenti nella stanza. In seguito l'utente poteva interrogare il database per poter ottenere risposte a domande del tipo: "Era presente la mia valigia in ufficio questa mattina" oppure "Chi è entrato nel mio ufficio mentre stavo parlando al telefono?" [5]
- Nel dicembre del 1994 Steve Mann sviluppò il sistema "*Wearable Wireless Webcam*", tramite il quale è stato possibile trasmettere delle immagini scattate da una fotocamera posizionata sopra il capo alla base della SIG (Silicon Graphics Incorporated) mediante frequenze satellitari. Le immagini venivano processate in base centrale, da cui poi venivano fatte visualizzare in una pagina web in tempo reale[27].
- Nel 2002 Kevin Warwick, docente di cibernetica all'università di Reading, progettò una collana per sua moglie che, collagata al suo sistema nervoso mediante 2 chip incorporati, modificava il proprio colore in base all'umore dello stesso Warwick (da rosso a blu)[27].
- Nel 2010 la Sony fece uscire nel mercato il primo "*Sony Smart Watch*", con il quale è possibile effettuare diverse operazioni comunemente svolte usando uno smartphone (inviare e leggere SMS oppure leggere nuove notifiche di Twitter, ecc..)[27]
- Nel 2013 la Apple ha lanciato l'*iWatch*².
- All'inizio del 2013 Google ha ultimato il sistema wearable *Google Glass*;
- Nel 2015 dai laboratori di ricerca *Thalmic Labs*, è uscito il *Myo armband*³.

²<http://www.apple.com/it/watch/>

³<https://www.myo.com/>

1.2.2 Caratteristiche principali

Come si è potuto evincere, il mondo dei sistemi wearable risulta essere piuttosto vasto. Questi sistemi, tuttavia, nonostante l'eterogeneità con cui si sono diffusi e sviluppati, sono caratterizzati da alcuni principi ben definiti che li accumulano.

Interazione tra utente e sistemi wearable

Di seguito vengono esposti quelli che possono essere definiti come i principi cardine che legano i sistemi wearable all'utente:

1. **Aumento delle capacità sensoriali dell'utente.** Questi sistemi, infatti, permettono all'utente che li indossa di estendere i propri sensi e il proprio intelletto, consentendogli di poter svolgere qualunque altra attività, mentre il sistema rileva e gestisce i dati che gli vengono passati come input dalle azioni svolte. In questo modo il compito primario non è svolto dal sistema che elabora le informazioni, ma dalla persona e dai suoi movimenti che indossa quest'ultimo;
2. **Rilevazione costante.** I dispositivi wearable per essere attivi e per poter quindi ricevere e rilevare dei segnali non devono essere accesi; Tali sistemi sono progettati in modo tale da poter essere sempre usati dall'utente;
3. **Mediazione tra utente e ambiente esterno.** Come già citato in precedenza, l'obiettivo primario dei sistemi wearable consiste nell'estendere le facoltà sensoriali dell'utente, portandolo ad accrescere il sistema informativo che lo circonda. Pertanto un wearable può essere anche in grado di conoscere il contesto ambientale in cui esso è situato. Esempi sono rappresentati proprio dal wearable ideato da Mik Lamming, *Forget-Me-Not*, già citato in precedenza oppure dal wearable progettato da Clarkson, in grado di identificare gli eventi accaduti nell'ambiente circostante dell'utente mediante un sensore sonoro e una camera a bassa risoluzione[4].

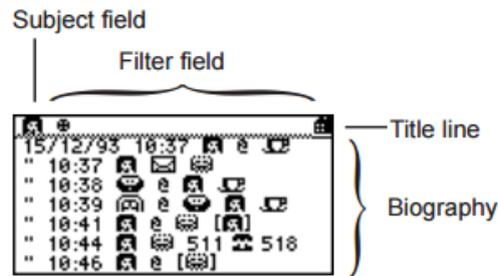


Figura 1.1: Forget-Me-Not: esempio di una biografia di un utente[5].

Altra caratteristica di fondamentale importanza per questa tipologia di dispositivi è data dal fatto che, essendo indossabili, consentono all'utente di conservare le proprie informazioni private nascoste, in modo tale da impedire ad eventuali cyberwallets di rilevare dati privati. Una modalità per mantenere questo livello di riservatezza si basa sul fatto che molti di questi dispositivi assumono la forma degli indumenti che vengono indossati, il cui tipo di tessuto non permette agli attaccanti di accedere alle informazioni personali. La comunicazione tra l'utente e gli altri computer può essere garantita tramite l'utilizzo di apposite antenne che trasmettono sequenze di bit in maniera criptata.

1.2.3 Elementi fondanti di un Sistema Wearable

Per poter utilizzare in modo efficiente questi dispositivi è necessario considerare quali sono i parametri che garantiscono una corretta sinergia tra utente e il dispositivo stesso. Per questo motivo si può affermare che un sistema wearable non limita (o tende a non limitare) qualunque azione che l'utente voglia eseguire, evitando quindi di monopolizzare la sua attenzione. Questi sistemi, infatti, nascono con l'obiettivo di integrare alle capacità di una persona, informazioni o effetti elaborati da un computer al solo scopo di migliorare le prestazioni dell'utente stesso, evitando che questo implichi una maggiore attenzione da parte dell'utente. A questi fondamenti, va aggiunto il fatto che ogni output provocato dal sistema è sempre percettibile dall'utente che lo indossa e che quest'ultimo deve essere sempre in grado di controllare lo stato del dispositivo. Inoltre, al fine di fornire all'utente il miglior supporto conoscitivo, è necessario che il wearable sia in grado di osservare e modellare l'ambiente in cui l'utente è situato. Per facilitare il device nell'eseguire questo compito, la persona che indossa il dispositivo spesso ha la possibilità di fornire segnali contestuali all'ambiente. Ovviamente, per mantenere una buona sintonia tra l'utente e il dispositivo, è fondamentale che avvenga anche il contrario, ovvero che anche il wearable renda visibili i suoi valori calcolati in modo tale da

permettere all'utente di identificare eventuali incomprensioni tra egli stesso e il wearable[4].

1.2.4 Caratteristiche tecniche

Ogni wearable, per essere definito tale, deve rispettare alcune proprietà, tramite le quali vengono garantite da parte di questi sistemi elevate performance e un'ottima intesa tra utente e dispositivo.

User Interface.

Al giorno d'oggi con il termine *interfaccia* viene indicata una serie di elementi che consentono l'interazione tra l'utente e il dispositivo, come ad esempio il design e l'aspetto ergonomico con cui viene realizzato il device. Ovviamente la *user interface* deve essere idealizzata e progettata nel rispetto dei principi della portabilità e usabilità del device. Uno dei principali criteri che un wearable deve tendere a rispettare è: *making simple things and complex things possible*[2]. E' importante che tale principio venga rispettato, soprattutto per il fatto che molti wearable sono dotati di numerosi elementi periferici, che possono essere ad esempio di tipo visivo, uditivo oppure tattile, la cui numerosità potrebbe rendere difficile un utilizzo immediato del device, se in fase di progettazione non si presta la dovuta attenzione[2]. Pertanto le interfacce devono essere realizzate in modo tale che le informazioni siano auto-esplicative e non richiedano troppa concentrazione all'utente. Per questa ragione i bottoni e le opzioni tramite i quali gli utenti interagiscono con il wearable devono essere posizionati in modo da rispettare i criteri ergonomici appropriati.

Energia dissipata e batteria.

Il dispendio di energia è uno degli elementi che più condiziona la prestazione di un wearable. La massa di un dispositivo è infatti determinata prettamente da quella della batteria che ha al suo interno. Nel mondo del Wearable Computing, quello della ricaricabilità del sistema è un problema che, con lo sviluppo tecnologico, ha trovato diverse soluzioni. Una tra queste potrebbe essere quella di ricevere l'energia dalle azioni svolte dall'utente. A questo proposito, un esempio è costituito da un sistema costituito da un paio di scarpe che generano energia dal tallone, mentre la suola si flette durante una camminata. Un altro modo consiste nel recuperare energia dalla trasmissione di onde radio. Per quanto riguarda la trasmissione dei dati, la comunicazione tra i sensori e la periferia e l'unità di controllo avviene ad una bassa larghezza di banda e con un basso dispendio di energia. Nel momento in cui deve essere garantito il trasferimento dei dati da un sistema wearable ad una Control Unit

remota, viene spesso utilizzata una comunicazione wireless, tramite l'impiego di Bluetooth e del protocollo ZigBee[1].

Dissipazione del calore.

Si tratta di un aspetto di rilevante importanza, che può pregiudicare il corretto funzionamento del sistema, se non viene preso adeguatamente in considerazione. Il calore dissipato dal sistema determina in parte, inoltre, anche la dimensione del wearable. I sistemi wearable, devono essere costituiti da una sufficiente superficie che permetta al dispositivo di ricevere l'adeguata ventilazione. Gli studi apportati sulle applicazioni precedenti hanno dimostrato che un task svolto su un arco temporale disteso genera una dissipazione calorifera inferiore rispetto al caso in cui lo stesso task venga eseguito alla massima velocità sostenibile in minor tempo[28]. Questo accorgimento, se rispettato, porta a numerosi benefici, tra cui un utilizzo più efficiente dei convertitori di potenza e un consumo maggiormente duraturo delle batterie agli ioni di litio. Un altro fattore che causa un notevole dispendio di energia e quindi dissipazione di calore è la ricerca della rete in cui si trova il wearable. Per questo motivo per l'esecuzione di un determinato task, a meno che l'esecuzione di quest'ultimo sia urgente, è sempre meglio che il wearable attenda una buona ricezione del segnale della rete[1]. Un altro accorgimento che viene spesso preso in considerazione dagli ideatori dei wearable è il fatto che anche il corpo umano può essere sfruttato per mantenere livello di raffreddamento più consono. Ciò accade già quotidianamente nella nostra vita quando ad esempio, portiamo il nostro PC sulle ginocchia, dopo averlo tenuto a lungo sopra la scrivania.

Input.

L'obiettivo della tecnologia del Wearable Computing di estendere le facoltà sensoriali dell'utente, è complementare a quello di permettere all'utente di effettuare più attività contemporaneamente, cercando di raggiungere il concetto di *hands-free*, per il quale chi indossa il wearable ha entrambe le mani libere disponibili per fare altro. Un esempio in cui questo principio potrà essere sicuramente di ausilio è quello degli infermieri del pronto soccorso, che arrivati sul luogo dove si è verificato un incidente, possono ricevere e trasmettere informazioni, senza la necessità di usare il proprio smartphone e avendo entrambe le mani disponibili per prestare soccorso. Il concetto di *hands-free*, tuttavia, potrebbe essere sfruttato anche da chiunque, ad esempio mentre si svolge attività sportiva. Ciò implica, ovviamente, che l'attenzione, la vista e la percezione dell'ambiente esterno di un utente in movimento, siano diversi rispetto ad una persona che è ferma. Negli ultimi anni sono stati diversi gli approcci con cui si è affrontato il problema. Una prima soluzione, grazie allo

sviluppo delle reti cellulari, potrebbe consistere nell'utilizzo dell'interfaccia vocale, anche se quest'ultima non risponde a tutte le necessità. Un'altra modalità di fornire input, lasciando libero l'utilizzo di una mano, è rappresentato dalla tastiera *Twiddler*, che permette all'utente di avere totalmente a disposizione il senso della vista. Si può affermare quindi che l'utente con questo genere di dispositivi ha necessità di non essere più dipendente da un'interfaccia WIMP (windows, icon, menu, pointer). Nonostante le caratteristiche dei sistemi operativi degli smartphone, con il progresso tecnologico, richiedano sempre meno precisione da parte dell'utente nei gesti, uno smartphone richiede, come la tastiera *Twiddler* l'impiego di una mano[28]. Proprio per questo motivo una possibile soluzione consiste in un'interfaccia in grado di riconoscere i gesti dell'utente mediante sensori di movimento. Un esempio concreto di realizzazione di un'interfaccia gestuale è rappresentato dal sistema *Gesture Pendant*.

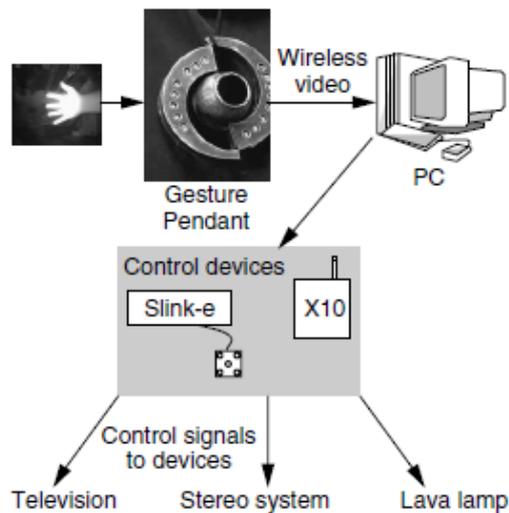


Figura 1.2: Gesture Pendant[1].

Si tratta di un dispositivo che, indossato mediante un ciondolo, è in grado di riconoscere il movimento delle mani dell'utente che lo indossa, grazie ad un sensore a raggi infrarossi. Il segnale ricevuto mediante porta seriale viene convertito in segnale elettrico mediante lo Slink-e. Inoltre, in base all'oggetto a cui ci si trova davanti, la stessa gesture può portare a comportamenti diversi. Per fare un esempio, ruotare la mano in senso orario potrebbe permettere di abbassare il volume dello stereo, come spegnere una lampadina.

Networking.

Per un wearable è di fondamentale importanza appartenere ad una rete, perchè ciò gli consente di memorizzare e trasmettere agli altri wearable della stessa rete i dati che esso riceve, permettendo quindi un alto livello di interoperabilità. Nella progettazione dei wearable più recenti si è prestata molta attenzione anche nel permettere all'utente di portare con sè sempre tutti i suoi dati, permettendo l'accesso ad essi in qualunque istante, anche in assenza di segnale di rete. Per questo fine una delle soluzioni più adottate è sicuramente quella che fa uso di **caching**[2]. Memorizzare le informazioni localmente permette anche di conservare meglio la batteria del wearable. Per questo motivo, per un messaggio la cui trasmissione ad un sistema destinatario può anche non essere immediata, i wearable più sofisticati, che sono in grado di prevedere la posizione futura, possono mantenere l'informazione localmente, attendendo che il wearable sia più limitrofo al wearable destinatario.

Nonostante questi accorgimenti siano di notevole importanza per favorire per il corretto funzionamento del sistema, è necessario definire anche il fatto che negli ultimi anni, con lo sviluppo di applicazioni come la ricerca vocale, c'è stato un studio per cercare di diminuire la latenza della rete cellulare, portando l'elaborazione dei dati ad un livello efficiente. Questo aspetto, tuttavia, non è indice del fatto che il mondo odierno non abbia più necessità di uno sviluppo nel campo del networking. Per esprimere concretamente quanto detto, si pensi ad un utente che richieda ai propri Google Glass il comando: "OK Glass, invia un messaggio a Mario. Confermata la riunione per questo pomeriggio". Mentre i 3 comandi "OK Glass, invia un messaggio a, Mario" sono gestiti localmente, il contenuto del messaggio richiede un sforzo maggiore per essere identificato correttamente dal cloud; pertanto con l'impiego di una rete cellulare come Long Term Evolution (LTE) l'elaborazione del messaggio avverrebbe molto velocemente, invece che con una connessione di tipo GPRS. Un'alternativa alle reti cellulari commerciali viene rappresentata dal WI-FI e dalla recente Bluetooth Low Energy (BLE), che permettono di creare una rete wireless perfetta per essere disposta al centro del corpo[28]. Il problema, tuttavia, di tali reti è che non oltrepassano il corpo umano, per cui non possono essere impiegate, ad esempio, in un sistema di Wearable Computing che ha la necessità di collegare tramite WI-FI gli arti inferiori con un auricolare[2].

Display.

Si tratta di un altro parametro che è stato ed è oggetto di studio per questi dispositivi, soprattutto per il fatto che la visione di un display per l'utente richiede molta attenzione. In modo particolare i sistemi wearable maggiormente diffusi che interagiscono con l'utente mediante un display sono quelli che ven-

gono definiti come **Head Mounted Display** (in forma abbreviata HMD). Di questi dispositivi, tipicamente presenti sottoforma di casco o di occhiali, ne sono presenti numerose varietà. I principali fattori con cui è possibile farne una distinzione sono il peso, la luminosità, le dimensioni e la forma con cui essi si presentano. Molti di essi stanno trovando il loro impiego nella quotidianità dei propri utenti, con lo scopo non di distoglierli dal mondo reale, ma di fornire un supporto informatico. Gli HMD che possono essere sfruttati quotidianamente aiutano l'utente soprattutto per svolgere operazioni di manutenzione e di riparazione. Trovano, inoltre, impiego anche in ambito medico. Ad esempio per un anestesista, indossare un HMD comporta al fatto che l'utente non debba distogliere lo sguardo dal paziente per osservare un display[28].

I primi dispositivi che si occupavano di questo genere sono nati verso la metà degli anni Novanta. La trasmissione delle informazioni tra i componenti del wearable avveniva mediante fili e non mediante il Bluetooth, in quanto le implementazioni che si appoggiavano su questa rete wireless erano spesso instabili. Per molti anni, si è cercato di sviluppare HMD con **impiego quotidiano** che potessero appoggiarsi sul sistema operativo di Windows, anche se a causa dell'utilizzo dell'interfaccia WIMP l'utente era spesso costretto a prestare l'attenzione dal mondo reale per concentrarsi su quello fisico, distruggendo in questo modo uno dei principali obiettivi per cui sono nati questi sistemi. Ciò che ha portato allo sviluppo gli HMD è sicuramente la maggior capacità elaborativa del cloud, che ha portato a utilizzare come sistema operativo di questi sistemi non solo più Windows, ma anche Android. Tra i più rinomati di questi wearable ci sono i *Google Glass*, che mediante il movimento della testa e un sistema di riconoscimento vocale, permettono di avere delle interazioni con l'utente di brevissima durata, tramite le quali la persona può leggere ed inviare notifiche, consultare la propria agenda, registrare la propria posizione, vedere immagini e tanto altro ancora. Il fatto che questo wearable sia stato progettato per avere delle interazioni brevissime con l'utente è dovuto all'obiettivo di evitare che quest'ultimo distolga la sua attenzione dal mondo reale e da questo ne consegue che la differenza di tempo necessario per l'accesso ad informazioni dei Google Glass rispetto a quelle contenute in un comune smartphone è notevole. Inoltre si tratta di un HMD monoculare, minimizzando in questo modo il peso e le dimensioni e rendendo il sistema maggiormente confortevole[28].

Un'altra categoria di HMD è quella legata alla **realtà virtuale**. I primi HMD in questo contesto sono apparsi all'inizio del 1990, periodo in cui la Virtual Reality ha iniziato a svilupparsi, mentre i primi LCD erano ancora molto ingombranti. Uno dei primi caschi, denominato "*Flight Helmet*" (figura 1.3 (b)⁴), pesava 1.67 Kg e aveva un'area espositiva di neanche 7 cm. Con lo

⁴<http://wcc.gatech.edu/exhibition>

sviluppo degli anni successivi, il peso di questi dispositivi è andato sempre più a diminuire, offrendo nello stesso tempo una vista virtuale di maggiori dimensioni fino ad arrivare all'*Oculus Rift DK1* (figura 1.3 (b)⁵) dei giorni nostri, dotato di una risoluzione 640*480 pixel con un peso che è di circa 4 volte inferiore rispetto al modello citato precedentemente. Ancora oggi, il principale obiettivo rimane quello di ridurre il più possibile il peso della HMD, prestando attenzione a mantenere costante o maggiore il livello di risoluzione della finestra.



(a) Virtual Research's Flight Helmet



(b) Oculus Rift DK1

Figura 1.3: Esempi di HMD nel campo della Virtual Reality

Infine un'ultima categoria in cui possono essere distinti i vari tipi di HMD è quella relativa ai **portable video**. Rispetto agli ambiti citati precedentemente, questo ha visto muovere i suoi primi passi all'inizio del nuovo millennio. I primi che hanno avuto successo erano di dimensioni ridotte, collegati ad un lettore DVD, costituiti da un'autonomia di 2 ore e risalgono ai primi anni del nuovo millennio. Un esempio è rappresentato dal modello *Eyetop Centra DVD bundle* del 2004. In seguito, lo sviluppo ha portato ad appoggiare questi dispositivi ad una memoria di tipo flash, *Moverio BT-200* della Epson del 2015⁶. Alcune delle caratteristiche di questo modello sono la visione binoculare in 3D e una micro-SDHC come memoria per caricare i film e le app, dato che può essere utilizzato anche per applicazione di Augmented Reality. Per chi sviluppa HMD appartenenti a questo campo applicativo l'obiettivo non risulta più quello di ampliare la finestra grafica e la qualità percettiva dell'immagine, quanto più quello di puntare a migliorare la facilità d'uso per l'utente, cercando di mantenere i costi contenuti[28].

⁵<https://www.key4biz.it/oculus-rift-arriva-nei-primi-negozi/158426/>

⁶<https://www.epson.it/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-200>

Sensori.

Tutti i dispositivi wearable, ovviamente, sono dotati di una gamma più o meno ampia di sensori e attuatori, necessari per la ricezione e la trasmissione verso l'utente. Solitamente i sensori che si occupano di captare informazioni fisiologiche sono direttamente a contatto con la pelle o in estrema prossimità. I sensori che, invece, determinano informazioni per la rilevazione del movimento o inerenti ad agenti esterni vengono spesso inseriti in *Accessory Based Wearable*[3]. Solitamente la presenza di eventuali errori nella rilevazione da parte dei sensori è causata dalla mancata adeguata aderenza del wearable al corpo umano.

I sensori utilizzati in sistemi di Wearable Computing possono distingersi in base alla loro occupazione. Esistono, infatti, sensori il cui ruolo è quello di riconoscere e trasmettere al sistema gli input trasmessi dall'utente (come ad esempio quello utilizzato dal **Gesture Pendant** descritto precedentemente); altri sensori invece si occupano di rilevare le condizioni dell'ambiente esterno (come ad esempio i sensori di luminosità, di pressione e di temperatura); altri ancora sono dedicati al monitoraggio della situazione corrente del sistema (ad esempio sono in grado di rilevarne la posizione GPS e l'orientamento).

1.3 Wear I system

I progressi che sono avvenuti nel corso dello sviluppo del Wearable Computing possono essere racchiusi in 2 macro categorie, ovvero in **device-centered** e in **application-centered**.

I **device-centered**, definiti anche **device-driven**, contengono spesso numerose applicazioni, definite attorno ad un wearable. Pertanto possiamo affermare che il centro di un device-driven è il wearable stesso. Da questo ne consegue che tutte le funzionalità di wearable di questo tipo dipendono esclusivamente dalla disponibilità del device. Tali funzionalità, di conseguenza, non possono essere eseguite nel momento in cui la batteria del wearable è esaurita oppure il sistema non può essere indossato[6]. Tra gli esempi più comuni di questi dispositivi abbiamo, ad esempio, i *Google Glass* e l'*iWatch*.

I dispositivi **application-centered**, detti anche **application-driven**, sono invece adibiti prettamente per una specifica applicazione, con la possibilità di condividere le informazioni eventualmente con altri wearable. A differenza dei device-driven, questi dispositivi non nascono quindi per poter essere utilizzati da più applicazioni contemporaneamente o per poter essere estendibili all'uso di nuove applicazioni.[6] Un esempio di application-driven che si sta diffondendo in tutto il mondo è sicuramente il *fitbit*.

Dato che i dispositivi di tipo application-driven dispongono di applicazioni che difficilmente possono cooperare tra loro, man mano che i wearable hanno sempre più preso strada nella mondo, per gli sviluppatori di questi dispositivi è sorto naturale chiedersi se fosse possibile creare dispositivi wearable in grado di cooperare tra loro, operando come estensione degli organi umani. A fronte di questo quesito, sono iniziati gli studi che hanno portato alla definizione e alla realizzazione di quelli che vengono definiti **Wear-I**. Un sistema Wear-I è costituito da un insieme di wearable e da un'unità centrale che si occupa di connetterli, facendoli interagire tra loro, al fine di permettere all'utente di disporre di un maggior numero di dispositivi contemporaneamente. Come per i wearable, i sistemi Wear-I permettono di estendere i sensi umani, e sono caratterizzati dal fatto che non sono dipendenti da una specifica applicazione. Di seguito vengono riportate quelle che sono le principali caratteristiche di un sistema Wear-I:

1. **Eterogeneità.** Questi tipi di sistemi sono dotati di wearable che sono per loro natura diversi tra loro; infatti alcuni di essi possono essere in grado di memorizzare ed elaborare dati, altri invece hanno una complessità tale da poter solamente raccogliere dati. Inoltre essi si distinguono per il livello di interazione che la user interface richiede all'utente che li sta indossando. Per questo motivo, i sistemi Wear-I vengono definiti eterogenei.
2. **Dinamicità.** Si tratta di sistemi in cui il numero di wearable che li compongono può variare in base alle necessità dell'utente.
3. **Flessibilità.** Un Wear-I è flessibile sia per le applicazioni che gli vengono richieste, sia per le modalità con cui vengono eseguite.
4. **Coordinazione.** Per eseguire più funzionalità, è necessario che nell'architettura del sistema sia presente un sistema di controllo con lo scopo di gestire la comunicazione tra i dispositivi, raccogliere e memorizzare i dati provenienti dai vari wearable.

Struttura di un Wear-I System

Un Wear-I può essere definito come un sistema distribuito. La figura 1.4 che segue illustra come può essere riassunta l'architettura di un Wear-I system.

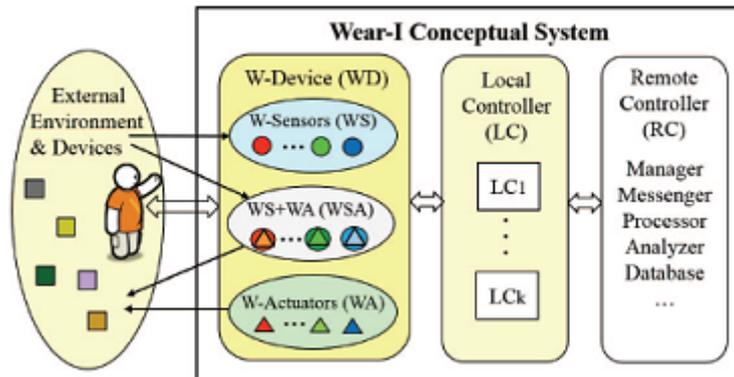


Figura 1.4: Architettura di un sistema Wear-I[6].

Come si può evincere dall'illustrazione, ciascun Wear-I solitamente è costituito da un insieme di wearable per ricevere le informazioni, un insieme di wearable per trasmetterle nell'ambiente esterno e un insieme di wearable che possono occuparsi di svolgere entrambe le mansioni. Per garantire una corretta cooperazione tra i diversi wearable, l'architettura è costituita da un **local controller**. Quest'ultimo, inoltre, è dotato di un apposito database, in cui vengono memorizzate tutte le informazioni precedentemente memorizzate nei database dei singoli wearable. L'elaborazione dei dati immagazzinati e la trasmissione verso l'ambiente esterno al Wear-I system vengono garantiti dal **Remote Controller**. A coprire questo importante ruolo può essere un server o semplicemente il cloud. Anche per questo elemento della piramide strutturale è presente un'area di memoria adibita alla memorizzazione delle informazioni, prima provenienti dal *local database* e poi successivamente elaborate[6].

1.4 Architettura di un Wearable Computing System

Come già citato in un paragrafo precedente, un wearable presenta un'architettura distribuita. Per garantire ciò, esso deve presentarsi come una network di differenti **moduli**, ciascuno dei quali è dotato di una propria unità hardware e quindi costituito da una control unit, da una propria area di memoria, una connessione in rete, ecc... Ogni modulo, che è considerato come la minima parte in cui è scomponibile un wearable, deve svolgere uno specifico compito, quale ad esempio essere predisposto per il voice-recognition oppure per rilevare la posizione satellitare corrente del wearable[29]. Questa struttura consente al wearable di avere un alto livello di astrazione. Fondamentalmente possiamo distinguere i moduli presenti nell'infrastruttura di un wearable in

application modules e **components modules**. I moduli appartenenti alla prima categoria contengono le funzionalità di cui può usufruire l'utente. In fase di startup del sistema, l'application module ricopre il ruolo di controllare che tutto sia predisposto per poter garantire all'utente le funzionalità richieste. Per garantire le funzionalità per cui questi dispositivi sono predisposti, ciascun modulo contiene una molteplicità di **service** e **service-manager**. A loro volta i service sono definiti da più **Needs** e più **Abilities**. Più precisamente, nel momento in cui un determinato service per svolgere la propria mansione ha necessità del contributo di un altro service, interviene il service-manager che associa i needs del service preso in considerazione con le abilities del service che possono essere di ausilio.

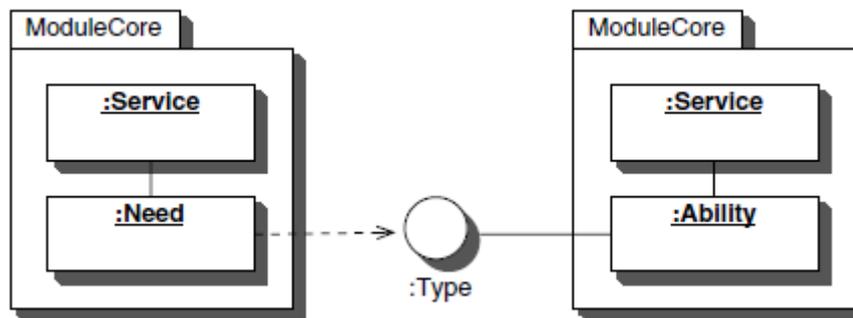


Figura 1.5: Connessione tra needs e abilities di moduli distinti[29].

Per questo motivo, è possibile definire che il ruolo principale del service-manager è quello di permettere la collaborazione tra i vari moduli. Nel momento in cui un service ha disponibili tutte le abilities che richiedeva dagli altri service, esso può essere in grado di rendere disponibili le proprie abilities. Per garantire la cooperabilità tra i diversi moduli, inoltre, è necessario che i dati trasferiti tra di essi siano dello stesso tipo e che corrisponda tra di essi la *quality of service*. Per questo motivo è necessario che ogni service sia presentato da un'opportuna descrizione, in modo tale che vengano fin da principio definite la tipologia di quality-of-service richiesta e offerta. A tale scopo in fase di startup ciascun service definisce la propria descrizione al service-manager di ciascun modulo. Una modalità alternativa, invece, prevede che il service-manager dei moduli si memorizzi le descrizioni dei vari moduli installati. Ciò consente un notevole risparmio di energia. Per comunicare con l'esterno, il service manager deve essere integrato all'interno della rete condivisa con i service-manager degli altri moduli, mediante l'utilizzo di opportuni protocolli. Il service-manager, una volta instaurata la comunicazione tra i service di moduli distinti, non partecipa attivamente, ma ha la facoltà di interrompere la comunicazione in

qualunque momento per poter permettere la connessione dei service protagonisti con altri service. Per questo motivo, la cooperatività tra i vari service viene gestita dai service-manager mediante una configurazione dinamica[29].

Capitolo 2

Wearable Computing e Augmented Reality

Obiettivo di questo capitolo è esporre i principi generali che caratterizzano la Realtà Aumentata per poi, successivamente, evidenziare quali sono le conseguenze che lo sviluppo dei sistemi wearable ha comportato nel mondo dell'Augmented Reality.

2.1 Introduzione all'Augmented Reality

2.1.1 Definizione e cenni storici

Fin dalla preistoria, l'uomo ha avuto la necessità e il desiderio di poter estendere il mondo fisico con delle informazioni aggiuntive. Riguardo a ciò è sufficiente pensare alle pitture rupestri, ai geroglifici egiziani, agli odierni indicatori di velocità posti sulle banchine della carreggiata. Questo sta ad indicare che il desiderio dell'uomo di percepire di più rispetto a quanto offre il mondo reale non è sorto solo negli ultimi decenni[7]. Di certo, però, si può dire che il progresso tecnologico recente permette di recuperare, memorizzare, far visualizzare e trasmettere le informazioni molto velocemente. Proprio grazie a tutto ciò, questo desiderio umano di estendere il mondo fisico con qualcosa di più, ha preso la forma di una tecnologia, definita **Realtà Aumentata**. Una possibile definizione dell'idea di Realtà Aumentata può essere riassunta nella seguente frase: *“A medium in which digital information is overlaid on the physical world that is in both spatial and temporal registration with the physical world and that is interactive in real time”*[7].

Come si può evincere già dalla definizione, Augmented Reality (AR) è caratterizzata da alcuni aspetti cruciali. Per prima cosa l'utente può percepire informazioni create digitalmente, che sono “posizionate” sopra ad un livello

sottostante, che è il mondo reale; inoltre, le informazioni aggiuntive vengono rilasciate in base a dove si trova fisicamente l'utente, il quale può interagire concretamente con esse. Per Realtà Aumentata (detta anche Augmented Reality) si intende quindi la rappresentazione del mondo reale che l'uomo riesce a percepire mediante i propri sensi, a cui vengono sovrapposte informazioni in grado di migliorare il sistema informativo a sua disposizione[36].

La tecnologia AR ha le sue origini applicative in ambito militare agli inizi degli anni Novanta, quando vennero ideati i primi visori indossati dai piloti americani in grado di fornire informazioni sugli obiettivi e le indicazioni sul volo da effettuare. I primi studi, tuttavia, risalgono a molti anni prima, quando nel 1966 il fotografo Heiling Morton brevettò un dispositivo che consentiva allo spettatore di vedere, ascoltare e odorare i cortometraggi, realizzando in questo modo, il primo dispositivo in grado di estendere le comuni capacità sensoriali dell'utente. Solo 2 anni dopo viene realizzato il primo HMD, da parte del professore Sutherland, costituito da un'interfaccia piuttosto semplice e schematica. Nel 1975 il dottorando Kruger Myron realizzò, un dispositivo che, mediante l'utilizzo di un sistema di telecamere e proiettori, era in grado di rilevare i movimenti degli utenti e ritrasmetterli graficamente ad utenti presenti in un'altra stanza. Nonostante questi importanti sviluppi, quella della Realtà Aumentata rimane negli anni '80 una tecnologia poco conosciuta e poco disponibile al mondo a causa dell'elevato costo di realizzazione e per i grandi limiti tecnologici del tempo. Nel 1992 Blaire MacIntyre, Steven Feiner e Doree Seligmann espongono il loro articolo KARMA, mediante il quale viene esposto per la prima volta il concetto che la realizzazione di sistemi in grado di far visionare mondi virtuali possa essere sfruttata per **integrare** al mondo reale, informazioni aggiuntive, piuttosto che sostituirlo. Ed è questo proprio il principio cardine su cui ruota il centro dell'AR¹.

2.1.2 Mixed Reality, Virtual Reality e Augmented Reality

L'obiettivo, quindi, non è quello di sostituire il mondo reale, che può essere riconosciuto dall'utente mediante l'uso dei propri sensi, ma di estenderlo. Questa affermazione implica altri due aspetti principali della Augmented Reality. Il primo è che non si tratta di una tecnologia che si estende solo nel campo dell'ottica, ma anche in tutti gli altri sensi[36]. Il secondo aspetto importante è che l'AR si pone come strato intermediario tra il mondo reale e quello della realtà virtuale.

¹approfondimento:<http://lareaaltaumentata.blogspot.it/p/la-sua-storia.html>



Figura 2.1: Rappresentazione del Virtual Continuum[35].

Il diagramma sopra riportato (figura 2.1) fa evincere in maniera chiara la relazione che intercorre tra il mondo reale e il *Virtual Environment* e in quale posizione è situata la realtà aumentata. Nella *Virtual Reality*, l'obiettivo è quello di immergere l'utente in un mondo che abbia la parvenza di essere reale. In questo ambiente, le informazioni aggiunte dal sistema tendono a sovrastare ciò che l'utente riuscirebbe a percepire normalmente con i 5 sensi. Nell'AR, l'utente continua a percepire normalmente, mediante i propri sensi, l'ambiente in cui è situato, e contemporaneamente percepisce informazioni aggiuntive disposte dal sistema che sfrutta l'AR. Per questo motivo possiamo dire che l'Augmented Reality è un'estensione della Virtual Reality[7]. Infatti un ambiente virtuale soffre del disporre di una limitata capacità nel creare i contenuti e le entità, mentre ciò non si può verificare in un ambiente di realtà aumentata, in quanto tutto ciò che è visibile nell'ambiente esterno è percettibile dall'utente. Ad esempio in VR non si possono utilizzare il senso del gusto o dell'olfatto, a differenza di un mondo di Realtà Aumentata. Inoltre, l'AR presenta un'interfaccia naturale, mediante la quale l'utente può generare input svolgendo gesti ed azioni, come se egli fosse nell'ambiente reale. A questo proposito, lo psicologo statunitense Milgram affermò che la Realtà Aumentata si verifica quando il mondo reale è "aumentato" da entità virtuali e la Virtualità Aumentata è "aumentata" da entità reali[7].

In realtà, è necessario sottolineare anche il fatto che nell'AR le applicazioni e i potenziamenti non sempre coincidono con l'aggiungere qualche cosa, ma potrebbero coincidere, invece, con nascondere all'utente informazioni che non sono necessarie in quel momento. Si tratta sempre di Augmented Reality, in cui in questo caso viene aumentato il grado di semplicità del mondo reale[36].

Inoltre, come si può notare sempre dal diagramma sopra riportato, la Realtà Aumentata può essere vista come una forma di **Mixed Reality**. Un'applicazione di Realtà Mista si ha nel momento in cui le informazioni provenienti dal mondo reale (e quindi non il mondo reale vero e proprio) vengono mescolate con quelle provenienti dal mondo virtuale. Un esempio concreto che rappresenta tale concetto è sicuramente il sistema satellitare con il quale è possibile determinare il prossimo Point of Interest mentre si è in viaggio. Non è possibile, tuttavia, definire il viceversa di quanto definito prima, ovvero non

tutte le applicazioni di Mixed Reality possono essere considerate applicazioni anche di Realtà Aumentata.

2.1.3 Principi cardine dell'AR

Come già si intuisce dalla definizione stessa di AR, per far sì che l'utente percepisca l'unione del mondo reale con quello virtuale in modo da dare la parvenza di essere un ambiente unico, è necessario che avvenga l'allineamento tra i 2 ambienti sia dal punto di vista geografico, che da quello temporale.

L'**allineamento nello spazio** tra il Real Environment e il Virtual Environment dipende principalmente da come il sistema è in grado di percepire la posizione di tutte le entità che sono presenti nel mondo reale e in quello virtuale. Ognuna di esse, infatti, è caratterizzata da un proprio sistema di riferimento.

Oltre ad un allineamento nello spazio, è importante che sia presente anche un **allineamento temporale**. Per analizzare questo aspetto occorre tenere presente che un sistema in cui è presente un ambiente virtuale è soggetta ad una latenza, ovvero l'avvenire degli eventi avviene sempre con un certo margine di ritardo rispetto al tempo ideale, dovuto principalmente al tempo richiesto per l'elaborazione e la trasmissione delle informazioni. Questa latenza in un ambiente di Virtual Reality è molto evidente rispetto che in un ambiente di Augmented Reality, in quanto, in quest'ultimo caso, la latenza totale che si viene a creare è visibile molto bene dall'utente che rimane comunque immerso nel mondo reale. Entrando maggiormente in dettaglio, per far sì che un'applicazione della Realtà Aumentata venga sviluppata correttamente, è necessario che l'applicazione sia in grado di determinare lo stato corrente del mondo reale, determinando di conseguenza lo stato corrente del mondo virtuale, quale verrà fatto percepire all'utente cercando di preservare il concetto di allineamento tra Virtual Environment e Real Environment sopra definito[7].

2.2 Integrazione dell'Augmented Reality nel Wearable Computing

Come già citato precedentemente, l'Augmented Reality permette all'utente di immergersi nel mondo reale, complementato di informazioni aggiuntive, per estendere la realtà percepita normalmente. Per il raggiungimento di questo obiettivo, lo sviluppo del Wearable Computing ha ricoperto un ruolo significativo, consentendo di sviluppare sistemi in grado di migliorare significativamente la qualità della vita. Sono molteplici i campi in cui Wearable Computing e Augmented Reality si sono complementati.

2.2.1 Augmented Memory

Uno degli aspetti che è stato considerato con accuratezza da parte degli sviluppatori di Personal Computer è stata la modalità di accesso alle informazioni da parte dell'utente, cercando di facilitarla al massimo. Nonostante ciò, ancora oggi all'utente di un PC che vuole cercare un determinato file, viene richiesto di ricordarsi il nome del file stesso. Nel caso in cui l'utente non se lo ricordi, la ricerca del documento risulta sicuramente molto rallentata. Questo è solo un esempio che sta ad indicare che, mentre gli studi del passato hanno portato a sviluppare fortemente le capacità dei sistemi tecnologici, è solo negli ultimi anni che si è voluta puntare la lente di ingrandimento su come aiutare l'utente a ricordare informazioni acquisite nel passato in qualsiasi momento della propria vita. Un esempio in cui tutti possiamo esserci riscontrati almeno una volta nella vita è presentarsi ad una festa o ad un convegno e dover ricordarsi il nome di tutte le persone appena conosciute per potere interagire con loro. A differenza di un computer, la memoria dell'essere umano procede per intuizione e riferimenti ad eventi che sono accaduti nel passato. Per questo motivo, sempre più si è sentita l'esigenza di un ausilio per la memoria umana. Negli ultimi anni, questo contributo è stato dato dal **Remember Agent**[9]. Si tratta di una wearable memory, il cui scopo è quello di fornire all'utente che indossa il wearable informazioni che possa considerare utili. Tutto ciò può avvenire grazie ad un display di piccole dimensioni posizionato sulla fronte, mediante il quale l'utente con una rapida occhiata può visualizzare in un rigo la sintesi del contenuto, ad esempio, di una mail o di un qualunque altro documento.

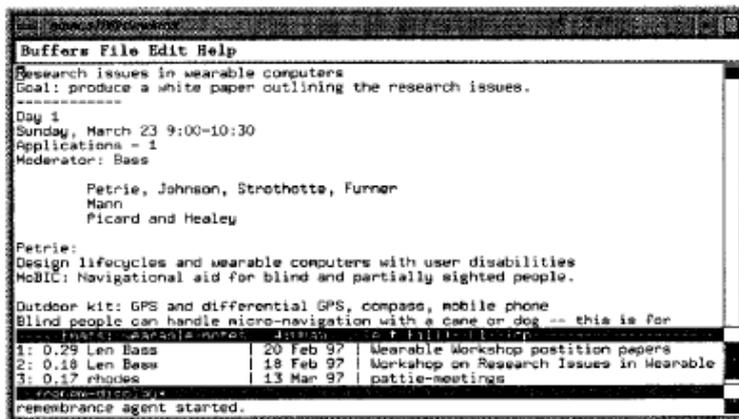


Figura 2.2: Screen-shot di wearable Remember Agent[9]

Lo scopo del Remember Agent, tuttavia, non si ferma solo nel mostrare all'utente le informazioni che potrebbero risultare utili in un determinato

momento, ma anche quello di memorizzare le informazioni, che potrebbero successivamente essere mostrate. Per questo motivo è corretto affermare che il RA (Remember Agent) è di ausilio anche da un punto di vista organizzativo dell'utente. Nel momento, infatti, in cui esso percepisce un'informazione, esso è in grado di fornire un set di informazioni a quest'ultima correlata.

Inoltre, il Remember Agent svolge un ruolo fondamentale anche nel campo dell'**interoperabilità** tra colleghi. Infatti tutti i contenuti che sono considerati condivisibili dall'utente che lo indossa, possono essere visualizzati dai suoi colleghi, senza che l'utente stesso venga disturbato[30].

Implementazione del Remember Agent

Il Remember Agent è caratterizzato principalmente da 2 entità, ovvero un **interfaccia** e da un **motore di ricerca**[30]. La *user interface* svolge il compito di rilevare e inviare le informazioni del contesto in cui si trova l'utente al motore di ricerca, il cui compito è quello di determinare quali possibili linee informative potrebbero risultare utili in quel determinato momento. Per poter far ciò è necessario che tutti i documenti e le note informative siano organizzate mediante un opportuno sistema di **indicizzazione**, grazie al quale le informazioni vengono salvate in maniera sintetica sottoforma di vettore univoco. Per garantire l'univocità dell'informazione, per ogni evento vengono considerati alcuni elementi ben definiti, come ad esempio la data, la posizione GPS, la persona che ha espresso l'informazione e l'argomento. Questi sono gli elementi caratterizzanti che solitamente vengono utilizzati per il discernimento, ma talvolta ne possono essere usati anche altri come, ad esempio, il riconoscimento del volto.

Per indicizzare i dati raccolti da ogni informazione, vengono inizialmente eliminate tutte le parole più comuni e poi da quelle rimanenti si crea un vettore i cui singoli elementi rappresentano le occorrenze delle parole rimaste. Mentre l'utente raccoglie delle informazioni in base al contesto che gli si presenta davanti, queste ultime vengono indicizzate anch'esse e per ognuna di esse viene creato un vettore[9]. Dal confronto tra il vettore appena creato e quelli già creati precedentemente, il Remember Agent associa il contesto corrente con contesti del passato e quello che secondo il Remember Agent è più collegato, viene mostrato mediante una nota informativa all'utente. A coprire questo ruolo è il motore di ricerca. Quello più comunemente utilizzato è *Savant*. Spetta all'utente definire il tempo con cui scandire l'aggiornamento della linea informativa. Solitamente se si utilizza un intervallo di tempo di 5 secondi si permette all'utente di essere sempre al corrente di note che potrebbero essergli utili, senza distogliere eccessivamente la sua attenzione dal mondo reale[30].

A livello implementativo possono essere fatte diverse scelte da parte degli sviluppatori di questa tecnologia; una di queste è disporre il sistema in modo tale che le note informative si presentino in continuazione, che a differenza di una presentazione di notifiche più occasionale, dovrebbe tendere a distrarre meno l'utente da ciò che sta facendo. Il difetto di una rappresentazione costante è che potrebbe portare l'utente a non prestare più attenzione alle note informative dopo i primi giorni di utilizzo. Una considerazione simile va fatta anche per la lunghezza del testo della nota informativa: infatti un numero eccessivo di caratteri rischia di distogliere troppo l'attenzione dell'utente; tuttavia, se il testo si presenta con una finestra di dimensioni eccessivamente ridotte, l'informazione perde di significato[9].

I prossimi obiettivi degli sviluppatori per il Remember Agent sono incentrati nel fare in modo che quest'ultimo possa riconoscere gli eventi appartenenti alla routine quotidiana dell'utente, in modo tale che possa prevedere le note informative più adatte a ciò che la persona sta per compiere[30].

2.2.2 Informazioni aggiuntive nell'ambiente

Scopo dell'Augmented Reality, come già annunciato in un paragrafo precedente, è quello di aggiungere informazioni provenienti da un mondo virtuale a quelle che l'utente percepisce dal mondo reale. In questo contesto molti wearable computing hanno iniziato ad essere applicabili in un contesto di Augmented Reality, permettendo all'utente di acquisire informazioni, non presenti normalmente nel mondo reale. Questo costituisce un prestigioso vantaggio perchè consente di visualizzare informazioni aggiuntive, solo nel caso in cui sia l'utente a volerle ricevere.

Un esempio di sistema che possa consentire ciò, è costituito da un HMD e da un insieme di **tag visuali** apposti sugli oggetti che dovranno presentare poi notifiche aggiuntive. Ognuno di questi tag è univoco grazie ad un proprio ID simile ad un codice a barre, ma costituito da due quadrati rossi che delimitano un insieme di quadrati verdi. Una volta che la fotocamera dell'HMD rileva un tag, si presenta nel display un particolare segnale sopra l'oggetto identificato, con il quale l'utente può comprendere che, se è interessato, può conoscere qualcosa in più rispetto a quello che percepisce in quel momento semplicemente avvicinandosi all'oggetto considerato (figura 2.3²). In tal caso queste informazioni aggiuntive potrebbero essere recuperate dal WWW e i tag posizionati sugli oggetti corrisponderebbero a dei collegamenti ipertestuali in tutto e per tutto[30].

²<http://www.2payattention.it/rekrei-museo-virtuale-mosul/>



Figura 2.3: Esempio di applicazione: in un museo l'interesse dei visitatori per le didascalie è diverso. Se l'utente, dotato del proprio HMD, è interessato a ricevere delucidazioni, può avvicinarsi all'oggetto considerato.

Questo sistema permetterebbe, pertanto, di mostrare all'utente solo ciò a cui davvero è interessato, senza immergerlo in un eccessivo insieme di note, per le quali non mostrebbe lo stesso interesse. Questo sistema di identificazione consente di riutilizzare tag con lo stesso codice identificativo in stanze diverse, ma questo non elimina il problema che il numero di questi identificatori sia limitato. Per questo motivo, se in una stanza sono presenti numerosi oggetti identificabili, è necessario che questi ultimi possano essere riconosciuti singolarmente tramite un ulteriore sistema di rilevamento della loro posizione come, ad esempio, i **beacons**[30]. Si tratta di dispositivi dotati di un ricevitore e di un trasmettitore di raggi infrarossi che, seguendo una determinata periodicità, inviano un segnale che può essere ricevuto dal processore dell'HMD. Quindi grazie al trasmettitore di raggi infrarossi, l'utente può rilevare singolarmente gli oggetti identificabili, mentre tramite il ricevitore di raggi infrarossi e il microprocessore contenuto in ogni singolo beacon, chi si avvicina all'oggetto può rilasciare informazioni aggiuntive a quelle già presenti per gli utenti che visiteranno successivamente l'oggetto considerato.

2.2.3 Riconoscimento di oggetti virtuali

L'estensione del mondo reale con informazioni aggiuntive digitali ha portato all'esigenza di costruire sistemi che fossero in grado di riconoscere tali oggetti virtuali, di maneggiarli e di trasferirli[30]. Recentemente è stata realizzata un'applicazione che potesse soddisfare questa richiesta. Si tratta di un Head Mounted Display, dotato di 2 telecamere con il compito di rilevare sia ciò che si vedrebbe normalmente nel mondo reale sia il movimento delle mani dell'utente che lo sta indossando. Il movimento delle mani viene poi elaborato, per poi comportare una riproduzione nel display dell'HMD. In modo particolare l'implementazione di questo sistema consiste nell'identificare 3 punti ben

definiti di entrambe le mani, che sono quelli indicati dall'immagine. I punti definiti vengono identificati come marcatori (**markers**) [31].

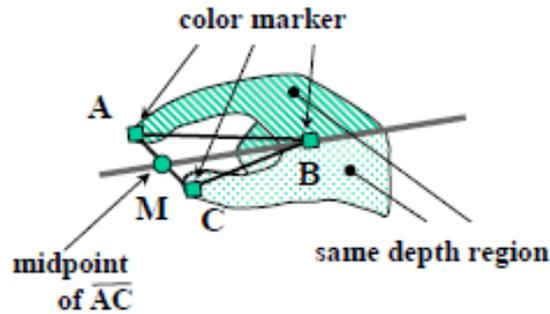


Figura 2.4: Posizione dei 3 markers nella mano [31].

Sono stati scelti i punti A, B e C perchè il movimento dei punti permette di identificare univocamente la gesture che l'utente sta compiendo con la mano, come per traslare un oggetto, oppure afferrarlo tra l'indice e il pollice. La posizione della mano viene identificata considerando il colore della pelle. Le telecamere posizionate nell'HMD estraggono le porzioni della mano che presentano la medesima colorazione (e che quindi si trovano ad un stesso livello di profondit  rispetto all'utente). Ci  che determina la gesture e la direzione della mano sono rispettivamente la distanza tra l'estremit  del pollice e dell'indice (corrispondente al segmento AC), detta **holding status** e la direzione della mediana passante per il punto B e intersecante il segmento AC.

La posizione della mano viene, invece, identificata semplicemente mediante il punto medio del segmento AC. La holding status (il segmento AC viene definito cos  solo se la distanza aureliana tra A e C   inferiore a 3 cm.), ad esempio, permette di riconoscere se l'utente sta tenendo un oggetto o meno.

Una volta che il sistema riconosce che la mano si trova nell'holding status, l'oggetto tenuto dalla mano verr  traslato nella finestra della stessa distanza percorsa dalla mano [31]. Un riassunto del ciclo di funzionamento del sistema di rilevamento di oggetti virtuali pu  essere basato dai seguenti punti:

1. L'immagine corrente della mano viene catturata dalle telecamere dell'HMD;
2. Da questa immagine viene effettuato il monitoraggio dei markers, mediante il quale viene identificata la gesture corrente della mano;
3. Dalla stessa immagine iniziale, viene estratta la regione occupata dalla mano, mediante l'identificazione dell'area dell'immagine che presenta la medesima colorazione;

4. A questa regione viene aggiunta la profondità e l'evento che viene eseguito sull'oggetto (come, ad esempio, una traslazione o una rotazione);
5. L'immagine creata viene poi fatta visualizzare mediante il display dell'HMD.

2.2.4 Riconoscimento del viso

L'unione dei Wearable Computer e dell'Augmented Reality ha permesso non solo di sviluppare sistemi in grado di identificare oggetti virtuali e di permetterne trasformazioni, ma anche di aiutare l'utente nell'identificare le persone e l'ambiente che lo circondano[30].

Un esempio di sistema di identificazione del volto è rappresentato dal sistema progettato da Turk e Pentland. Si tratta di un HMD che permette di identificare il volto di chi è davanti all'utente e di confrontarlo con 8000 volti identificati precedentemente e memorizzati all'interno di un database, impiegando il tempo di circa 1 secondo. L'unica limitazione di questo sistema è che permette l'identificazione di persona solo se è situata davanti all'utente e in una posizione limitrofa a quest'ultimo. Nel caso in cui il sistema rilevi un volto già memorizzato in precedenza, restituisce a video alcune note identificative dell'interlocutore[30].

Un'alternativa al sistema appena proposto potrebbe consistere in un sistema costituito da una wearable camera e da un computer appartenente ad una LAN a cui si interfacciano diversi computer remoti e un database contenente i volti già identificati.

L'algoritmo di funzionamento prevede che la telecamera riprenda l'immagine dell'ambiente esterno all'utente (figura 2.4 (a)). Da questa ripresa, mediante una fase di **face tracker**, viene effettuato il monitoraggio del flusso di immagini, con l'obiettivo di individuare almeno un volto.

Una volta individuato, la fase di **face detector** permette di identificare le peculiarità del volto rintracciato. Durante questo step, prima di tutto viene scansionato il viso in base al colore della pelle (figura 2.4 (b)). Questa operazione, tuttavia, solitamente non restituisce un perimetro ben definito del volto per diverse motivazioni, prima fra tutte la diversa illuminazione che si riflette sul viso. L'immagine presa in considerazione, inoltre, potrebbe presentare parti interne prive di colorazione. Per questo motivo un primo stage permette di riempire i "buchi" dell'immagine (figura 2.4(c)). Se ad esempio non è stata definita la colorazione di un pixel, quest'ultima verrà calcolata (e quindi il pixel verrà colorato) sulla base degli 8 pixel adiacenti (figura 2.5 (d)); un secondo stage, invece, si occupa di definire le dimensioni minime del rettangolo all'interno del quale è contenibile l'intera parte del volto considerata. Questo

perimetro (detto **Minimum Bunder Rectangle**, MBR), permette di eliminare eventuali porzioni dell'immagine che non aiuterebbero ad identificare il volto (come ad esempio i capelli e il collo). Dopo questi 2 stage di ridefinizione dell'immagine, sulla base del MBR, viene identificata l'ellisse che dovrebbe contenere tutti gli elementi caratteristici del viso, con lo scopo di determinarne la posizione.

Infine, come ultimo step di questa fase si effettua una prova di verifica se l'ellisse ottenuta contiene realmente l'immagine di un volto. Per raggiungere una conclusione su questo, vengono considerati alcuni parametri che, se tutti rispettati, garantiscono l'autenticità di un viso. Pertanto viene verificato se la lunghezza del volto è in proporzione rispetto alla sua larghezza; si richiede che la dimensione del volto sia di almeno 40*40 pixel; inoltre la corrispondenza della luminosità dell'immagine rispetto alle caratteristiche del volto (solitamente l'intensità di colorazione della parte inferiore dell'immagine è più chiara di quella superiore); infine, un altro criterio che deve essere soddisfatto è un parametro di "coerenza" geometrica rispetto alla costituzione di un volto, per cui, ad esempio, l'immagine deve essere costituita da 2 o 3 concavità (corrispondenti agli occhi e alla bocca).

Al termine di questo controllo, può essere considerata conclusa la *fase detection*, la quale è seguita dalla **fase tracker**, con lo scopo di verificare se nei fotogrammi successivi a quello appena considerato nella fase precedente, si sono presentati nuovi potenziali volti. In tal caso, si ritornerebbe alla fase di rilevamento. In caso contrario, l'algoritmo termina con l'ultima fase, detta **face recognizer**. Il volto appena rilevato, viene confrontato con tutti quelli presenti nel database. In seguito ad ogni confronto, viene assegnato ai volti registrati un punteggio. Quelli che ottengono il punteggio maggiore sono candidati per un ulteriore confronto, basato sul valore dei pixel della colorazione della pelle. Anche per questa tipologia di confronto viene assegnato un punteggio. Se il volto del database ottiene il punteggio richiesto per garantire la corrispondenza del volto, allora il processore potrà riferire all'utente l'identità del volto riconosciuto (figura 2.4(f))[10]. Qui di seguito viene illustrato un esempio in cui è possibile identificare le varie fasi.

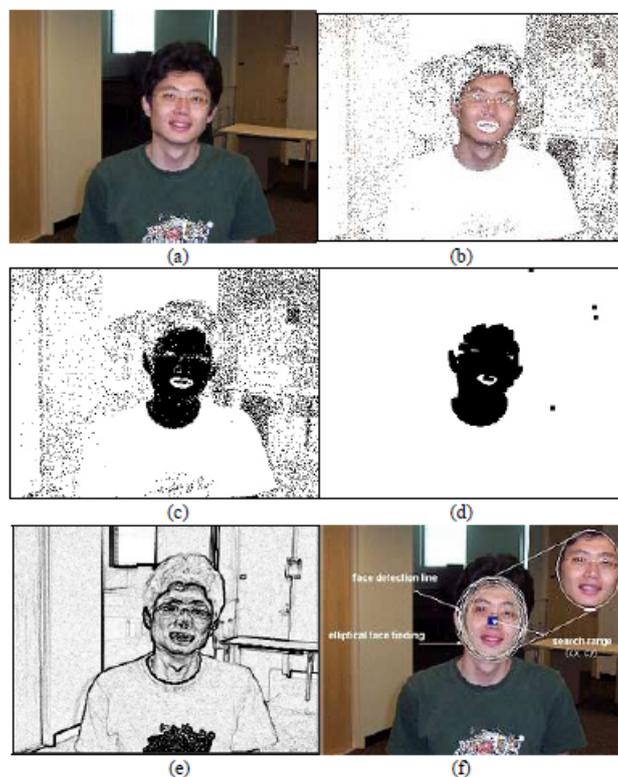


Figura 2.5: flusso per l'identificazione del volto umano[10].

2.3 Seen-for-action e Seen-for-perception

Uno dei fattori che determina l'interazione che si viene a creare tra l'ambiente e l'utente nel momento in cui quest'ultimo indossa un sistema appartenente al Wearable Computing è come la persona percepisce il mondo creato dall'Augmented Reality, e quindi come ne percepisce la **dimensionalità**. Infatti in un ambiente di Realtà Aumentata non è detto che tutto ciò che viene percepito dall'utente abbia 3 dimensioni. Ad esempio gli oggetti virtuali possono essere visualizzati in 2D o in 3D. Ciò può causare il fatto che l'utente faccia fatica, in realtà, ad identificare e a saper interagire con il mondo correttamente, specialmente in ciò che viene percepito dal senso uditivo e da quello ottico.

Pertanto per permettere a chi utilizza un wearable che sfrutta l'AR di determinare correttamente la distanza degli oggetti è necessario applicare alcuni accorgimenti che sono nati dallo studio sulla stereopsi, che è la capacità che hanno tutti i mammiferi di percepire correttamente la profondità, mediante la combinazione delle informazioni che provengono da entrambi gli occhi[7]. Questo è facilmente dimostrato dal fatto che se ci copriamo un occhio con una

mano, facciamo più fatica ad identificare la distanza di un oggetto posizionato davanti a noi. A questa diminuzione di sensibilità rispetto alla dimensionalità siamo soggetti anche quando indossiamo un sistema wearable.

A questo proposito una recente teoria neuroscientifica afferma che la mente dell'uomo adotta meccanismi diversi, a seconda se l'uomo osserva per percepire (**seen-for-perception**) o osserva per agire (**seen-for-action**) [32]. Da questa teoria possiamo comprendere il sistema cognitivo dell'utente che si trova all'interno del mondo dell'Augmented Reality. Per verificare come e quanto ciò potesse influenzare le nostre prestazioni, sono stati effettuati alcuni esperimenti, condotti dalla **Meta Compony**, usando il *Meta 1 Developer kit*.

Il primo consisteva nel chiedere agli utenti che indossavano il wearable di osservare se un determinato oggetto virtuale raffigurato all'interno dell'ambiente dell'Augmented Reality fosse posizionato più vicino o più lontano rispetto ad un piano verticale di riferimento. Agli utenti veniva richiesto anche di sopprimere la distanza che intercorreva tra il target e il piano di riferimento. Ad ogni utente è stato chiesto di affermare la sua opinione sulla distanza del target 10 volte, tenendo presente che la posizione del target rispetto al piano è stata ogni volta modificata in modo casuale. Questo esperimento, inoltre, è stato effettuato ad ogni utente considerando che il piano di riferimento era posizionato rispettivamente a 30, 45 e 60 cm dall'utente. Da questo primo esperimento si è potuto constatare che mediamente l'utente che indossava il wearable riconosceva il target come più vicino rispetto alla distanza reale. Inoltre, si è riscontrato che c'è stata maggior difficoltà nel percepire se il target fosse più vicino o lontano rispetto al piano mano a mano che quest'ultimo occupava una posizione sempre più distante dall'utente. Mediamente i risultati ottenuti dimostrano che la previsione effettuata dall'utente distava di circa 2,5 cm [32].

E' stato, in seguito, eseguito un secondo esperimento con il quale si chiedeva ad ogni utente di cercare di toccare con l'indice della propria mano il centro di un oggetto virtuale (target) utilizzando sempre il *Meta SDK Kit*, grazie al quale poi è stato possibile rilevare le traiettorie percorse dall'indice di ogni persona. Anche in questo caso all'utente è stato richiesto di fare più prove, in cui la posizione del cubo virtuale era diversa. Da questo secondo esperimento, si è potuto notare un netto miglioramento da parte degli utenti nell'identificare la distanza tra il centro dell'oggetto e loro stessi. [32].

Da questi esperimenti, quindi, si è potuta trarre la conclusione che l'utente riesce a percepire la distanza degli oggetti virtuali se è portato ad interagire con loro. Questo porta alla conseguenza che le applicazioni dovrebbero essere predisposte per favorire il **Seen-for-action**.

Oltre a questo, esistono altri accorgimenti che aiutano sicuramente a comprendere con più sicurezza la dimensionalità dell'ambiente all'interno della Realtà Aumentata; per esempio un oggetto virtuale che ne nasconde un altro

viene identificato dall'utente come più vicino a se stesso. Un altro riferimento da rispettare è la coerenza della prospettiva con cui si presentano le entità del mondo in AR. Altri riferimenti che aiutano l'utente sono l'ombreggiatura dei vari elementi, la dimensione con cui essi si presentano, i movimenti e la velocità con cui li compiono (un oggetto che si muove molto velocemente viene riconosciuto come più vicino rispetto ad un altro più lento). Dal punto di vista psicologico, inoltre, nello sviluppare un'applicazione può essere utile considerare il fatto che maggiore è la distanza tra l'utente e l'oggetto che sta osservando, minore è l'attenzione che può dedicare all'ambiente circostante[9].

2.4 Sviluppi futuri

Il mondo del Wearable Computing in questi anni si è quindi sviluppato sottoforma di diverse direzioni, permettendo di migliorare la percezione del mondo esterno da parte di chi indossa i sistemi wearable. Nonostante questo evidente progresso, tuttavia, c'è ancora molto lavoro da compiere, sia per migliorare le applicazioni già realizzate, che per cercare di realizzarne di nuove, che vadano a soddisfare anche settori che non sono stati ancora protagonisti delle ricerche.

Uno tra questi è la sensibilità allo **stato d'animo** dell'utente. Tutti gli scenari che fino ad oggi sono stati coinvolti dal Wearable Computing e che hanno sfruttato appieno l'Augmented Reality sono rivolti al migliorare le prestazioni dell'utente, prendendo come input ciò che caratterizza l'ambiente esterno (come, ad esempio, il riconoscimento del volto umano) e il comportamento tenuto dall'utente (come, ad esempio, nel riconoscimento degli oggetti virtuali all'interno del mondo dell'Augmented Reality). Quello che, invece, deve essere ancora preso in considerazione è lo stato emotivo di chi indossa un wearable che potrebbe portare i wearable, mediante la rilevazione di alcuni fattori fisici (la pressione, la temperatura corporea, il battito cardiaco, ecc..), a regolarsi di conseguenza, a seconda dei valori riscontrati mediante opportuni sensori. Se, ad esempio, il sistema rileva che l'utente ha piacere di non essere disturbato, nel momento in cui riceve un messaggio dovrebbe decidere di attendere un momento più opportuno per farglielo visualizzare oppure riassumerglielo in una riga. Recentemente lo sviluppo in questo settore ha portato alla nascita dei primi HMD dotati di sensori neurologici, ma il lavoro che viene richiesto per utilizzare al meglio i dati percepiti è ancora tanto. Riconoscere lo stato d'animo dell'utente, unito ad altre informazioni (come il giorno e l'ora oppure l'insieme degli appuntamenti della giornata), sarebbe utile per determinare quali sono le operazioni future che l'utente ha intenzione di compiere, portan-

do il wearable ad avvantaggiarsi nel suo compito, per essere poi maggiormente reattivo alle necessità di chi lo sta indossando[30].

Capitolo 3

Wearable Computing e Internet of Things

Questo capitolo, dopo aver introdotto brevemente il concetto di Internet of Things, mira ad evidenziare quali sono le principali conseguenze dovute all'interoperabilità tra l' *Internet of Things* e il *Wearable Computing*, fornendo prima le caratteristiche principali di quello che viene definito *Wearable Internet of Things* e poi analizzando 2 scenari distinti di tale ambiente, nei quali l'utente occupa un ruolo diverso.

3.1 Introduzione all' Internet of Things

3.1.1 Definizione e cenni storici

La rete Internet, al giorno d'oggi, non è più considerabile come una semplice rete che collega i computer al World Wide Web. Questo concetto poteva essere adatto 20 anni fa circa. Negli ultimi decenni, invece, lo sviluppo tecnologico ha portato sempre più ad aumentare il numero di dispositivi che potessero collegarsi ad Internet: laptop, smartphone, tablet hanno iniziato ad essere oggetti più presenti nella nostra vita. Per questo motivo possiamo dire che c'è stata un'evoluzione nella storia di Internet che, inizialmente, lo ha portato da *Internet for computers* ad *Internet of people* (in seguito alla nascita dei social network) e poi, con l'aumento dei dispositivi che sono interfacciabili con la rete Internet, si è giunti a quello che attualmente può essere definito come *Internet of Things*. Secondo Cisco IBSG (Internet Business Solutions Group) Internet of Things può essere definito come il momento in cui a Internet hanno iniziato a essere collegate più cose (o oggetti) che persone[12].

Il primo passo che ha portato allo sviluppo di questa nuova era per Internet risale al 1999, quando nel laboratorio di informatica dell'università di Cam-

bridge venne istituita la *Trojan Room Coffee* che, mediante una telecamera, permetteva ai presenti in laboratorio di verificare la presenza o meno del caffè nella caffettiera, evitando in questo modo agli utenti di alzarsi nel caso in cui la caffettiera fosse vuota. Nel 1990 venne ideato da John Romkey un tostapane che poteva essere acceso e spento tramite un comando dato via Internet e non manualmente. Nel 1997 Paul Saffo, docente all'università di Cambridge, definì l'importanza dei sensori per il futuro, anticipando ciò che sarebbe diventato qualche anno dopo l'IoT. Nel 1999 il termine *Internet of Things* viene fondato da Kevin Ashton, direttore esecutivo dell'*Auto-ID Center*, appartenente al MIT (Massachusetts Institute of Technology). Questo istituto è nato con l'obiettivo di progettare l'architettura di IoT. Sempre nel 1999 è nata la tecnologia RFID (Radio Frequency Identification). Lo sviluppo tecnologico grazie al quale all'inizio del nuovo millennio sempre più oggetti fisici sono stati dotati di tag RFID o tag NFC, ha portato questi dispositivi a poter essere controllati mediante smartphone e tablet, unendo il mondo reale a quello dello cyberspazio, e soprattutto portando il numero di dispositivi collegati alla rete ad essere maggiore del numero di utilizzatori. La nascita pertanto di IoT nasce tra il 2008 e il 2009, anni in cui è stato stimato che mediamente ciascun abitante della Terra potesse essere dotato di almeno un oggetto collegabile alla rete Internet[33].

Durante il *National Intelligence Council. Disruptive Technologies Global Trends 2025*, avvenuto nel 2008, è stata data un'altra definizione di IoT: “*The “Internet of Things” is the general idea of things, especially everyday objects, that are readable, recognizable, locatable, addressable, and controllable via the Internet - whether via RFID, wireless LAN, wide-area network, or other means*”[14]. Gli “**oggetti**” pertanto, che possono fare parte di questa Internet sono i più disparati. Non parliamo più solo di PC, tablets, smartwatch, ecc... Ma alla base della definizione di IoT viene evidenziato il fatto che qualunque strumento che utilizziamo quotidianamente, collegato opportunamente ad Internet (mediante ad esempio tag RFID o NFC) può appartenere a questa nuova realtà, trasformando la connettività alla rete da un principio **any-time, any-where for any-one** ad un principio **any-time, any-where for any-thing**, e portando quindi al centro dell'attenzione sempre più le “cose”, anziché le persone[33].

3.1.2 Architettura generale di IoT

La natura stessa di IoT permette di collegare moltissimi dispositivi tra di loro, creando un flusso di dati consistente che deve essere gestito opportunamente, con l'obiettivo di rispettare numerosi principi (Quality of service, integrità dei dati, privacy nei confronti dell'utente, ecc..), necessari per un

corretto funzionamento del sistema sia dal punto di vista architeturale, che legale. Per raggiungere questo obiettivo, il mondo dei sistemi appartenenti all'IoT segue un'architettura composta da 5 livelli[25]. Partendo dal livello meno astratto (e quindi più vicino all'utente) troviamo:

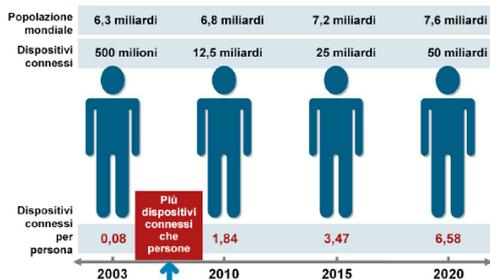
- **Livello percettivo.** Si tratta dello strato grazie al quale vengono recuperati i dati dal mondo fisico mediante **sensori** (ad esempio QR code e barcode). In questo livello i dati raccolti vengono poi sintetizzati in informazioni;
- **Livello di rete.** Permette il trasferimento delle informazioni dal livello percettivo a quello del middleware, cercando di garantire la **riservatezza** delle informazioni;
- **Livello di middleware.** Scopo di questo strato è quello di mantenere le informazioni in un database e di prendere decisioni sulla base dei processi di calcolo ottenuti alle informazioni ricevute;
- **Livello di applicazione.** Si occupa di interfacciare le informazioni elaborate al livello sottostante alle applicazioni che possono usarle;
- **Livello Business.** Dalle informazioni ottenute, si ricavano statistiche, osservazioni e conclusioni che influenzano le decisioni sia del singolo utente sulle scelte quotidiane, che quelle delle aziende per uno sviluppo futuro.

Oltre a questa struttura architeturale, ciò che garantisce una comunicazione tra i dispositivi sono i protocolli. I più utilizzati sono **MQTT** e **CoAP**. MQTT (MQ Telemetry Transport) è un protocollo a scambio di messaggi, di tipo *publish-subscribe*, in cui il broker è responsabile del corretto arrivo dei messaggi ai client destinatari. CoAP (Constrained Application Protocol) è, invece, basato su UDP ed è strutturato su una disposizione client-server[25].

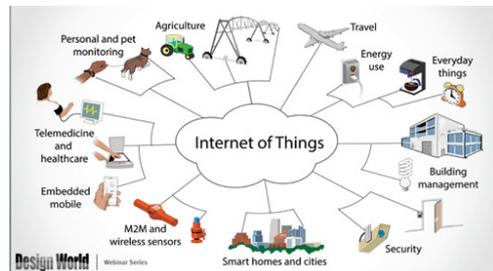
3.1.3 Applicazioni e criticità presenti in IoT

Secondo le stime entro il 2020 i dispositivi che apparterranno all'*Internet of Things* saranno circa 50 miliardi (figura 3.1 (a)[12]) e sono moltissime le applicazioni su cui essi possono spaziare appartenenti a diversi settori. Nel campo della **vita domestica** potrebbe essere utilizzato per rilevare, ad esempio, i consumi energetici o dell'acqua, per monitorare le vibrazioni sismiche all'interno dell'appartamento o per rilevare la concentrazione di anidride carbonica nell'aria. Sempre in un ambito di **smart home** si pensi ad esempio alla possibilità di realizzare un impianto domotico all'interno della propria

abitazione (per esempio si potrebbe accendere il condizionamento prima di arrivare a casa oppure permettere una ricalibrazione automatica della luminosità degli ambienti in base alla rilevazione della luce solare presente nelle stanze)[24]; un altro settore che può trarne vantaggi è quello della **medicina** nel quale, ad esempio, si potrebbero tenere controllati costantemente i parametri dei pazienti; nell'ambito della **sicurezza** sono tantissime le possibili applicazioni come, ad esempio, il poter monitorare oggetti preziosi all'interno di un museo; nel campo dei **trasporti** sarebbe possibile, inoltre, poter conoscere la situazione delle strade, eventuali incidenti presenti nel percorso e i veicoli potrebbero comunicare tra di loro[13]; oppure si consideri l'importanza che l'IoT può ricoprire nel settore dell'**agricoltura**: un sistema di irrigazione che sia in grado di rilevare le aree del terreno maggiormente inaridite e quali meno consentirebbe un inferiore spreco di acqua e un risparmio economico considerevoli per l'agricoltore[24]; un ambiente IoT, inoltre, può permettere di semplificare la **ricerca** di oggetti smarriti, fornendo informazioni sulle ultime posizioni occupate dall'oggetto smarrito[13]; applicazioni dell'IoT si riscuoterebbero anche nel **settore industriale**, nel quale, ad esempio, permettendo una gestione semplificata del magazzino di un supermercato, mediante sensori che permettano di rilevare la quantità dei prodotti presenti negli scaffali.[24] Naturalmente le applicazioni ricoprono tanti altri settori. I principali vengono illustrati nella immagine sottostante (figura 3.1 (b)¹).



(a) Confronto dispositivi e popolazione



(b) Settori di applicazione per IoT

Figura 3.1: Quantità e tipologia di dispositivi appartenenti all'Internet of Things nei prossimi anni.

Nello sviluppo di queste applicazioni, tuttavia, sarà necessario tenere conto di numerosi aspetti che potrebbero non rendere troppo lineare il progresso di questa realtà in futuro (quando il numero di dispositivi che ne faranno parte sarà maggiore) se non affrontati fin da ora. Le principali criticità riguardano i seguenti concetti:

¹<http://www.designworldonline.com/tips-on-designing-for-the-internet-of-things/>

1. **Scalabilità.** Per scalabilità si intende la possibilità di aumentare il numero di dispositivi appartenenti alla rete, senza che ciò comprometta il corretto funzionamento dei dispositivi stessi[13];
2. **Interoperabilità e standardizzazione.** Sempre di più dispositivi dell'IoT diversi tra loro saranno chiamati a cooperare; a causa della loro eterogenea natura, la sfida in futuro consisterà nell'utilizzare uno standard che li accumuni[26]. Il raggiungimento di un distinto livello di standardizzazione consentirebbe alle applicazioni di poter essere aggiornate con nuove funzionalità, senza che ciò causi la perdita delle funzioni già presenti[25];
3. **Big data.** L'aumento del numero di dispositivi nell'IoT provoca inevitabilmente anche un aumento della quantità dei dati forniti e delle loro dimensioni;
4. **Latenza.** L'estensione dell'IoT richiederà una maggiore capacità di aggregazione e di elaborazione dei dati al cloud, che potrebbe portare a forti ritardi, nel caso in cui il cloud stesso non fosse in grado di garantirla[26];
5. **Mobilità.** Buona parte dei servizi forniti dal mondo IoT dipende dall'allacciamento dei dispositivi ad un *middleware*; la sfida, pertanto, consiste nel fare in modo che l'utente possa continuare a beneficiare delle applicazioni anche durante uno spostamento[25];
6. **Comunicazione affidabile.** La comunicazione tra i dispositivi è spesso gestita mediante reti wireless, nelle quali non sempre è facile garantire connessioni sicure tra i vari host, al riparo da possibili intercettazioni[13];
7. **Consumo energetico.** I sensori utilizzati all'interno dei dispositivi e l'elaborazione dei dati acquisiti richiede un elevato dispendio energetico[13];
8. **Privacy.** La sicurezza e il rispetto della privacy delle proprie informazioni personali acquisite dai dispositivi devono essere tutelate non solo durante la comunicazione tra i dispositivi, ma anche durante l'aggregazione e l'elaborazione delle stesse (operazioni che tipicamente avvengono nel cloud);

Anche se la presentazione delle criticità non risulta pienamente esaustiva, si può affermare che le considerazioni appena presentate costituiscono la maggior parte delle problematiche che sono da affrontare per garantire un progresso lineare nel mondo dell'Internet of Things.

3.2 Sistemi di Wearable Computing per IoT

3.2.1 Caratteristiche dei dispositivi

La nascita e lo sviluppo dell'Internet of Things ha portato e sta portando le persone ad ambientarsi in un mondo in cui, non più solo loro, ma anche gli oggetti che utilizzano possono connettersi ad Internet. Lo sviluppo altrettanto recente dei sistemi appartenenti al Wearable Computing è stato influenzato notevolmente da questa nuova era dell'Internet, portando alla nascita sistemi in cui i valori che vengono percepiti dai sensori, possono poi essere immagazzinati nella rete Internet. Questa complementarità è andata sempre più a fondersi creando quella che viene definita come **Wearable Internet of Things**, (WIoT)[17].

I sistemi che fanno parte del WIoT presentano alcuni aspetti in comune. Ad esempio tutti i dati che vengono ricavati dai wearable vengono memorizzati nel **cloud**, ed è proprio questo che consente di parlare di WIoT. Questo, infatti, permette all'utente di accedere ai propri dati in qualunque momento, ovunque egli sia. Pur essendo un aspetto positivo, c'è da tenere in considerazione il fatto che mantenere ingenti quantità di dati nel cloud ne rallenta l'analisi successiva. Questo rallentamento, inoltre, potrebbe essere ulteriormente determinato dal livello di sicurezza e crittografia con cui questi dati vengono memorizzati[15]. Infatti quelli della **sicurezza** e della **privacy** sono aspetti di cruciale importanza, in quanto con lo sviluppo del WIoT ognuno di noi presenterebbe sulla rete Internet un'elevata quantità di dati personali, molto maggiore rispetto a quella che possiede attualmente. Pertanto nello sviluppo di sistemi appartenenti a questo campo, l'ambito della sicurezza per la prevenzione dei dati personali è un aspetto che deve sempre essere considerato[15].

Altra caratteristica comune di questi dispositivi è che per memorizzare i dati è necessaria una **connessione** (tipicamente di tipo Bluetooth) tra essi stessi e un elemento che faccia da middleware, come lo smartphone, il quale poi consentirà la memorizzazione dei dati nel cloud mediante una rete Wi-Fi o GSM. La connessione tra i singoli dispositivi del Wearable Computing e lo smartphone, che in molti scenari applicativi moderni è garantita dal Bluetooth, potrà subire miglioramenti se gestita da **Bluetooth Smart**. Nato nel 2007, si tratta di una nuova forma di Bluetooth, che è stata sviluppata con l'intento di essere usata in nuove applicazioni appartenenti al settore del fitness (per esempio per misurare la velocità mentre si va in bicicletta), della medicina (per la misurazione del tasso di glucosio presente nel sangue), della vita quotidiana e molti altri ancora, riducendo il consumo energetico dei dispositivi che lo utilizzano per connettersi vicendevolmente[18].

3.2.2 Differenti applicazioni di Wearable Internet of Things

Negli ultimi anni, una delle principali caratteristiche dei sistemi appartenenti al Wearable Computing è la possibilità di connettersi ad Internet, per cui possiamo dire che la tipologia di applicazioni che fanno parte del Wearable Internet of Things è vastissima; tuttavia, possiamo accumularle in quattro categorie principali:

- **Monitoring patch.** Si tratta di wearable di piccola dimensione (spesso usa e getta, o comunque caratterizzati da una durata limitata), che stanno prendendo piede soprattutto nell'ambito medico, per determinare lo stato della salute fisica dei pazienti, senza che essi debbano presentarsi in ospedale o in ambulatorio. Un esempio concreto è rappresentato dal sistema *Zio Patch*: si tratta di un adesivo impermeabile che, posizionato sopra il cuore, trasmette in modo wireless l'elettrocardiogramma di chi lo sta indossando ad una stazione ricevente. E' nato nel 2009 e viene tuttora già utilizzato per determinare la presenza o meno di aritmie nelle persone che lo indossano; ha una durata di circa 2 settimane[13].
- **Environmental Monitoring.** Sono moltissimi i sistemi che sono dotati di sensori con lo scopo di determinare le condizioni dell'ambiente esterno (temperatura, pressione, concentrazione di anidride carbonica nell'aria, ecc...). Di questi solo una parte, tuttavia, ricoprono il ruolo anche di sistemi wearable, come ad esempio *Sensordrone*. Questo dispositivo comunica allo smartphone/tablet utilizzato dall'utente i dati raccolti mediante Bluetooth 4.0 [13];
- **Wearable dotati di sensori neurologici.** Si tratta di dispositivi appartenenti al Wearable Computing che vengono impiegati per rilevare dati sul funzionamento della mente umana con i quali è possibile, per esempio, rilevare le emozioni e lo stato d'animo di chi li indossa. Esempi di sistemi di questa tipologia sono *NeuroSky* e *MyZeo*[13];
- **Wristband, Armband e Smartwatch.** Gli *smartwatch*, apparsi nel 2012, svolgono la funzione di orologi "intelligenti", in quanto dotati di molte funzionalità aggiuntive al comune orologio, avvisando ad esempio l'utente dell'arrivo di una nuova notifica nello smartphone (un esempio di applicazione è l'*Apple Watch*); con *wristband* intendiamo dispositivi appartenenti al Wearable Computing dotati di sensori (come accelerometro, misuratore di pressione, ecc...) che consentono, ad esempio, di monitorare il proprio stato di salute mentre si fa attività fisica (ad esempio il *Fitbit*)[13]; l'*armband* consiste sempre in un dispositivo che, dotato di diversi sensori (come ad esempio giroscopio, accelerometro, rilevatore

di velocità e sensori EMG che misurano gli impulsi del sistema nervoso), permette di riconoscere le gesture eseguite dall'utente. Un esempio nato nel 2015 dai laboratori della *Thalmic Labs* è il Myo armband, già citato in un paragrafo iniziale;

3.2.3 Ruolo dell'utente

Anche se in questo contesto sono gli oggetti i protagonisti tramite i quali le informazioni provengono e vengono trasmesse, anche l'utente ricopre un ruolo importante. In realtà l'utente nel mondo dell'*Internet of Things* può ricoprire 2 ruoli distinti e non sovrapponibili. Può, infatti, essere il protagonista della ricezione dei dati, ovvero i dati (che poi verranno trasformati in informazioni per poi essere portati in rete) si riferiscono all'azione effettuata o a parametri fisiologici della persona che lo indossa (ambito che si riferisce ad applicazioni relative alle condizioni di salute o all'attività sportiva). L'utente, tuttavia, in opposizione al caso precedente, potrebbe ricoprire il ruolo di utilizzatore del wearable per una determinata applicazione (scenario implementabile nel settore della domotica ad esempio). In base a quale ruolo ricopre l'utente che indossa il wearable, cambia leggermente l'architettura e soprattutto il livello di interazione tra utente e wearable.

3.2.4 Caso 1: L'utente interagisce con l'applicazione, ma non è il protagonista.

In questo caso l'utente è coinvolto nello scenario come colui che, in seguito ad aver ricevuto una serie di dati, sceglierà quale operazione eseguire in merito ad essi. Pertanto non è coinvolto in alcun modo nella prima parte, ovvero non è responsabile della tipologia dei dati raccolti. Quello che andrà a fare l'utente, quindi, è interagire con oggetti intelligenti disposti nell'ambiente mediante l'utilizzo di un dispositivo *wearable attivo* (come, ad esempio un paio di smartglass), che differiscono dai wearable passivi (come un qualunque wearable patch sensor) per il fatto che richiedono l'interazione con l'utente[16]. Uno schema identificativo della situazione è il seguente:

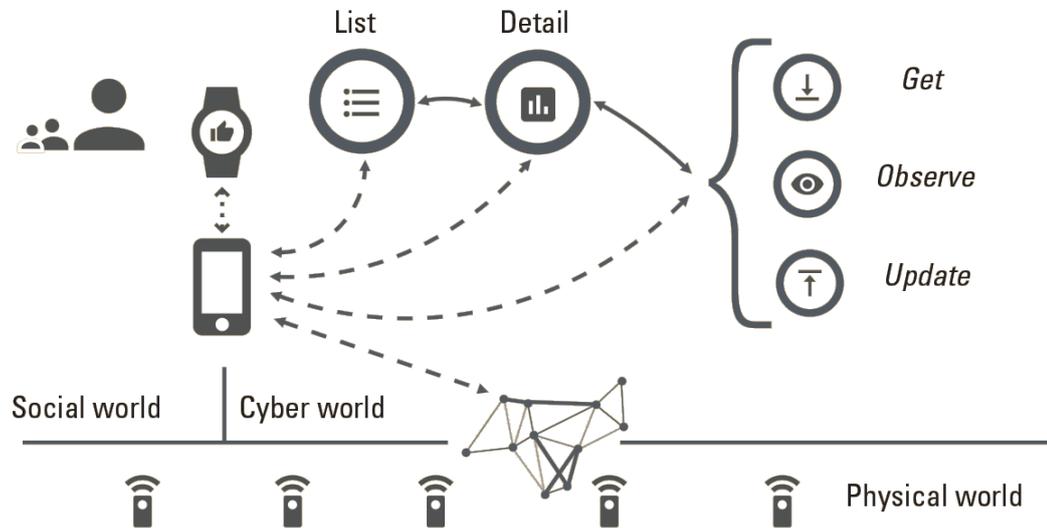


Figura 3.2: Relazione tra il wearable, l'utente e il middleware (smartphone)[16]

Gli elementi principali che sono coinvolti pertanto sono: uno o più dispositivi appartenenti al mondo del **Wearable Computing** (per esempio un paio di smartglass o uno smartwatch); gli **oggetti intelligenti**; infine lo **smartphone** (o qualunque altro dispositivo che svolga il compito di middleware), che ricopre un duplice ruolo: oltre a quello di consentire all'utente di poter visualizzare e operare con wearable e oggetti virtuali contemporaneamente, è anche ponte tra i mondi fisico, virtuale e sociale, permettendo ai dati ottenuti di essere memorizzati in rete.

Di seguito vengono riportati gli step con cui un utente può interagire in uno **Smart Environment**[16].

1. L'utente farà partire un'applicazione installata sullo smartphone di suo interesse, progettata appositamente per poter interagire con gli *smart object*;
2. Lo smartphone esegue una fase di *discovery*, durante la quale ricercherà gli *smart object* che sono presenti nell'ambiente. Tra tutti quelli che identifica, tuttavia, prenderà in considerazione solo quelli che l'utente può ottenere, visualizzare e modificare (**get**, **observe** e **update**). Questa fase di scoperta dei dispositivi viene garantita dal protocollo CoAP; infatti l'applicazione, mediante un'operazione di GET effettuata in multicast, riceve da ogni smart object le proprie risorse.

3. Una volta che lo smartphone ha ottenuto tutte le risorse, l'applicazione dello smartphone le farà visualizzare sul wearable indossato dall'utente;
4. L'utente potrà poi visualizzare in una successiva schermata del proprio wearable i dettagli di ciascuna risorsa, dopodichè ne sceglierà una di suo interesse;
5. A questo punto la schermata del wearable presenta, mediante una *user interface* specifica, le diverse funzionalità che l'utente può svolgere con la risorsa selezionata (le operazioni che l'utente può eseguire possono essere di ottenimento delle informazioni relative allo stato dell'oggetto intelligente (**get**, avviene mediante un'operazione GET del protocollo CoAP), di osservazione sulle modifiche dello stato dell'oggetto (**observe**, avviene mediante un'operazione di GET del protocollo CoAP) o di modifica dello stato dell'oggetto (**update**, mediante un'operazione POST o PUT)). L'utente sceglie una delle opzioni che gli vengono proposte.
6. In base al tipo di opzione scelta (get, observe o update), l'applicazione dello smartphone fa partire una rispettiva richiesta (gestita sempre mediante il protocollo CoAP), rivolta verso lo *smart object* selezionato nel passo 4.
7. L'oggetto intelligente risponde alla richiesta ricevuta dalla *smartphone application*.
8. Una volta che i risultati ottenuti vengono elaborati dall'applicazione, sul wearable compare la nuova schermata con le informazioni in risposta alla richiesta effettuata.

3.2.5 Caso 2: L'utente è il protagonista delle informazioni attraverso il suo stato e le sue azioni

A differenza del caso precedente, qui l'utente non è chiamato ad interfacciarsi direttamente con un wearable, ma è il wearable che fornisce dati (che poi diventeranno informazioni) sulla base di ciò che fa l'utente. Per questo motivo possiamo dire che i wearable di cui si parla in questo caso sono di tipo *passivo*. E' come se l'utente non fosse a conoscenza di aver addosso un sistema Wearable Computing.

Si tratta di uno scenario che potrà avere importanti sviluppi in diversi ambiti, soprattutto in quello medico (ad esempio lo sviluppo di uno scenario di questo tipo per un medico significherebbe controllare la salute dei propri pazienti senza che essi debbano necessariamente presentarsi in ambulatorio per farsi visitare). In tale contesto l'architettura rimane analoga rispetto al caso

in cui l'utente non era protagonista. I dati che vengono prelevati mediante i wearable dotati di opportuni sensori, vengono trasferiti attraverso la rete Bluetooth ad un middleware (come ad esempio uno smartphone), il quale provvede poi ad immagazzinare le informazioni ottenute nel cloud. Quest'ultimo trasferimento avviene solitamente per mezzo della rete WiFi[17].

Nello sviluppo di questi sistemi, è necessario che vengano considerati alcuni aspetti. In modo particolare è necessario che i wearable, che in questo caso sono costituiti da sensori posizionati in regioni del corpo specifiche, (per questo sono detti **Wearable body area sensor**), siano posizionati in modo tale da garantire una rilevazione costante dei dati, altrimenti la valutazione perderebbe logicamente di significato. Esempi di wearable più comuni a questo contesto sono, ad esempio, i patch sensor, fitbit, armband, ecc... La dimensione dei wearable determina, conseguentemente, quella dei sensori di cui sono dotati. Inoltre, per lo stesso motivo, i wearable non presentano al loro interno processori in grado di sintetizzare e filtrare i dati in modo accurato. Per questo motivo, spesso, prima di memorizzare le informazioni nel cloud, determinate applicazioni installate nel middleware possono effettuare una prima elaborazione dei dati ricevuti dai sensori. Inoltre lo sviluppo del paradigma Mobile Cloud Computing tende ad ottimizzare il cloud computing con lo scopo di ridurre il più possibile il dispendio di energia del dispositivo che svolge il ruolo di middleware[17].

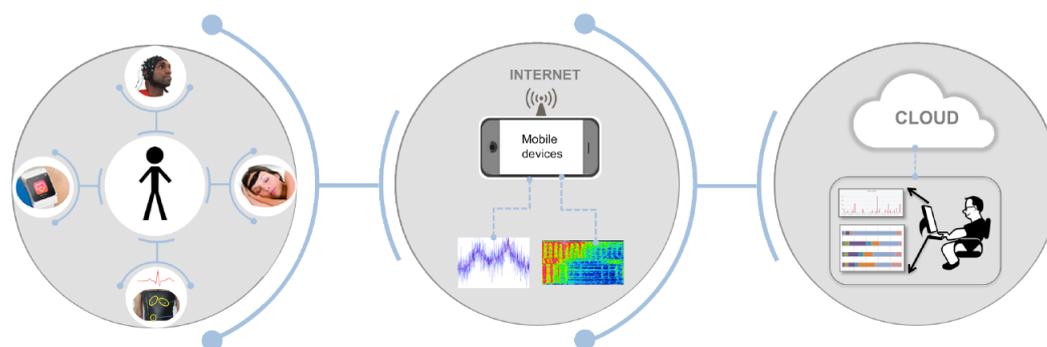


Figura 3.3: Struttura dell'architettura: relazione tra wearable passivi, middleware (smartphone) e cloud[17].

3.2.6 Uno sguardo rivolto al futuro

La relazione che intercorre tra il mondo del Wearable Computing e l'Internet of Things è molto più recente rispetto a quella che lega Wearable Computing all'Augmented Reality. Si tratta di una realtà pertanto che, seppur abbia già avuto alcune forme di sviluppo (una tra queste è ad esempio la possibilità

di utilizzare *Bluetooth Smart* al posto del Bluetooth 4.0), ha davanti a sè la possibilità di estendersi e migliorare nel campo applicativo.

In modo particolare scenari che saranno oggetti di studio sono quello della **privacy** (la quantità di dati personali per ogni utente è destinata ad aumentare), **connettività**, **ergonomia** e **design** (settore a cui deve essere data la giusta importanza, considerando che i dispositivi presi in esame saranno sempre di più alla portata e alla vista di tutti)[17].

Capitolo 4

Sicurezza nel Wearable Computing

In questo capitolo si vuole porre l'attenzione sul tema della sicurezza e della privacy sui dati che vengono percepiti, elaborati e poi condivisi in rete. Per questo motivo, dopo un breve inciso sulla sicurezza di una rete come concetto generale, si esplicheranno le cause che portano gli sviluppatori di dispositivi appartenenti al Wearable Computing a prestare attenzione a questo principio e quali soluzioni possibili possono essere messe in atto.

4.1 Definizione di sicurezza

Per sicurezza di una rete si intende il ramo informatico che ha l'obiettivo di preservare i dati presenti nella rete dagli attacchi provenienti da malintenzionati, che sfruttano tali informazioni per ricavarne privilegi personali. In modo particolare sono 3 i principi che devono essere tutelati: il principio di **integrità** prevede che i dati che vengono ricevuti e trasmessi in rete debbano essere consistenti, in una forma completa e corretta; il principio di **disponibilità** richiede che la reperibilità dei dati debba essere garantita nei luoghi, nei tempi e con le modalità previste dagli utenti che hanno la facoltà di utilizzarli; infine deve essere rispettato anche il principio di **riservatezza** per il quale l'accesso ai dati deve essere limitato solo a chi ne ha l'autorizzazione, nel rispetto della persona a cui i dati stessi si riferiscono.

Gli attacchi alla sicurezza prendono il nome tecnico di **malware** (Malicious Software) e si possono presentare in modi distinti. Solitamente quelli che sono maggiormente sfruttati dagli hacker sono i seguenti:

- **Worm.** Questa tipologia di attacco proviene dalla rete e per infettare l'host si appoggia ad un suo software. La tutela di un host rispetto a

questo tipo di malware è complessa da gestire in quanto il *Worm*, una volta che ha fatto accesso al dispositivo, è in grado di auto-eseguirsi ed auto-replicarsi, propagandosi autonomamente verso altri dispositivi della stessa rete.

- **Virus.** In questo caso il malware si presenta nell'host sottoforma di oggetto proveniente dalla rete ed entra in esecuzione in seguito ad un'operazione dell'utente. Anche il Virus ha la capacità di auto-replicarsi.
- **Cavallo di Troia.** Questo attacco prende questo nome dal fatto si trova contenuto nascosto all'interno di un software che l'utente utilizza nel proprio host.
- **Denial of Service.** La *Negazione di servizio* riduce le performance dell'host su cui viene eseguito, attraverso l'invio costante e prolungato di pacchetti contenenti informazioni inutili. Ciò comporta ad una riduzione del *throughput* (quantità di informazioni trasmesse per unità di tempo agli altri host) e un dispendio di energia inutile (per la ricezione dei pacchetti)[19].
- **Eavesdropping.** E' il fenomeno che avviene quando l'hacker tenta di intercettare la comunicazione tra 2 host della stessa rete, con l'obiettivo di fare proprie le informazioni personali degli utenti. Si tratta di un caso specifico di un attacco di tipo *record-and-playback*, per cui i pacchetti che gli host si inviano vengono intercettati, memorizzati e utilizzati in un secondo momento[19].
- **Man-in-the-middle.** Anche in questo caso vengono intercettate le informazioni, ma con il fine di modificarle per ottenere dei benefici, senza che il destinatario (a cui sono destinate le informazioni) si accorga dell'intrusione.

Come si può notare, sono moltissime le modalità con cui un malfattore può limitare il corretto funzionamento di una rete, agendo contro la disponibilità, la riservatezza e l'integrità dei dati.¹

4.2 La sicurezza in uno scenario di Wearable Computing

Lo sviluppo che c'è stato e che ci sarà nel campo del Wearable Computing fa aprire automaticamente gli occhi sull'importanza di approcciarsi sempre di

¹http://gdangelo.web.cs.unibo.it/pool/didattica/PROGRETI_15-16/02-reti-1516-nozioni-di-base.pdf

più ad un livello di sicurezza personale e dei propri dati consistente ed affidabile. Infatti l'integrazione del Wearable Computing nel mondo dell'Augmented Reality ha portato ad abbassare la soglia della privacy, specialmente per i non utenti. A questo proposito basta pensare all'esistenza di smartglass che permettono la registrazione di video o di fotografare ciò che l'utente vede. Considerando il progresso sostenuto in questi ultimi anni nel Wearable Internet of Things, è piuttosto semplice pensare che saranno sempre di più le informazioni che potranno essere disponibili nel cloud e quindi vulnerabili ad attacchi esterni.

Il fatto che la rete di cui fanno parte i wearable sia spesso **eterogenea** (e che quindi i dispositivi presenti siano diversi per quanto riguarda prestazioni, costo, ecc...), il fatto che i vari host possano essere connessi alla rete attraverso diversi provider, l'utilizzo di una connessione di tipo *wireless* ad altre considerazioni, fa sì che il progettare sistemi con un livello di sicurezza efficace non sia affatto semplice. Anche la **scalabilità** e l'**estensione** che caratterizzano queste reti sono aspetti da considerare. Una rete dotata di molte unità è sicuramente più vulnerabile rispetto ad una meno estesa. Ad esempio ad un livello più esterno della rete (costituito quindi dai wearable dotati di sensori, come i *Wearable Body Area Sensor*) i dispositivi per trasmettere i dati tra di loro utilizzano un'architettura *Machine-to-Machine*, nella quale gli hacker possono facilmente intromettersi con attacchi come *eavesdropping* e *Denial of Service*. Ad un livello intermedio del sistema abbiamo il vero fulcro della rete, in cui tutte le informazioni dedotte dai wearable sensor vengono trasferite per arrivare al cloud. La quantità di dati che attraversa quest'area è elevatissima e, proprio per questo motivo, uno dei principali attacchi di cui è soggetta è il *Denial of Service* che, aggiungendo il numero di pacchetti trasferiti all'interno della rete, fa diminuire le prestazioni del nodo. Infine il cloud, area della rete in cui tutti i dati giungono sotto forma di informazioni, è la parte più predisposta ad attacchi, anche perché è quella dove vengono spesso effettuate elaborazioni dei dati raccolti. Pertanto è necessario munirsi di diverse predisposizioni con l'obiettivo di garantire la protezione ai dati (nei concetti di integrità, riservatezza e disponibilità)[13].

Nell'ambito della riservatezza dei dati ricade una delle sfide più grandi ancora aperte nel mondo dei Wearable Internet of Things, ovvero quello della **privacy**, aspetto da considerare sotto diversi fronti. Uno tra questi è la privacy che deve essere garantita durante la percezione e il raccoglimento dei dati da parte dei sensori disposti nei wearable che indossiamo. Si tratta, pertanto, di privacy a livello di **dispositivo** che può essere gestita, ad esempio, impiegando un buon algoritmo per tutelare le informazioni personali (ad esempio le credenziali di accesso dell'utente). Un secondo fronte è relativa alla privacy che deve essere garantita durante la **comunicazione tra i wearable**; a

questo proposito i dati personali possono essere tutelati con l'applicazione di sofisticati algoritmi crittografici. Oltre alla privacy effettuata sui dati originali, è necessario considerare anche il fronte di quelli derivati in seguito alla fase di **elaborazione** e memorizzati nel cloud[13].

Come si può intuire, quindi, sono molteplici i fattori da considerare per cercare di garantire agli utenti del Wearable Computing la sicurezza all'interno della rete. Di fronte alle varie problematiche, sono state trovate alcune soluzioni con le quali è e sarà in futuro più facile cercare di proteggere i propri dati. Tuttavia queste soluzioni non devono far abbassare l'attenzione verso il progresso. Owen O'Connor, presidente del capitol irlandese dell'ISSA (*Information System Security Association*²) afferma a tal proposito: "You could stop the rest of your IT and pull all your resources into security for a year, and still not be 100% secure". Quelli che seguono sono alcuni dei diversi meccanismi che possono essere adottati per preservare il mondo del Wearable Computing dai malware.

4.2.1 Agire sui dati acquisiti: Obfuscation e Diversification

Uno dei primi passi per appropiare il Wearable Internet of Things ad una maggiore sicurezza nella comunicazione tra i Wearable stessi è quello compiuto dalla **Obfuscation**.

Si tratta di una tecnica di crittografia mediante la quale l'informazione viene *offuscata*. Ai dati iniziali vengono aggiunte informazioni, che rendono molto più complicata l'analisi del codice da parte di chi cerca di intromettersi nella comunicazione. Nella realtà, quindi, questa tecnica di offuscamento potrebbe essere applicata a livello di sistema operativo e API (Application Programming Interface). I Wearable Internet of Things, infatti, sono costituiti da microprocessori dotati di un sistema operativo e di API. Applicando l'offuscamento all'interno delle procedure delle API si rallenta il lavoro dell'hacker. L'*Obfuscation* può essere anche applicata a livello di protocollo. Offuscare un protocollo significa rendere non chiari gli elementi che caratterizzano la comunicazione che il protocollo gestisce (come ad esempio la lunghezza dei pacchetti). Questo porterebbe a rendere complicata l'identificazione del protocollo (utilizzato per la comunicazione dai wearable della rete) da parte del malware. Identificando il tipo di protocollo impiegato per la trasmissione delle informazioni, infatti, l'hacker sarebbe in grado di entrare nella comunicazione per poi inviare pacchetti anche lui ai vari nodi senza che questi si accorgano dell'intrusione (questo tipo di attacco prende il nome di *IP-Spoofing*)[20].

²<http://www.issa.org/>

Un'altra tecnica è quella della **Diversification**. In questo caso i dati raccolti dai wearable vengono distribuiti ad altri nodi della rete. Ciascun nodo della rete è caratterizzato da una memorizzazione dei dati distinta. Il termine di questa modalità per preservare le informazioni deriva proprio dal fatto che l'accesso alle informazioni viene gestito diversamente da ciascun wearable. In questo contesto solo i wearable che appartengono alla stessa rete hanno un accesso privilegiato, mediante il quale possono accedere più velocemente alle informazioni contenute da un wearable della loro stessa rete.

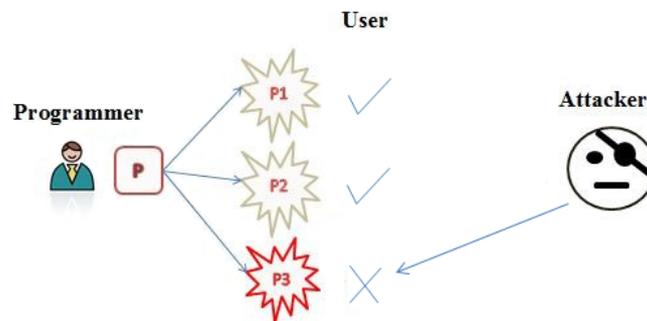


Figura 4.1: **Diversification**: l'attacco mediante il quale vengono catturate le informazioni dal wearable 3 non è efficace per recuperare le informazioni dai wearable 1 e 2 [20].

Questo comporta ad una situazione di disagio per chi vuole attaccare un sistema di questo genere, in quanto solitamente un malware è impostato per riuscire ad essere efficace contro più dispositivi che presentano un'implementazione analoga. Con la tecnica della diversificazione, invece, l'hacker con una singola tipologia di attacco può essere in grado di recuperare le informazioni da un solo host, proprio per via della struttura interna diversa di ciascun nodo della rete. Anche la tecnica della diversificazione può essere applicata agli scenari visti con l'*Obfuscation*. Utilizzando tale metodo a livello di API e sistema operativo (unito alla tecnica di offuscamento), ad esempio, si rende ciascuna tipologia di attacco efficace per una minima (se non nulla) parte dei wearable presenti in rete[20].

L'applicazione di entrambe le tecniche dell'**Obfuscation** e della **Diversification** presenta molteplici vantaggi nel mondo del Wearable Computing. Sono, infatti, tecniche che non richiedono un elevato dispendio energetico e che non aggiungono *overhead* nella fase di produzione. Il fatto, inoltre, che siano entrambe tecniche che possono amplificare il livello di sicurezza dei sistemi embedded senza la necessità di applicare alcun tipo di aggiornamento nei wearable stessi e che sia possibile differenziare ad un livello consistente i nodi della rete, rendendola eterogenea (rendendo efficaci i malware solo per una parte

della network), ha portato queste tecniche ad essere ampiamente considerate per lo sviluppo di questi sistemi.

Un'ultima considerazione su queste 2 soluzioni è che, come si è potuto intuire analizzando i casi applicativi, nessuna delle 2 tecniche è in grado di rimuovere totalmente la vulnerabilità dei sistemi Wearable Computing. Il loro principale impiego deve essere rivolto a cercare di rallentare l'operato degli hacker, rendendo molto più complesso il loro recupero delle informazioni personali altrui.

4.2.2 Aggregazione sicura dei dati

L'architettura della rete di cui fanno parte i dispositivi wearable costringe spesso a considerare il fatto che l'elaborazione dei dati percepiti dai sensori non può essere effettuata all'interno dei singoli wearable, in quanto la loro capacità computazionale deve essere rivolta principalmente a ricevere dati dall'esterno; per questo motivo i dati vengono trasmessi al cloud, dove effettivamente ne avviene l'elaborazione e l'aggregazione. A tal proposito si può affermare che il cloud costituisce una piattaforma necessaria ed utile per il mantenimento dei dati, consentendo agli utenti di accedere alle informazioni rapidamente; tuttavia, il fatto che la gestione del cloud non sia determinata dalla presenza di un protocollo definito, ci pone davanti al problema di preservare le informazioni personali da qualunque tipo di attacco che possa essere effettuato durante il trasferimento delle informazioni dai wearable al cloud e dal cloud al *Data Receiver*. Per questo motivo sono stati ideati alcuni algoritmi crittografici, con lo scopo di preservare la privacy degli utenti.

Il primo è definito **Secure Multiparty Computation**. Questo algoritmo crittografico ha lo scopo di creare una funzione pubblica $f(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n)$, mediante la quale i vari host della rete $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ possono comunicare tra loro le proprie informazioni $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ senza conoscere quelle degli altri utenti appartenenti alla stessa rete. Per arrivare a conoscere le informazioni originali degli altri utenti è necessario che ogni nodo della rete interagisca con gli altri membri della rete. Da ciò ne consegue la presenza di *overhead*, che è direttamente proporzionale al numero di host della rete. Il numero di giri di comunicazione è pari alla profondità della rete. Sono numerose le varianti che usufruiscono di questo tipo di crittografia come punto di partenza anche se, tuttavia, l'overhead consistente e la complessità computazionale richiesta non lo rende un algoritmo efficiente per preservare i dati in una Wearable Internet of Things.[21]

Un'altra soluzione, che può essere utilizzata in alternativa al *Secure Multiparty Computation*, è il **Fully Homomorphic Encryption**. Questo metodo permette al cloud di ricevere i dati in forma criptata e di elaborarli diretta-

mente nel dominio criptato. Questo garantisce una maggiore riservatezza dei dati provenienti dai wearable. L'utente infatti trasferisce le informazioni verso il destinatario mediante la chiave pubblica di quest'ultimo. Le informazioni vengono memorizzate all'interno del cloud, dove il destinatario può in seguito, utilizzando la propria chiave privata, accedervi. Questo tipo di crittografia omomorfa consente di fare operazioni di addizione e moltiplicazione sui dati cifrati all'interno del cloud, garantendo un maggiore livello di sicurezza contro gli attacchi mirati al centro della rete.

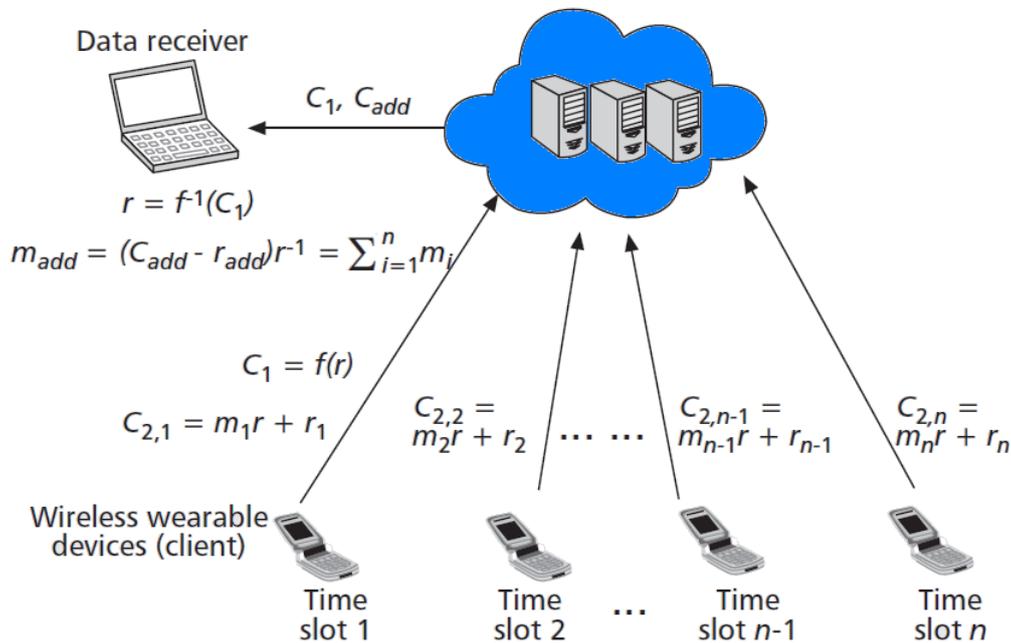


Figura 4.2: Le operazioni di addizione e moltiplicazione consentono di prestare una maggiore riservatezza ai dati[21].

Anche da questo tipo di crittografia sono state sviluppate più proposte alternative di metodi crittografici (ad esempio quello sviluppato da Dijk prevede che le operazioni di addizione e moltiplicazione possano essere effettuate solo utilizzando numeri interi). Questo metodo presenta un costo computazionale che, seppur inferiore rispetto a quello del *Secure Multiparty Computation*, è comunque eccessivo per essere impiegato in una rete con un numero elevato di host.

Sono stati definiti in questi anni altri algoritmi di crittografia omomorfa con l'obiettivo di preservare i dati degli utenti durante il trasferimento delle informazioni dal wearable al cloud; il principale limite, tuttavia, da cui essi sono caratterizzati, è il costo computazionale troppo elevato rispetto alla capacità computazionale di cui gli host sono dotati. Si può dire, pertanto, che

le soluzioni fino ad ora trovate non garantiscono il livello di riservatezza (in rapporto al costo necessario per metterli in atto) ricercato[21].

4.2.3 Autenticazione, autorizzazione e interoperabilità

Un aspetto che aiuta a preservare la riservatezza dei dati personali dagli attacchi dei malfattori è fare in modo che le informazioni relative alla propria **privacy** siano preservate mediante l'**autenticazione**.

Per autenticazione dell'utente si intende la tecnica mediante la quale il sistema è in grado di garantire il regolare accesso ai dati da parte di un titolare autorizzato. La riservatezza delle informazioni, inoltre, è tutelata anche da una corretta **gestione delle identità** che possono accedere ai dati. Con questo termine si indica un processo mediante il quale si garantisce che la comunicazione che un nodo della rete sta per intraprendere con un altro nodo sia autentica, ossia che l'host che sta dell'altra parte della rete sia un wearable con buone intenzioni. I principi di autenticazione e gestione delle identità, se rispettati, consentono a qualunque sistema (e quindi anche ad un dispositivo appartenente al Wearable Computing) di apportare un livello di sicurezza maggiore, rendendo più complesso qualunque accesso non autorizzato o l'analisi del traffico in una rete con le relative conseguenze che essi comporterebbero (come ad esempio nel caso di un attacco *man-in-the-middle*)[34].

I principi di **autenticazione** e di **Management Identity**, se implementati correttamente, costituiscono un piedistallo piuttosto sicuro per permettere un lavoro di **interoperabilità** sia tra wearable-wearable, sia tra wearable-human e anche sul piano human-human. Quest'ultimo caso, ad esempio, consentirebbe a 2 o più utenti, che indossano i propri wearable, di poter collaborare sul luogo di lavoro. A questo proposito sono state sviluppate le idee per due scenari applicativi distinti.

Una tra queste consiste nell'*Autorizzazione per prossimità*. Si tratta di un meccanismo mediante il quale è possibile garantire cooperabilità tra gli utenti grazie al fatto che essi possono autorizzarsi l'un l'altro per lo svolgimento delle proprie mansioni. Ad esempio un medico può autorizzare l'infermiere di turno ad eseguire una lastra ad un suo paziente. L'infermiere quindi potrà accedere alle informazioni personali del paziente solo dopo aver ricevuto questo tipo di autorizzazione. Viene definita *Authorization by proximity* perchè l'utente riceve l'autorizzazione per accedere ai dati se e solo se si trova in prossimità di un utente che possiede il privilegio di accesso alle informazioni. Quindi un utente che inizialmente non possiede il privilegio di lettura e di modifica dei dati altrui, può ricevere tali autorizzazioni da un altro che già li possiede ma che evidentemente è impossibilitato ad utilizzarli (perchè, ad esempio, ha entrambe le mani occupate). Per mettere in atto questo contesto è necessario,

pertanto, che ciascuna applicazione che solitamente richiede l'autenticazione da parte di un utente sia consapevole di quali funzionalità possono essere gestite anche dagli utenti che indossano un wearable mediante il quale ricevono l'autorizzazione da parte dell'utente possessore dei privilegi. Un semplice modo di conferire l'autorizzazione potrebbe essere mediante l'utilizzo di tag RFID. L'utente principale, in questo caso, seleziona all'inizio dell'utilizzo dell'applicazione i tag dei wearable degli utenti che potranno ricevere il privilegio di autenticazione. Per garantire una maggiore sicurezza sui dati, questi ultimi possono essere crittografati. In questo caso tutti e solo gli utenti con il diritto di accesso ai dati possiedono la stessa chiave per accedere alle informazioni. Questo sistema così strutturato consente quindi di raggiungere una maggiore cooperazione, sulla base della fiducia vicendevole degli utenti.[34]

Un altro scenario applicativo che si appoggia sul principio di *autenticazione* è quello per cui un utente può utilizzare i dati privati percepiti da altri wearable di altre persone. Anche in questo contesto si arriva ad uno stretto livello di cooperazione, che richiede la totale fiducia tra gli utenti, oltre ad un meccanismo di autenticazione tra i wearable. In questo caso il meccanismo di autenticazione tra wearable è analogo a quello che avviene durante il collegamento tramite Bluetooth tra 2 dispositivi: è ottenuta, pertanto, tramite l'utilizzo di una chiave segreta e da un confronto tra i dispositivi stessi (definito *challenge-response*) nel quale il dispositivo richiedente invia la chiave che viene verificata dal wearable responsabile dell'autenticazione. In caso di autenticazione affermativa, i ruoli dei dispositivi si invertono. Se anche nel secondo caso la verifica della chiave segreta termina con successo, allora i 2 wearable si dicono *paired*. Il meccanismo di autenticazione, quindi, in questo caso è determinato soprattutto dalla segretezza della chiave[34].

4.2.4 Direzioni future nell'ambito della sicurezza

Quelli che sono stati presentati costituiscono alcuni dei metodi che aiuteranno le persone nel preservare i propri dati personali dagli attacchi degli hacker. L'assoluta sicurezza dei propri dati, tuttavia, non è un obiettivo realistico: per quanto un algoritmo di crittografia o un sistema di autenticazione possano sembrare efficienti ed efficaci, non si può essere certi che questi non possano essere superati da un malware progettato da una mano più esperta. Per questo motivo le direzioni future in questo settore saranno sempre rivolte sia ad un miglioramento delle tecniche già identificate (ad esempio nell'ambito della crittografia), che alla ricerca di nuovi metodi di autenticazione dell'utente e dei dati, tenendo sempre in considerazione le caratteristiche piuttosto limitate (come ad esempio la capacità di elaborazione dei processori) dei dispositivi che fanno parte del *Wearable Internet of Things*.

Conclusioni

I *wearable system* rappresentano senza dubbio un elemento della tecnologia moderna e futura che contribuirà sempre più, sottoforma di diverse applicazioni, ad estendere la realtà che percepiamo con i nostri sensi e ad agevolare l'interazione e la cooperazione tra gli utenti e l'ambiente in cui si trovano. Un'analisi approfondita effettuata inizialmente su questa tipologia di dispositivi, mi ha portato a considerare le realtà che, insieme a quella del *Wearable Computing*, stanno evolvendo di pari passo. In seguito a questo studio, infatti, sono arrivato ad una considerazione, che inizialmente non avevo delineato, ovvero che quello del *Wearable Computing* è un mondo che non è nato e non si è sviluppato autonomamente, ma che è sempre stato fin da subito fiancheggiato da più realtà (tra le quali le principali sono quella dell'*Augmented Reality* e quella dell'*Internet of Things*), nelle quali sta riuscendo, grazie al rapido sviluppo tecnologico, a dare un prestigioso contributo. Infatti la nascita e la diffusione di molti dispositivi tecnologici permette all'utente che li indossa di percepire informazioni aggiuntive, mentre altri gli permettono di comunicare con altre persone che indossano anch'esse wearable.

Ma lo sviluppo di questi tre ambienti non si ferma solo a questo. L'utilizzo, infatti, di questi dispositivi può portare anche ad unire le due realtà (AR e IoT), portando gli elementi del *Wearable Computing* a fungere da intermediari. In questo caso le informazioni percepite da un ambiente di *Augmented Reality* possono essere condivise ad altri host della *Wearable Internet of Things*. Ritengo di poter dire che questa progressione congiunta è destinata, fortunatamente, ad avere lunga durata; infatti, nonostante questi tre scenari abbiano avuto la loro origine applicativa in momenti storici diversi (Thorpe e Shannon idearono il primo *wearable computing system* nel 1961; i primi visori per scopi militari risalgono all'inizio degli anni Novanta; la nascita dell'IoT è stimata tra il 2008 e il 2009), gli studi e gli sviluppi che li vedono protagonisti attualmente li stanno portando ad essere integrativi l'un per l'altro.

Un aspetto da evidenziare, tuttavia, è che sia la *Realtà Aumentata* che l'*Internet of Things*, a differenza della realtà del *Wearable Computing*, potrebbero avere un'esistenza autonoma; per fare un esempio non è detto che un oggetto che estenda la realtà debba essere necessariamente essere un weara-

ble (è infatti sufficiente pensare che l'AR sia una tecnologia nata prima del Wearable Computing); tuttavia, anche osservando gli scenari applicativi presentati nelle sezioni precedenti, è inevitabile affermare che sia l'AR che l'IoT in questi anni hanno avuto modo (e lo avranno sempre più in futuro) di svilupparsi anche grazie al contributo dei wearable. A questo proposito, si pensi ad esempio alla differenza consistente che ci può essere tra uno *Smart Environment* in cui sono presenti wearable ed uno gestito unicamente da telecomandi o smartphone. Oppure si riconsideri il contesto dell'infermiere del pronto soccorso che si ritrova a dover soccorrere un ferito ricevendo e trasmettendo le informazioni attraverso degli smartglass, anziché un telefono. Ciò che fa la differenza in entrambi i contesti è la presenza o meno di un ambiente *hands free* e avere entrambe le mani libere permette all'utente di essere maggiormente disponibile alla cooperazione con gli altri utenti. Pertanto questo sta a significare che, seppur sia AR che IoT siano due scenari che apparentemente potrebbero essere indipendenti dal *Wearable Computing*, si possono ottenere risultati più performanti se i loro componenti si presentano sottoforma di wearable.

Questa visione positiva, pertanto, deve essere di stimolo alla ricerca per cercare di garantire un equilibrato sviluppo di queste tecnologie, cercando di rispettare sempre i criteri di integrità, riservatezza e disponibilità dei dati che vengono acquisiti. Con la diffusione dei dispositivi appartenenti al *Wearable Computing* saranno sempre di più, infatti, il numero di wearable sensor in grado di percepire dati dall'ambiente esterno e/o dall'utente che li indossa, il che porterà ad aumentare l'estensione dell'IoT stessa, da cui ne consegue una maggior vulnerabilità agli attacchi provenienti dal mondo esterno. Questo è dovuto al fatto che l'ambiente che si viene a formare è destinato sempre più ad ampliarsi, richiedendo un livello sempre maggiore di scalabilità, il che rende, conseguentemente, sempre più difficile garantire un livello di standardizzazione consistente tra i dispositivi. A questo proposito le scoperte più recenti (come ad esempio il fatto che l'utente percepisca meglio la profondità degli oggetti virtuali se viene rispettata un'ottica di tipo Seen-for-action anziché Seen-for-perception) costituiscono sicuramente una risorsa basilare, anche per poter garantire uno sviluppo più lineare e produttivo del Wearable Computing.

Per questo motivo, a conclusione della mia tesi, posso affermare che lo studio effettuato mi ha portato ad essere maggiormente consapevole della profonda relazione che intercorre tra *Wearable Computing*, *Internet of Things* e *Augmented Reality*, e a sostenere il fatto che lo sviluppo e l'integrazione di queste tre realtà, uniti alla ricerca nell'ambito della sicurezza e della privacy, possono effettivamente portare a modelli di cooperazione tra le persone e di complementarità tra la capacità dei dispositivi e l'intelligenza umana.

Ringraziamenti

A conclusione di questa tesi, voglio ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato a portare al termine questo percorso universitario. Prima di tutto voglio ringraziare i miei genitori, che mi hanno sostenuto con pazienza e sostegno in questi anni e durante lo sviluppo di questa tesi. Ringrazio il Prof. Alessandro Ricci e l'Ingegnere Angelo Croatti per la loro disponibilità e l'attenzione mostrate durante la stesura di questo lavoro. Un ringraziamento sentito va ad Alfredo, Manuel, Gabriele, Dario e Mattia, compagni di facoltà con i quali ho avuto il piacere e l'onore di studiare e svolgere dei progetti in questi tre anni che poi mi hanno portato ad ultimare questo percorso con l'ideazione di questa tesi.

Bibliografia

- [1] Thad Starner, *The Challenges of Wearable Computing: Part 1*
- [2] Thad Starner, *The Challenges of Wearable Computing: Part 2*
- [3] Attila Reis, Oliver Amft, *Design Challenges of Real Wearable Computers*
- [4] Samuel Mann *Wearable computing as a means for personal empowerment*
- [5] Jianhua Ma, Mike Flynn *"Forget-me-not": Intimate Computing in Support of Human Memory*
- [6] Mik Lamming, Runue Huang *Wear-I: A New Paradigm in Wearable Computing*
- [7] Alan B. Craig *Understanding Augmented Reality. Concepts and applications.*
- [8] Andrey L.Gorbunov, Boris Eliseev, Andrey Kaurov, Aleksandra Gorbunova *Augmented Reality for Driving Simulators*
- [9] Bradley J. Rhodes, *The wearable remembrance agent: a system for augmented memory*
- [10] Jong Bae Kim, *A personal Identity Annoation Overlay System using a Wearable Computer for Augmented Reality*
- [11] Yoshiyuki Kojima, Yoshihiro Yasumuro, Hiroshi Sasaki, Ichiro Kanaya, Osamu Oshiro, Tomohiro Kuroda, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara, *Hand Manipulation of Virtual Objects in Wearable Augmented Reality*
- [12] Dave Evans, *Internet of Things*
- [13] Surapon Kraijak, Panwit Tuwanut *A survey on Internet of Things architecture, protocols, possible applications, security, privacy, real-world implementation and future trends*

-
- [14] Melanie Swan, *Sensor Mania! The Internet of Things, Wearable Computing, Objective Metrics, and the Quantified Self 2.0*
- [15] Joseph Wey, *How Wearables Intersect with the Cloud and the Internet of Things*
- [16] Simone Cirani, Marco Pitone, *Wearable Computing for the Internet of Things*
- [17] Shivayogi Hiremath, Geng Yang, Kunal Mankodiya, *Wearable Internet of Things: Concept, Architectural Components and Promises for Person-Centered Healthcare*
- [18] Joseph Decuir, *Introducing Bluetooth Smart Part II: Applications and updates.*
- [19] Haowen Chan, Adrian Perrig, *Security and Privacy in Sensor Networks*
- [20] Shohreh Hosseinzadeh, Sampsa Rauti, Sami Hyrynsalmi and Ville Leppänen, *Security in the Internet of Things through Obfuscation and Diversification*
- [21] Jue Zhou, Zhenfu Cao, Xia Olei Dong, Xia Odong Lin, *Security and Privacy in Cloud-Assisted Wireless Wearable Communications: Challenges, Solution and, Future Directions*
- [22] Mohamed Abomara, Geir M. Koen, *Security and Privacy in the Internet of Things: Current Status and Open Issues*
- [23] Steve Mann, *Smart Clothing*
- [24] P. Suresh1J. Vijay Daniel, Dr.V.Parthasarathy, R.H. Aswathy *A state of the art review on the Internet of Things (IoT) History, Technology and fields of deployment*
- [25] Ala Al-Fuqaha, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, Mohsen Guizani, Moussa Ayyash, *Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications*
- [26] Rae Earnshaw, Mohan de Silva, Peter Excell *Ten Unsolved Problems with the Internet of Things*
- [27] Kalpesh A. Popat, Priyanka Sharma, *Wearable Computer Applications A Future Perspective*
- [28] Thad Starner, *Wearable Computing Meeting the Challenge*

-
- [29] Martin Bauer, Bernd Brugge, Gudrun Klinker, Asa MacWilliams, Thomas Reicher, Christian Sandor, Martin Wagner, *An Architecture Concept for Ubiquitous Computing Aware Wearable Computers*
- [30] Thad Starner, Steve Mann, Bradley Rhodes, Jerey Levine, Jennifer Healey, Dana Kirsch, Roz Picard, Alex Pentland, *Augmented Reality Through Wearable Computing*
- [31] TYoshiyuki Kojima, Yoshihiro Yasumuro, Hiroshi Sasaki, Ichiroh Kanaya, Osamu Oshiro, Tomohiro Kuroda, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chinara, *Hand Manipulation of Virtual Objects in Wearable Augmented Reality*
- [32] Stefano Baldassi, *Depth Perception and Action in Wearable Augmented Reality: A Pilot Study*
- [33] Louis Coetzee, Johan Eksteen, *The Internet of Things – Promise for the Future? An Introduction*
- [34] John Lindström, *Security challenges for wearable computing*
- [35] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, Fumio Kishino, *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*
- [36] Ronald T. Azuma, *A Survey of Augmented Reality*