

Alma Mater Studiorum · Università di Bologna

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea in Scienze di Internet

SISTEMI SERVIZI
APPLICAZIONI
DI
PROSSIMITA'

Relatore: Prof.
Marco Roccetti

Presentata da:
Giuseppe Scuglia

Sessione
III
Anno Accademico
2010/2011

Dedica

Alla mia famiglia

Indice

INTRODUZIONE	6
1. Storia dei sistemi wireless	8
1.1 Vantaggi	10
1.2 Svantaggi	11
2 Classificazione delle reti.....	12
2.1 PAN(Personal Area Network).....	12
2.2 WPAN (Wireless Personal Area Network).....	13
2.3 WLAN	15
2.3.1 Topologie WLAN	16
2.3.2 Vantaggi delle WLAN	17
2.3.3 Svantaggi delle WLAN.....	17
2.3.4 Futuro WLAN.....	18
2.4 Bluetooth	18
2.4.1 Caratteristiche Tecniche.....	19
2.4.2 Architettura	20
2.4.3 Standard Bluetooth	23
2.4.4 Futuro Bluetooth	25
2.5 Wi-Fi (Wireless Fidelity)	25
2.5.1 Tipo di copertura.....	26
2.5.2 Vantaggi.....	27
2.5.3 Svantaggi	28
2.5.4 Classi di Wi-Fi	28
2.5.5 Futuro del Wi-Fi	30
2.6 LMDS.....	31
2.7 MMDS.....	31
2.7.1 Stato attuale.....	32
2.8 IBurst	32
2.9 WiBro	33
2.10 HiperMAN.....	33
2.11 WiMAX.....	34

2.11.1 Standard IEEE 802.16.....	35
2.11.2 Caratteristiche WiMAX.....	37
2.11.3 Architettura livello MAC.....	38
2.11.4 Architettura livello PHY.....	40
2.11.5 Futuro WiMAX.....	42
2.12 LTE - Long Term Evolution.....	44
2.12.1 Confronto con le tecnologie precedenti.....	46
2.12.2 Trasmissione OFDM.....	47
2.12.3 Trasmissione OFDMA.....	48
2.12.4 Trasmissione SC--FDMA.....	49
2.12.5 MIMO e MRC.....	51
2.12.6 Standard e frequenze.....	52
2.12.7 Futuro LTE-Advanced.....	53
2.13 Reti Satellitari.....	54
2.13.1 Connessione monodirezionale.....	54
2.13.2 Connessione bidirezionale.....	54
2.14 Rete Radiomobile Cellulare.....	55
2.14.1 Reti cellulari.....	56
3 Sistemi e reti di posizionamento mobili.....	57
3.1 Sistema di posizionamento GPS.....	57
3.1.1 Trilaterazione a tre dimensioni.....	59
3.2 Reti di posizionamento mobili wireless.....	60
3.2.1 Modello a Cella.....	60
3.2.2 Modello a Cella Virtuale.....	61
3.2.3 Modello Ad-Hoc.....	62
3.2.4 La Localizzazione.....	66
4 Servizi di prossimità.....	67
4.1 Buddy Finder.....	67
4.2 Nudge Nudge.....	69
4.2.1 Componenti del sistema.....	70
4.3 Hybrid positioning system vs Wi-Fi Positioning System.....	73
4.4 Rassegna servizi di prossimità.....	74

4.4.1	Swarmbit.....	74
4.4.2	Facebook Places.....	75
4.4.3	Google Latitude	76
4.4.4	Foursquare	77
5	Sistemi e applicazioni di prossimità mobile	81
5.1	Sistemi di micro-pagamenti mobili	81
5.1.1	Caratteristiche dei codici QR.....	83
5.1.2	Near Field Communications.....	83
5.1.2.1	Applicazioni.....	84
5.1.2.2	Protocolli di comunicazione	84
5.1.2.3	Caratteristiche NFC	85
5.1.2.4	Confronto tra le comunicazioni wireless	86
5.2	Sistemi di controllo del traffico.....	87
5.2.1	Principali tecnologie di base	88
5.2.2	Benefici ambientali ed economici.....	90
5.3	Sensori di prossimità e utilizzo.....	91
5.3.1	Caratteristiche	92
5.3.2	Applicazioni.....	93
5.3.3	ZigBee.....	95
	Bibliografia.....	98

INTRODUZIONE

Il presente elaborato è frutto di una accorta e costante ricerca in merito alle “trasformazioni” socio-tecnologiche che stanno rivoluzionando i nostri giorni, il nostro modo di interagire in una società sempre più diretta verso una continua mobilità. Le continue innovazioni tecnologiche nel campo delle reti di telecomunicazioni e la crescita esponenziale del numero di dispositivi mobili, capaci di connettersi facilmente alla rete internet, apre innumerevoli scenari sia dal punto di vista sociale, che economico.

In particolare verrà effettuata una rassegna esemplificativa su alcuni tra i più interessanti sistemi e servizi di prossimità, e il loro impatto sulla vita quotidiana.

Innanzitutto, nella prima parte vengono analizzate e classificate le più importanti reti, che permettono l’accesso a internet.

Tale rassegna, ha lo scopo di contestualizzare le tecnologie e i sistemi che stanno alla base dei servizi di prossimità. In questa panoramica sono elencate, quindi le varie tecnologie di accesso alla rete, le loro evoluzioni nel tempo, analizzando la loro struttura, i loro vantaggi, svantaggi ed eventuali risvolti futuri.

In seguito, si cercherà di capire come i sistemi di posizionamento forniscano, attraverso GPS, o altre tecniche come il WPS(Wi-Fi Positioning System), la posizione del device mobile, rendendo così oggi tecnicamente possibile la fornitura di servizi basati sulla localizzazione, indicati con la sigla LBS acronimo di Location Based Service.

Verranno poi trattate, alcune importanti applicazioni e servizi di prossimità, che con la sempre maggiore popolarità dei social network, portano il livello di interazione sociale su un nuovo piano. Si ha la possibilità infatti, di interagire con un amico che si trova nelle vicinanze, potendo condividere esperienze, file multimediali e altro. Non solo, assistiamo alla nascita di veri e propri social network incentrati sulla prossimità, basati su un concetto totalmente diverso rispetto ai social network per così dire tradizionali.

E’ il caso di applicazioni come Swarmbit, Foursquare non occorre essere amici per poter interagire, ma basta condividere un interesse, per un luogo geografico, un evento a cui si vuole partecipare, quando ci si trova appunto in prossimità di quel luogo, tutti gli utenti che si trovano in un “cerchio di prossimità”, possono scambiarsi opinioni, messaggi o condividere foto, video, file.

Infine, passeremo in rassegna l'utilizzo di servizi e tecnologie di prossimità mobile, in sistemi quali il micro-pagamento che sta riscuotendo un enorme successo sia in Italia che nel mondo, grazie anche all'utilizzo di tecnologie come NFC (Near Field Communication), il quale permette di poter scambiare dati e informazioni, creando una rete peer-to-peer tra i due dispositivi.

Altra importante applicazione dei sistemi di prossimità mobile, la ritroviamo nel campo dei trasporti, nella quale ad esempio i veicoli in prossimità condividono informazioni sul percorso, orari, meteo, situazione del traffico, il tutto in tempo reale, apportando quindi notevoli benefici quali maggiore sicurezza, miglioramento della viabilità e dei tempi di percorrenza.

1. Storia dei sistemi wireless

Le reti tradizionali (LAN, MAN e WAN) hanno portato molti vantaggi in ufficio, negli hotel e nelle case, ma i servizi non possono essere utilizzati se non si è fisicamente collegati ad una LAN o ad una linea telefonica. Con l'avvento delle nuove tecnologie wireless la comunicazione tra i dispositivi elettronici avviene senza l'uso di cavi, utilizzando onde radio di bassa potenza.

La storia del Wireless Networking [1] si estende indietro nel tempo molto più di quanto si possa immaginare, durante il secondo conflitto mondiale, quando l'esercito degli Stati Uniti utilizzò per primo i segnali radio per la trasmissione dati sviluppando una tecnologia di radiotrasmissione dei dati che era basata su tecniche di criptazione, e tramite la SST (Spread Spectrum Technology : tecnica di dispersione dello spettro) riuscì ad evitare l'intercettazione o il disturbo delle comunicazioni al nemico.

Nel 1971 un gruppo di ricercatori ispirandosi a quanto elaborato nel periodo bellico, creò la prima rete di comunicazione radio a pacchetto, AlohaNet questo era il nome della rete, fu essenzialmente la prima rete wireless local area network, conosciuta poi in seguito con il suo acronimo WLAN. La prima WLAN era costituita da sette computer che comunicavano bidirezionalmente in una topologia a stella, cioè con un computer centrale denominato hub attraverso il quale circolavano tutte le trasmissioni. Con questa topologia è stato possibile, in caso di interruzione del collegamento tra un pc e hub, che fosse solo il pc interessato a non poter trasmettere più, lasciando tutti gli altri in funzione. Naturalmente la tecnica di trasmissione era differente da quella dei moderni AP(Access Point) ed anche la frequenza di trasmissione, che si basava sui 900 MHz, era differente rispetto alla banda di frequenza di trasmissione usata oggi con il Wi-Fi (Wireless Fidelity) dei 2,4GHz.

Una rete WLAN è composta essenzialmente da due tipi di dispositivi, un AP(Access Point) e WT (Wireless Terminal), dove gli AP sono i punti di accesso alla rete e svolgono la funzione di ponte tra la rete wireless e la rete fissa, ad essi infatti, si collegano uno o più wireless client che possono avere accesso alla rete cablata e comunicare tra loro. I WT possono essere dispositivi diversi quali pc, notebook, palmari, cellulari, che una volta collegati alla WLAN possono comunicare con tutti gli host sia di rete wireless che rete cablata.

All'inizio degli anni novanta, fu approvato lo standard IEEE (Istitute of Elettrical and Electronics Engineers) dove il comitato IEEE 802 si occupa delle reti e il gruppo 802.11 detta le specifiche per l'implementazione di una rete WLAN. Questo standard, impiegava all'inizio i raggi infrarossi e in

seguito la tecnologia su onde radio nella banda 2,4 GHz che supportava un transfer rate o bit rate di 1 o 2 Mbit/s. Fu proprio il confronto tra i bit rate di una rete ethernet e quello di una WLAN a rallentare la diffusione della nuova tecnologia. Successive modifiche ottimizzarono e aumentarono la velocità e fu denominato, ad opera della W.E.C.A. (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) organizzazione con l'obiettivo di promuovere la tecnologia Wi-Fi con high rate per le reti wireless, il nuovo standard 802.11b conosciuto come appunto Wi-Fi dotato di un bit rate pari a 11 Mbit/s e successivamente con l'adozione di altri standard si è arrivati alla velocità di 100 Mbit/s.

Per la prima volta, le wireless LAN potevano essere utilizzate dalla maggior parte degli ambienti operativi e delle applicazioni per l'ufficio. I vari fornitori iniziarono a supportare in breve tempo lo standard 802.11b con una conseguente e sostanziale diminuzione dei costi, un aumento della domanda ed un maggiore supporto da parte loro. Inoltre, lo standard 802.11b assicurava agli utenti l'interoperabilità dei dispositivi. Con la rapida adozione dello standard 802.11b, gli utenti hanno potuto scegliere tra un'ampia gamma di dispositivi wireless ad alte prestazioni, interoperabili e di basso costo. Tuttavia, ancora più importante è stata la possibilità, per molte aziende, di aumentare il proprio valore con l'aggiunta della tecnologia wireless alla propria LAN aziendale, che ha permesso a laptop ed notebook elaborazioni in ogni luogo e in qualsiasi momento. Una possibilità che le reti wireless hanno offerto agli utenti è la massima flessibilità, produttività ed efficienza e hanno dato una forte spinta alla collaborazione ed alla cooperazione tra colleghi, partner commerciali e clienti. Le reti locali wireless possono utilizzare come mezzo trasmissivo le onde radio, la luce infrarossa o i sistemi laser.

Le onde radio vengono utilizzate dalle reti tipo Wi-Fi, cioè reti che devono coprire ambienti eterogenei dove le diverse postazioni da collegare non sono necessariamente visibili, infatti possono essere separate da muri o da intercapedini.

Le reti basate su infrarossi vengono utilizzate per collegare dispositivi visibili direttamente, sono lente e spesso utilizzano dispositivi dedicati, infatti sono in disuso e sostituite quasi totalmente dai dispositivi Bluetooth.

Le reti basate su laser vengono utilizzate normalmente per collegare sottoreti costruite utilizzando altre tecnologie. Il laser viene utilizzato per la sua elevata velocità di trasmissione. Un tipico esempio è il collegamento delle reti di due edifici vicini. Il laser ha il problema di essere sensibile alle condizioni esterne e alle vibrazioni infatti anche queste tipologie di dispositivi sono considerati in disuso e quasi sempre sostituiti da collegamenti via onde radio.

Un Access Point di tipo IEEE 802.11b può comunicare solitamente con 30 client situati in un raggio di 100 m. Tuttavia questa caratteristica varia a seconda di diversi fattori, il posizionamento, la presenza di ostacoli, l'interferenza con altri campi elettromagnetici, la potenza dei dispositivi. Per aumentare la distanza di trasmissione, esistono dei ripetitori che amplificano i segnali radio. In condizioni sperimentali, le reti wireless possono raggiungere una capacità di diversi chilometri.

Le reti wireless presentano una serie di vantaggi sostanziali rispetto alle reti classiche, ai quali però si contrappongono non poche limitazioni, a causa di un discreto numero di problematiche, dovute alla natura stessa di reti nelle quali la connettività è basata sull'uso di un mezzo inaffidabile come l'etere. Analizziamo in dettaglio, qui di seguito, i vantaggi e svantaggi[2].

1.1 Vantaggi

- **Mobilità:** La mancanza di collegamenti fisici tra i vari terminali assicura alle reti wireless delle caratteristiche uniche che hanno portato alla rapida diffusione di questa tecnologia. Una rete wireless non richiede infatti la posa dei cavi, e può essere realizzata in un tempo molto breve, è quindi di facile installazione. E' possibile realizzare queste reti per fornire la connessione tra computer senza sostenere spese e tempi associati all'installazione del mezzo fisico. Al contrario le reti wired consentono lo scambio di informazioni tra i vari utenti grazie alla presenza dei cavi.
- **Installazione in aree difficili da collegare con linee tradizionali:** L'installazione di sistemi wireless può avvenire in aree difficili da collegare, come fiumi, autostrade, vecchi edifici, per mezzo di linee tradizionali.
- **Scalabilità:** La scalabilità è un fattore molto importante anche dal punto di vista economico, la WLAN può crescere di dimensioni e potenza col crescere delle necessità degli utenti. Si consideri, per esempio, una WLAN caratterizzata inizialmente da un basso throughput, che potrà essere utilizzata in futuro per soddisfare la necessità di una banda più ampia. In questo caso, una possibile configurazione potrebbe essere caratterizzata dalla collocazione di diversi access point, uno per ogni gruppo di utenti, per aumentare il throughput aggregato. Questa configurazione aumenta notevolmente la performance delle WLAN e rende possibile una buona gestione delle prestazioni in presenza di un aumento del numero di utenti.

1.2 Svantaggi

- **Interferenze:** Giacché una rete wireless utilizza onde radio per trasmettere dati fra i computer, può subire interferenze da altre sorgenti di onde radio (forni a microonde, telefoni cordless ecc...).
- **Rischi per la privacy:** Un malintenzionato munito di un PC portatile potrebbe parcheggiare fuori dalla vostra casa o ufficio e "ficcanasare" nei segnali provenienti da reti wireless che non siano state opportunamente messe in sicurezza. Si conoscono casi reali di transazioni con carte di credito intercettate in questo modo, tuttavia mettendo in atto le appropriate misure di sicurezza, che oggi sono disponibili su tutti i dispositivi di rete wireless, si può stare molto più sicuri.
- **Problema con i protocolli di trasporto TCP, UDP:** Le reti WLAN inoltre non fornendo connessioni affidabili, sono un problema per i protocolli di livello superiore, come TCP o UDP. Quando si ha a che fare con reti wireless, il protocollo TCP tende a perdere le connessioni, soprattutto se la copertura di rete è marginale.
- **La configurazione è più complessa:** Talvolta può risultare poco intuitivo configurare in maniera appropriata le impostazioni di sicurezza di un router wireless

Le tipologie di rete wireless sono:

- **WAN (Wide Area Network) wireless**
- **MAN (Metropolitan Area Network)**
- **LAN(Local Area Network)**
- **WLAN (Wireless Local Area Network)**
- **PAN (Personal Area Network)**
- **BWA (Broadband Wireless Access)**

a queste si aggiungono:

- **Reti Cellulari radiomobili come GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA.**
- **Reti satellitari**

2 Classificazione delle reti

In base alla topologia, cioè alla disposizione geometrica dei vari elementi che le costituiscono, le reti possono essere classificate in:

- reti a stella, con un elaboratore centrale chiamato switch che gestisce il traffico di dati all'interno della rete e una serie di host o terminali collegati ad esso;
- reti a bus, cioè un insieme di elaboratori collegati in modo lineare lungo un unico cavo;
- reti ad anello, in cui trasmette un solo elaboratore alla volta e la determinazione di chi possa farlo avviene attraverso un messaggio(token). E' la topologia tipica delle reti LAN che utilizzano il protocollo IBM Token Ring.
- reti mesh, in cui non c'è una specifica infrastruttura e ogni nodo instrada anche i pacchetti di dati che non lo riguardano. E' possibile inoltre, suddividere le reti in base alla loro estensione in WAN, MAN, LAN.

Una Wide Area Network (**WAN**), cioè una rete geografica, collega elaboratori che si trovano anche a grandi distanze tra loro.

Le reti **MAN** (Metropolitan Area Network) hanno un'estensione pari a quella di un'intera area metropolitana e sono utilizzate per le reti civiche. L'interconnessione di più MAN dà vita a reti WAN.

Le reti **LAN** (Local Area Network) hanno dimensioni limitate e solitamente si sviluppano all'interno di un solo edificio o di strutture adiacenti. Sono le reti tipiche di un ufficio, utilizzate per la condivisione di archivi e unità periferiche quali stampanti, plotter o scanner. Una buona LAN garantisce velocità di trasmissione pari almeno a 100 Mbit/s.

Internet, la rete delle reti, è costituita da più **LAN**, **MAN** e **WAN** collegate tra loro che, nonostante abbiano protocolli diversi e siano costituite da computer con sistemi operativi differenti, comunicano grazie al protocollo di trasmissione TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

2.1 PAN(Personal Area Network)

In telecomunicazioni una rete personale, Personal Area Network (PAN), è una rete informatica utilizzata per permettere la comunicazione tra diversi dispositivi (telefono, PC tascabile, ecc.) vicini

a un singolo utente. I singoli dispositivi possono anche non appartenere all'utente in questione. Il raggio di azione di una PAN è tipicamente di alcuni metri. La PAN può essere utilizzata per collegare i vari dispositivi tra di loro, in modo da consentire scambio di informazioni o per consentire la connessione a reti a più alto livello come per esempio Internet. Una PAN può essere realizzata con collegamenti via cavo come per esempio USB o FireWire. Oppure, si possono utilizzare soluzioni wireless, come IrDA o Bluetooth. Le PAN Bluetooth sono chiamate anche piconet e queste sono composte al massimo da otto dispositivi in relazione *master-slave* (o fino a 255 dispositivi in modalità "parcheggio"). Il primo dispositivo Bluetooth è il master mentre i successivi diventano slave. Una rete piconet ha un raggio tipico di 10 metri, ma si possono collegare più piconet utilizzando un dispositivo che appartenendo a entrambi le piconet fa da ponte, in questo caso la rete che si viene a creare è chiamata *scatternet*.

2.2 WPAN (Wireless Personal Area Network)

La rete personale senza fili (detta anche rete individuale senza fili o rete domestica senza fili e siglata **WPAN** per Wireless Personal Area Network) riguarda le reti senza fili di portata ridotta: nell'ordine di qualche dozzina di metri. Questo tipo di rete serve generalmente a collegare delle periferiche (stampante, telefono cellulare, apparecchiature domestiche) o un PDA ad un computer senza collegamento filare oppure a permettere la connessione senza fili tra due terminali poco distanti. Le LR-WPAN(*Low-Rate Wireless Personal Area Networks*) sono area personale (ovvero a corto raggio, tipicamente inferiore a 30 m) che lavorano con basse velocità di trasferimento dati. Una rete LR-WPAN, secondo lo standard IEEE 802.15.4 [3], può opzionalmente operare in modalità beacon-enabled. In questo caso, l'asse temporale viene suddiviso in una sequenza di super-frame, ciascuno dei quali è delimitato da appositi pacchetti di segnalazione (definiti beacon). I *beacon* sono trasmessi dai nodi coordinator e sono responsabili della sincronizzazione di tutti i dispositivi della rete. In tale modalità di funzionamento, il super-frame viene ripartito in time-slot elementari e contiene obbligatoriamente un Contention Access Period (CAP), nel quale l'accesso multiplo al canale è gestito tramite una variante a basso consumo energetico dell'algoritmo CSMA/CA. Sempre in tale modalità operativa, il super-frame può opzionalmente prevedere un Contention Free Period (CFP), in cui talune stazioni possono ottenere l'accesso al mezzo privo di

collisioni in appositi time-slot garantiti (Guaranteed Time Slot, GTS), ed un Inactive Period, nel quale le interfacce radio possono essere messe in uno stato a basso consumo energetico per risparmiare le batterie dei dispositivi. Quando i beacon non sono abilitati, i nodi accedono al canale semplicemente utilizzando l'algoritmo CSMA/CA ed inoltre non è prevista alcuna ripartizione in time-slot e super-frame dell'asse temporale.

Per quanto riguarda, invece, le modalità secondo cui i nodi della WPAN si sbambiano reciprocamente i messaggi, si devono considerare tre distinte possibili interazioni:

- comunicazione **dispositivo** → **coordinator**: Un generico nodo della WPAN può in ogni momento inviare i propri dati al coordinatore utilizzando l'algoritmo di accesso multiplo CSMA/CA.
- comunicazione **coordinator** → **dispositivo**: quando un dispositivo vuole ricevere i dati dal proprio coordinator, esso invia una richiesta al coordinatore e rimane in attesa dei dati. Nella modalità beacon enabled il coordinator esplicitamente dichiara nel messaggio di *beacon* quali sono i nodi figli per cui dispone di dati pendenti.
- comunicazione **dispositivo** → **dispositivo**: è utilizzata in topologie *peer-to-peer* e richiede che i nodi siano tra loro sincronizzati.

La tecnologia principale WPAN è la tecnologia **Bluetooth**, lanciata da Ericsson nel 1994, con una proposta di capacità di banda teorica di 1 Mbit/s per una portata massima di una trentina di metri. Bluetooth, conosciuta anche con il nome di *IEEE 802.15.1*, ha il vantaggio di avere bisogno di poca energia, il che la rende particolarmente adatta ad un uso con piccole periferiche.

HomeRF (per *Home Radio Frequency*), lanciata nel 1998 dal HomeRF Working Group (formato soprattutto dai costruttori Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola e Microsoft) propone una capacità di banda teorica di 10 Mbps con una portata da circa 50 a 100 metri senza amplificatori e permettere l'accesso alla rete fino a 127 terminali. HomeRF fu progettata per le reti wireless casalinghe in modo da essere molto più economica di altre tecnologie wireless. La HomeRF è un protocollo che usa il frequency-hopping spread spectrum (FHSS) e il shared wireless access protocol (SWAP) per trasmettere nella banda di frequenza di 2.4 GHz. Deriva dallo standard "Digital European Cordless

Telephone" (DECT), usa la "Time Division Multiple Access" (TDMA) per la voce e una tecnica del tipo CSMA/CA(Carrier Sense Media Access/Collision Avoidance) per la trasmissione dati.

La modulazione adoperata dallo standard HomeRF è la FSK. La norma HomeRF sostenuta soprattutto da Intel, è stata abbandonata nel gennaio del 2003, perché l'azienda decise di puntare ormai sulle tecnologie Wi-Fi, lo standard 802.11b.

La tecnologia ZigBee (che si basa sullo standard *IEEE 802.15.4*) permette di ottenere dei collegamenti senza fili a prezzi molto bassi e con un consumo ridotto particolarmente adatta per essere integrata direttamente in piccoli apparecchi elettronici (casalinghi, hi-fi, giochi,...). La tecnologia ZigBee, che opera sulla banda di frequenza da 2,4 GHz e su 16 canali, permette di ottenere delle capacità di banda che possono raggiungere i 250 Kb/s con una portata massima di 100 metri circa.

Infine i collegamenti ad infrarossi, permettono di creare delle connessioni senza fili di qualche metro con delle capacità di banda che possono arrivare a qualche megabit al secondo. Questa tecnologia è ampiamente utilizzata per la domotica (telecomandi) ma soffre tuttavia dei disturbi dovuti alle interferenze luminose. L'associazione IrDA (*infrared data association*) formata nel 1995 raggruppa più di 150 membri. Il bluetooth, che è uno standard di trasmissione radio, ha tuttavia soppiantato la trasmissione a infrarossi su alcuni dispositivi.

2.3 WLAN

WLAN sta per wireless local area network, indica una rete locale che sfrutta la tecnologia wireless, invece di una connessione via cavo. Quando si parla di Wireless LAN si considera un tipo di rete in area locale, LAN (Local Area Network), che utilizza onde radio ad alta frequenza piuttosto che "fili" per comunicare e trasmettere dati attraverso nodi. E' un sistema di comunicazione flessibile ai dati implementato come estensione, o a volte come alternativa, ad una Wired LAN all'interno di un edificio (in building) o di un ambiente di campus.

2.3.1 Topologie WLAN

Per topologia di una WLAN si intende come i dispositivi wireless sono disposti geograficamente e con quale principio avviene lo scambio di dati. In una WLAN possiamo avere le seguenti strutture: IBSS, BSS e ESS.

Independent Basic Service Set (IBSS)

Denominata anche configurazione in modalità ad hoc, in questo caso è possibile collegare più terminali senza all'utilizzo di nessun hardware all'infuori delle schede wireless. In una installazione di questo tipo le stazioni comunicano direttamente con altre che si trovano nel range di copertura consentito dalla propria scheda.

Basic Service Set (BSS)

Questa topologia utilizza un access point in funzione di stazione base e di bridge tra terminali wireless, che si trovano nel range di copertura dell'access point, e quelli fissi. Infatti un access point non è altro che un apparecchio radio dotato di un'interfaccia cablata con la rete e del software di bridging che permette lo scambio di dati tra due tecnologie completamente diverse; esso rappresenta il cervello di una rete wireless, fornisce sincronizzazione e coordinazione e può compiere diversi compiti a seconda del contesto di utilizzo. Oltre alla funzione di bridging, con il software opportuno può operare in modo analogo ad un gateway, permettendo così di far comunicare la rete wireless ad una connessione Internet. La topologia BSS rappresenta in sostanza una rete locale wireless monocella, dal momento che tutti i terminali si trovano all'interno dell'area di copertura di un singolo access point.

Extended Service Set (ESS)

Lo standard IEEE 802.11 prevede la possibilità di collegare due o più BSS connesse alla stessa rete fissa, in modo da formare un'unica grande area denominata ESS.

In questo caso, quando i dati vengono inviati verso un destinatario che si trova in una BSS diversa da quella del mittente, essi attraversano il Distribution System (DS), solitamente realizzato tramite la tradizionale rete Ethernet. Il DS permette di collegare diversi access point allo switch di una LAN

Ethernet, oppure ad un router per la connessione ad Internet, oppure di collegare le varie BSS. La topologia ESS è nota anche come configurazione in modalità *ad infrastruttura*, in contrapposizione alla modalità ad hoc definita dalla IBSS; essa rappresenta una rete locale wireless multicella in cui ciascun access point, operando su un canale differente, supporta un certo numero di terminali all'interno del proprio range di copertura.

2.3.2 Vantaggi delle WLAN

Uno dei primi vantaggi è indubbiamente la flessibilità. Infatti si ha un'enorme aumento d'efficienza rispetto ad una rete cablata. Si scavalcano in questo modo tutti quei problemi riscontrati nella stesura della stessa. Si pensi ad esempio la realizzazione di una LAN che colleghi due edifici separati da grossi ostacoli o la stesura della stessa all'interno di una struttura storica. Non ci sarebbe più bisogno di stendere cavi antiestetici. Si ha inoltre la possibilità di rendere mobile l'utente

collegato. Pertanto, se si parla di computer portatili, le potenzialità aumentano. Si immagini l'uso che se ne potrebbe fare all'interno di una struttura sanitaria quale un ospedale oppure all'interno di un aeroporto, un magazzino. A tutto questo si aggiunga che i costi di realizzazione sono relativamente bassi.

2.3.3 Svantaggi delle WLAN

Ovviamente c'è il rovescio della medaglia; essendo una trasmissione radio fatta ad alta frequenza, ne presenta tutte le pecche. Bisogna infatti considerare fenomeni di attenuazione, interferenza, riflessioni, e sicurezza. A ciò, vanno aggiunti problemi energetici legati al fatto che si utilizzano dispositivi a batteria e infine problemi di compatibilità. Per i primi tre, i problemi sono identici a quelli riscontrati in una qualsiasi altra trasmissione radio. Ipotizzando un trasmettitore isotropico (che trasmette nello stesso modo in tutte le direzioni) si ha che il segnale si propaga e la potenza si "spalma" istante per istante su sfere concentriche. Questo porta ad un'attenuazione che è inversamente proporzionale alla distanza percorsa dal segnale. Quindi se si trasmette una potenza effimera, non arriva nulla. Se invece si trasmette una potenza superiore al necessario, si inficia sulla durata della batteria. Se tutto ciò non bastasse, si ha che il segnale in presenza di ostacoli rimbalza e genera un'onda riflessa. Questa giunge sul ricevitore contemporaneamente al segnale diretto ed a un'infinità di segnali riflessi (fenomeno delle riflessioni multiple) in particolar modo negli ambienti chiusi. Il risultato è una distorsione del segnale e nella peggiore delle situazioni, il fenomeno

dell'affievolimento profondo. Poi c'è l'interferenza verso altri dispositivi e la suscettanza nei confronti di disturbi radio. Parlando invece di compatibilità, il problema nasce dalla presenza di diversi standard. E' ovviamente preferibile l'uso di access point e schede identiche per poter sfruttare al massimo la rete. Infine, ma non per ultimo per importanza, il problema della sicurezza. L'informazione trasmessa diviene alla portata di tutti, pertanto occorre effettuare un criptaggio del segnale.

2.3.4 Futuro WLAN

Nella società in cui viviamo, la connessione tramite reti wireless è ormai la connessione di rete principale per quanto riguarda sia la sfera lavorativa che privata. Le imprese hanno bisogno di canali di comunicazione che permettano di soddisfare le esigenze dei propri clienti il più velocemente possibile. Le scuole hanno bisogno di condividere e ottenere le informazioni con gli studenti di tutto il campus e di tutto il mondo. Gli ospedali hanno bisogno di poter accedere alle cartelle cliniche dei pazienti in qualsiasi momento. Il mondo quindi è in continuo movimento, pertanto la necessità di connessione alla rete in qualsiasi momento, rende lo sviluppo di tecnologie di connessione mobili un fattore determinante. In futuro PDA(Personal Digital Assistants), macchine fotografiche, elettrodomestici e altri oggetti di uso quotidiano utilizzeranno per comunicare la tecnologia WLAN con velocità sempre superiori. Un problema importante per le WLAN riguarda la sicurezza, le reti wireless sono potenzialmente più vulnerabili rispetto alle reti cablate. Lo standard IEEE 802.11 definisce alcuni aspetti riguardante il problema della sicurezza e altri aspetti quali le interferenze radio. Ultimamente si stanno diffondendo le reti wireless a banda larga (WiMAX, LTE).

2.4 Bluetooth

Le basi dell'odierno Bluetooth le getta Ericsson nel 1994[4]. L'azienda svedese iniziò una ricerca per trovare una nuova interfaccia di comunicazione ad onde radio a basso costo, tra i cellulari ed i diversi accessori, che soppiantasse l'IrDA. Dopo circa un anno dal progetto iniziale, lo sviluppo della nuova tecnologia entrò nella fase operativa ed il lavoro passò alla sezione ingegneristica dell'Ericsson. Il progetto iniziale di fornire nuovi accessori per telefonia mobile ad onde radio, fu soppiantato da un progetto più ambizioso, la creazione di una vera e propria nuova tecnologia per

far comunicare qualsiasi tipo di dispositivo a breve distanza. Ericsson capì l'importanza degli studi effettuati e decise di allargare il gruppo di sviluppo ad altri partner. Si arriva quindi al 1998, con la formazione del SIG (Special Interest Group) insieme a Nokia, Intel, IBM e Toshiba. Inizialmente Ericsson ha fornito un importante contributo per quanto riguarda la tecnologia radio. Toshiba ed IBM hanno lavorato per sviluppare un protocollo comune per l'integrazione del Bluetooth all'interno di dispositivi portatili. Nokia si è occupata della trasmissione dati e del software ed Intel della progettazione dei nuovi chip necessari. Gli obiettivi iniziali del gruppo erano aiutare lo sviluppo di una nuova tecnologia ad onde corte per far comunicare a breve distanza, creando uno standard fisso, ma aperto a tutte le aziende che ne volessero far parte. Già nel mese di aprile del 1999 il consorzio contava ben 600 membri. Nel mese di luglio dello stesso anno uscirono le prime specifiche tecniche del neonato Bluetooth. Da quel momento varie versioni del Bluetooth sono state ratificate dal SIG, tutte rispondenti ai requisiti di interoperabilità, armonizzazione della banda e promozione della tecnologia. Obiettivo principale del SIG è appunto garantire il perfetto funzionamento di apparati Bluetooth costruiti da differenti aziende. L'interoperabilità dei dispositivi Bluetooth è la base per garantire il successo della nuova tecnologia, è quindi ovvio che sia il primo punto di interesse del SIG. Inoltre è stata decisa l'adozione dei Profili, in altre parole di una serie di differenze sulla produzione di dispositivi dotati di Bluetooth ad interagire tra loro. Ad esempio difficilmente una stampante dovrà interagire con un monitor, di conseguenza i Profili da inserire in ambo i prodotti si riducono ed aiutano a semplificarne lo sviluppo.

2.4.1 Caratteristiche Tecniche

I collegamenti che possono essere stabiliti tra i diversi dispositivi sono di due tipi: orientati alla connessione e senza connessione. Un collegamento orientato alla connessione richiede di stabilire una connessione tra i dispositivi prima di inviare i dati; mentre, un link senza connessione non richiede alcuna connessione prima di inviare i pacchetti. Il trasmettitore può in qualsiasi momento iniziare ad inviare i propri pacchetti purché conosca l'indirizzo del destinatario. La tecnologia Bluetooth definisce due tipi di collegamenti a supporto delle applicazioni voce e trasferimento dati [5]: un servizio asincrono senza connessione (ACL, *Asynchronous ConnectionLess*) ed un servizio sincrono orientato alla connessione (SCO, *Synchronous Connection Oriented*). ACL supporta traffico di tipo dati e si basa su un servizio di tipo best-effort. L'informazione trasportata può essere di tipo utente o di controllo. SCO, invece, è un collegamento che supporta connessioni con un

traffico di tipo real-time e multimediale. Il collegamento ACL supporta connessioni a commutazione di pacchetto, connessioni punto-multipunto e connessioni simmetriche o asimmetriche. Nel caso di connessioni simmetriche il data rate massimo è di 433,9 kb/s in entrambe le direzioni; mentre, per connessioni asimmetriche si raggiungono 723,2 kb/s in una direzione e 57,6 kb/s in quella opposta. Uno *slave* può trasmettere solamente se nello slot precedente aveva ricevuto un pacchetto dal *master*. In questi tipi di collegamenti, in genere, viene applicata la ritrasmissione dei pacchetti. La connessione SCO prevede connessioni a commutazione di circuito, connessioni punto-punto e connessioni simmetriche. Questo tipo di connessione è generalmente utilizzata per il trasporto della voce in canali da 64 kb/s. Il *master* può supportare fino a tre collegamenti SCO verso lo stesso *slave* o verso *slave* differenti appartenenti alla stessa piconet. Uno *slave*, invece, può supportare fino a tre connessioni SCO verso lo stesso *master*, o due se i collegamenti sono stati creati da diversi *master*. A causa della sensibilità al ritardo di questi di pacchetti (trasportano dati di natura real-time), non è prevista alcuna ritrasmissione in caso di errore o perdita.

2.4.2 Architettura

Similmente all'architettura OSI, Bluetooth specifica un approccio a livelli nella sua struttura protocollare. Differenti protocolli sono utilizzati per differenti applicazioni. Indipendentemente del tipo di applicazione, però, lo stack protocollare Bluetooth (vedi fig. 1) porta sempre all'utilizzo dei livelli data-link e fisico. Non tutte le applicazioni usano tutti i protocolli dello stack Bluetooth, infatti, esso è rappresentato su più livelli verticali, al di sopra dei quali c'è un'applicazione specifica. Scendendo un po' più in dettaglio è possibile identificare le funzioni principali svolte dai protocolli più importanti dello stack Bluetooth:

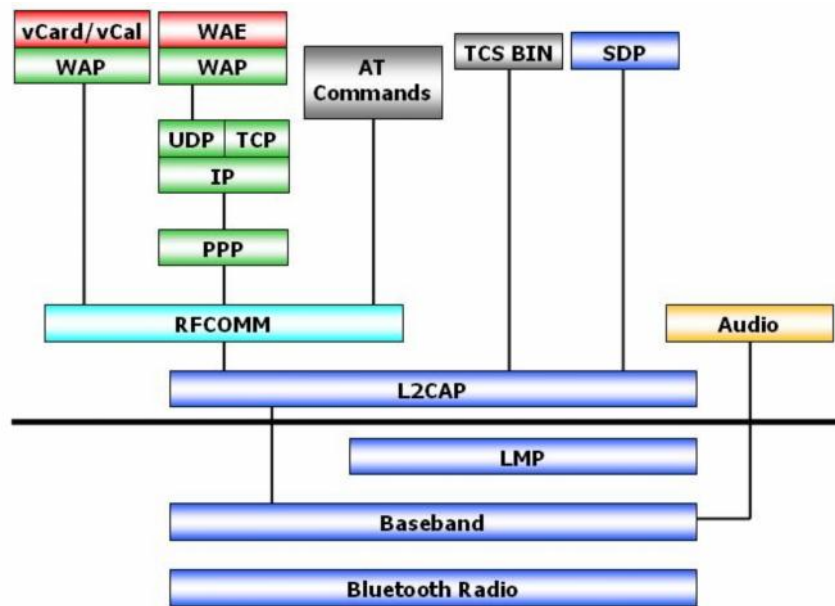


Fig.1 - Stack protocollare

- **Bluetooth Radio:** definisce i requisiti della parte in radio frequenza. Qui è dove i segnali radio vengono processati.
- **Baseband:** abilita il collegamento fisico tra dispositivi all'interno di una piconet. Tale livello si basa sulle procedure di inquiry e di paging per la sincronizzazione e la connessione di dispositivi bluetooth. Permette di stabilire i due diversi tipi di connessione (ACL e SCO).
- **LMP:** è responsabile dell'organizzazione del collegamento, del controllo tra dispositivi bluetooth e del controllo e negoziazione della dimensione dei pacchetti. È anche utilizzato per quanto riguarda la sicurezza: autenticazione e crittografia, generazione, scambio e controllo chiavi. Effettua anche il controllo sulle diverse modalità di gestione della potenza (*park, sniff, hold*) e sullo stato della connessione di un dispositivo all'interno della piconet. I messaggi LMP sono filtrati ed interpretati dal link manager in sede di ricezione, di conseguenza non saranno mai trasmessi ai livelli superiori. Questi messaggi hanno priorità maggiore rispetto ai pacchetti che trasportano dati utenti.

- **L2CAP**: esegue il multiplexing dei protocolli di livello superiore, la segmentazione e il riassetto dei pacchetti e il trasporto di informazione relativa alla QoS (*Quality of Service*) ovvero è possibile richiedere una certa QoS da riservare ad un determinato link. L2CAP permette ai protocolli dei livelli superiori ed alle applicazioni di trasmettere e ricevere pacchetti di dati di dimensione superiore a 64Kbyte. Esso definisce solamente un collegamento di tipo connectionless. I canali audio di solito vengono fatti girare su collegamenti SCO; per ovviare a questo problema dati audio possono essere inviati all'interno di pacchetti di protocolli che girano su L2CAP.
- **RFCOMM**: emula una porta seriale (RS-232) sul protocollo L2CAP. Questo livello è necessario in quanto esistono applicazioni (come per esempio OBEX) che utilizzano un meccanismo di trasmissione seriale.
- **TCS BIN**: opera a livello bit e definisce i segnali di controllo per le chiamate voce e dati tra dispositivi Bluetooth e le procedure per gestire gruppi di dispositivi TCS.
- **SDP**: è un elemento importante all'interno della tecnologia Bluetooth, in quanto permette alle applicazioni di avere informazioni sui dispositivi, sui servizi offerti e sulle caratteristiche dei servizi disponibili. Dopo aver individuato il dispositivo che implementa un determinato servizio è possibile stabilire una connessione.
- **AUDIO**: la funzione di questo strato è quella di codificare il segnale audio. Due tecniche possono essere adottate: log PCM e CVSD; entrambe forniscono un flusso di bit a 64Kbps. La codifica log PCM (*Pulse Code Modulation*) consiste in una quantizzazione non uniforme a 8 bit. Nella codifica CVSD (*Continuous Variable Slope Delta Modulation*) il bit d'uscita indica se il valore predetto è maggiore o minore del valore della forma d'onda in ingresso, costituita da un segnale PCM con quantizzazione uniforme. Il passo è determinato dalla pendenza della forma d'onda.

Gli *adopted protocols* sono così chiamati perché sono protocolli definiti da altre organizzazioni di standardizzazione e incorporati nell'architettura Bluetooth: PPP (lo standard Internet per trasportare i pacchetti IP su una connessione punto a punto), TCP/UDP-IP (le fondamenta della suite TCP/IP), OBEX (*object exchange*, un protocollo a livello sessione sviluppato dalla Infrared Data Association per scambio di oggetti, simile all'HTTP ma più semplice; usato ad esempio per trasferire dati in formato vCard e vCalendar, cioè biglietto da visita e calendario degli impegni) e WAE/WAP (*Wireless Application Environment* e *Wireless Application Protocol*).

2.4.3 Standard Bluetooth

Lo standard Bluetooth [6] si è molto evoluto nel tempo, portando correzioni e migliorie nelle varie versioni di rilascio. Le principali innovazioni riguardano la sicurezza, la velocità di trasmissione (dal limite di 720 Kbit/s ora si può arrivare a 24 Mbit/s), migliorie nella comunicazione (maggiore qualità, minori consumi) ed altro ancora. Il 21 aprile 2010 il SIG ha completato la stesura delle specifiche per il core della versione 4.0.

- **Bluetooth 1.0 e 1.0B:** le versioni 1.0 e 1.0B sono afflitte da molti problemi e spesso i prodotti di un costruttore hanno grosse difficoltà nel comunicare con il prodotto di un'altra società. Ci sono state varie modifiche perché metodo originale rendeva impossibile rimanere anonimi durante la comunicazione e quindi un utente malevole dotato di uno scanner di frequenze poteva intercettare eventuali informazioni confidenziali.
- **Bluetooth 1.1.** La versione 1.1 risolve errori introdotti nella versione 1.0B e permette la comunicazione su canali non cifrati.
- **Bluetooth 1.2.** Questa versione è compatibile con la precedente 1.1 e aggiunge le seguenti due novità. La prima Adaptive Frequency Hopping (AFH), questa tecnica fornisce maggior resistenza alle interferenze elettromagnetiche. Fornisce una modalità di trasmissione a alta velocità. La seconda Extended Synchronous Connections (eSCO), fornisce una modalità di trasmissione audio ad alta qualità, in caso di perdita dei dati questi vengono ritrasmessi. Rilevatore della qualità del segnale. Accesso alle informazioni di sincronizzazione per le applicazioni Bluetooth.
- **Bluetooth 2.0.** La nuova versione è retro compatibile con tutte le precedenti versioni e offre alcuni miglioramenti. Evita di saltare tra i canali per ragioni di sicurezza. Utilizza la crittografia per garantire l'anonimato. Supporta le trasmissioni multicast/broadcast e consente la trasmissione di elevati flussi di dati senza controllo degli errori a più dispositivi simultaneamente. Enhanced Data Rate (EDR) porta la velocità di trasmissione fino a 3 Mbit/s, include una gestione della qualità del servizio. Protocollo per l'accesso a dispositivi condivisi. Tempi di risposta notevolmente ridotti. Dimezzamento della potenza utilizzata grazie all'utilizzo di segnali radio di minore potenza.

- **Bluetooth 3.0.** La novità del Bluetooth 3.0 dell'aprile 2009 riguarda la possibilità di inviare grandi moli di dati sfruttando connessioni Wi-Fi.
- **Bluetooth 4.0.** In data 6 luglio 2010 sono state rilasciate le specifiche della versione 4.0 che al momento è solo una specifica e non sono utilizzate sui dispositivi in commercio.

La sua novità più importante consiste infatti nell'implementazione della specifica **low energy (LE)**, che ne riduce significativamente l'assorbimento energetico e ne permette l'utilizzo su una più ampia gamma di dispositivi a basso consumo, inclusi quelli alimentati con batterie a bottone: orologi, cardiofrequenzimetri, sensori di sicurezza e, più in generale, dispositivi indirizzati al fitness, allo sport, alle applicazioni medicali, alla sicurezza e all'intrattenimento.

Il grande vantaggio fornito dalla modalità LE è che i dispositivi possono scambiarsi regolarmente piccolissime quantità di dati a bassa velocità, come sincronizzazione dell'orario o informazioni per l'identificazione, con un minimo impatto sull'autonomia. Quando invece è necessario trasferire grandi quantità di dati in poco tempo, Bluetooth 4.0 può attivare la modalità Wi-Fi già introdotta nella versione 3.0: questa gli permette di raggiungere, servendosi di un modulo radio 802.11g, una velocità massima di 24 Mbps/s.

La modalità LE del nuovo Bluetooth opera nella banda radio dei 2,4 GHz ISM, ed utilizza la tecnica del frequency hopping per ridurre al minimo le interferenze e la degradazione del segnale.

Bluetooth 4.0 supporta poi un più robusto meccanismo di controllo e prevenzione degli errori (CRC a 24 bit) e la cifratura dei dati con l'algoritmo AES a 128 bit, caratteristica che rende questo protocollo adatto anche a settori come quello medicale e della sicurezza.

- **Ulteriori sviluppi tecnologici.** Due sono gli sviluppi di maggiore interesse: Voice over IP (VoIP) e Ultra wideband (UWB). La tecnologia Bluetooth costituisce parte fondamentale nello sviluppo del VoIP. Oggi viene già impiegata nei microfoni usati come estensioni wireless dei sistemi audio dei cellulari e dei PC. Dato l'incremento in popolarità e nell'uso del VoIP, il Bluetooth potrebbe essere utilizzato nei telefoni per la connessione a Internet per effettuare una chiamata VoIP.

2.4.4 Futuro Bluetooth

Nel 2006 in Finlandia la Nokia ha annunciato la tecnologia **WiBree** [7], tecnologia radio digitale (intesa per diventare un standard aperto nelle comunicazioni wireless) progettata per consumi ultra bassi entro una breve portata (10 metri) basata su microchip transceiver (ossia sia trasmettenti che riceventi) in ogni apparecchio. Bob Iannucci, capo del Nokia's Research Centre, sostiene che la tecnologia sia più di dieci volte più efficiente del Bluetooth. Si dice che avrà una potenza di output intorno ai -6 dBm [7]. Dopo i negoziati con gruppo Bluetooth SIG, che si occupa degli standard bluetooth, nel giugno 2007, fu raggiunto un accordo per includere in futuro WiBree nelle specifiche Bluetooth, rinominandola come tecnologia **Bluetooth ULP (Ultra-Low-Power)**. Nel dicembre 2009, il Bluetooth SIG ha annunciato l'adozione della tecnologia wireless Bluetooth a bassa energia come l'elemento distintivo della versione 4.0 Bluetooth. Il 7 giugno 2011 Bluetooth SIG ha annunciato di aver aggiunto due funzionalità che saranno fondamentali nel campo medico, mercato che sta crescendo in maniera esponenziale, si tratta del Termometro e del calcolatore della frequenza cardiaca, questi dati biometrici saranno raccolti da un qualsiasi smartphone, tablet o PAD e inviati ad una centrale o ad un ospedale [8]. Il mercato della salute portatile si prevede che porterà ad un giro d'affari di 9,3 miliardi nel 2014, pertanto l'utilizzo di tecnologie portatili a corto raggio come il Bluetooth, avrà sempre maggior rilievo in futuro.

2.5 Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Il sistema Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) nasce alla fine degli anni novanta come estensione delle normali reti LAN via cavo per fornire la possibilità di connessioni senza filo a breve raggio. Il protocollo IEEE 802.11 [9] che fu implementato consentiva lo scambio di dati a 1 - 2 Mbit/s a infrarossi o radiofrequenza (2.4 GHz). Nel 1999 furono definiti altri standard, in particolare l' 802.11b, compatibile con il precedente, ma capace di un transfer rate di 11 Mbit/s, al quale venne dato il nome commerciale di Wi-Fi. Successivamente, singoli produttori svilupparono ulteriori modifiche per raggiungere velocità di trasferimento maggiori o ridurre le probabilità di errore. Tuttavia, la maggior parte di questi apparecchi, per motivi commerciali di interoperabilità tra marchi diversi, continua a rimanere compatibile con lo standard Wi-Fi. Nel Wi-Fi sono implementabili due tipi di operabilità delle stazioni facenti parte della rete:

- **Modalità infrastruttura:** In questa modalità i client sono connessi ad un Access Point che regola la trasmissione dei dati. Ogni comunicazione passa dunque per l'Access Point e non sono consentite comunicazioni dirette tra due client della rete. L'area formata dall' Access Point e tutti i client connessi ad esso prende il nome di BSS (basic service set) o cella la quale è identificata con un BSS ID. Chiaramente è possibile connettere tra di loro più reti infrastrutturate connettendo direttamente gli Access Point che servono ogni singola rete. In questo modo si possono ottenere dimensioni della rete totale molto grandi con il pregio di avere una struttura affidabile e di facile manutenzione data che un Access Point gestisce solo una piccola parte della rete complessiva. Una rete strutturata in questo modo prende il nome di ESS (extended service set). Anche una rete di questo tipo possiede un ID che prende il nome di SSID.
- **Modalità ad hoc:** In questa modalità i client possono comunicare direttamente con altri client appartenenti alla stessa rete senza bisogno di un Access Point. In una rete di questo tipo ogni terminale ha allo stesso tempo il ruolo di client e di punto di accesso e la rete risultante prende il nome di IBSS (Independent basic service set).

Peculiarità di una rete Wireless è la mobilità che gli utenti possiedono, ovvero la possibilità di spostarsi (per esempio utilizzando un portatile all'interno di un ufficio) senza perdere la connessione e senza che si abbia un'interruzione dei servizi che utilizzano la rete.

Il Wi-Fi gestisce la mobilità che possono avere i terminali all'interno della rete definendo tre livelli possibili di transizioni:

- **Statica:** Il terminale o è fermo o si sposta in maniera limitata all'interno di un'area di un singolo BSS;
- **Transizione tra BSS:** Il terminale si sposta tra due diversi BSS, ma con il vincolo che siano appartenenti allo stesso ESS;
- **Transizione tra ESS:** Il terminale si sposta tra BSS appartenenti a due o più ESS diversi.

2.5.1 Tipo di copertura

Le coperture di queste antenne sono fondamentalmente di due tipi: *omnidirezionali* e *direttive*. Le antenne omnidirezionali vengono utilizzate di norma per distribuire la connettività all'interno di

uffici, o comunque in zone private e relativamente piccole. Oppure, con raggi d'azione più grandi, si possono coprire aree pubbliche (come aeroporti, centri commerciali ecc.). Con le antenne direttive è invece possibile coprire grandi distanze, definibili in termini di chilometri, e sono utili proprio per portare la banda larga nei territori scoperti dalla rete cablata. In questo caso, è possibile aggregare più reti in un'unica grande rete, portando la banda in zone altrimenti scollegate. Le antenne Wi-Fi generalmente sono parabole poste sui tralicci della corrente elettrica e dietro i campanili (che tipicamente sono i punti più alti nel paesaggio nazionale). Ciò evita un onere elevato per la costruzione di torrette dedicate. Le antenne delle singole case sono poste sui tetti. È importante porre in alto i trasmettitori perché in assenza di barriere in linea d'aria il segnale dell'access point copre distanze di gran lunga maggiori. Le antenne direttive che amplificano il segnale dell'access point, a parità di distanza in cui è ricevibile il segnale, sono utilizzabili da più utenze se poste in alto. Con un access point è possibile coprire con banda larga fino a una distanza di 300 metri teorici (uso domestico) se non vi è alcuna barriera in linea d'aria. In presenza di muri, alberi o altre barriere il segnale decade a 150 metri. Tuttavia, con 2-3 antenne direzionali dal costo ancora inferiore la copertura dell'access point sale a 1 km. Il segnale delle antenne direzionali, diversamente da quello dell'access point, è sufficientemente potente (in termini di Watt di potenza trasmessa) da mantenere lo stesso raggio di copertura di 1 km, inalterato anche in presenza di barriere in linea d'aria. Una buona rete è capillare (molti access point, antenne che ripetono il segnale) ed è standardizzata. Conta meno lo standard wireless utilizzato (l'evoluzione della tecnologia, col superamento dello standard e mancata interoperabilità con le nuove reti, è un fattore messo in conto nella progettazione delle reti).

2.5.2 Vantaggi

Non bisogna pensare a queste reti come velocità di scaricamento dei dati perché la velocità è limitata alla fonte. Il vantaggio di queste reti è la possibilità di connettersi da qualsiasi luogo dove non è possibile stendere cavi o arrivare pensiamo agli edifici vecchi, alle montagne, oppure è utile per collegare due edifici senza dover scavare per poterli collegare fisicamente mediante cavi. L'unica limitazione di legge è quella di non disturbare altre trasmissioni. A questo scopo il ministero delle comunicazioni e l'unione europea (UE) hanno dettato norme di limitazione di potenza e radiazioni del segnale sul suolo pubblico. Per non violare nessuna norma rivolgersi ad un antennista o installatore specializzato nelle reti wireless o Wi-Fi.

2.5.3 Svantaggi

Il tempo di latenza delle schede Wi-Fi è leggermente superiore a quelle basate su cavo con una latenza massima nell'ordine di 1-3 ms (per cui questo particolare è trascurabile, a differenza delle connessioni GPRS/UMTS che hanno latenze nell'ordine di 200-400 ms). Uno svantaggio delle connessioni Wi-Fi 802.11a/g può essere la stabilità del servizio ovvero dunque la qualità di servizio (QoS) offerta all'utente, che per via di disturbi sul segnale talvolta può essere discontinua (il segnale può ad esempio essere disturbato da forni a microonde nelle vicinanze che quando sono in funzione disturbano la frequenza operativa di 2,4GHz, problema risolto con l'utilizzo della frequenza operativa a 5 GHz). Secondo alcuni recenti studi, scienziati affermati dichiarano che le radiazioni Wi-Fi sono nocive al nostro organismo, anche perché coincidenti con quelle che nei forni a microonde permettono la cottura dei cibi (si veda il paragrafo dedicato più avanti).

2.5.4 Classi di Wi-Fi

Esistono varie classi di Wi-Fi con prestazioni diverse (come specificato meglio nei dettagli dello standard IEEE 802.11), le principali sono:

- Classe **802.11b**: Ha la capacità di trasmettere al massimo 11Mbit/s e utilizza il Carrier Sense Multiple Access con Collision Avoidance (CSMA/CA) come metodo di trasmissione delle informazioni. Una buona parte della banda disponibile viene utilizzata dal CSMA/CA. In pratica il massimo trasferimento ottenibile è di 5,9 Mbit/s in TCP e di 7,1 Mbit/s in UDP. Metallo, acqua e in generale ostacoli solidi riducono drasticamente la portata del segnale. Il protocollo utilizza le frequenze nell'intorno dei 2,4 GHz.
- Classe **802.11g**: Questo standard venne ratificato nel giugno del 2003. Utilizza le stesse frequenze dello standard 802.11b cioè la banda di 2,4 GHz e fornisce una banda teorica di 54 Mbit/s che nella realtà si traduce in una banda netta di 24,7 Mbit/s, simile a quella dello standard 802.11a. È totalmente compatibile con lo standard b ma quando si trova a operare con periferiche b deve ovviamente ridurre la sua velocità a quella dello standard b.
- Classe **802.11n**: Nel gennaio 2004 IEEE ha annunciato di aver avviato lo studio di un nuovo standard per realizzare reti wireless di dimensioni metropolitane. La velocità reale di questo standard dovrebbe essere di 100 Mb/s[2] (quella fisica dovrebbe essere prossima a 524 Mb/s), quindi dovrebbe essere 5 volte più rapido del 802.11g e 40 volte più rapido dell'802.11b. Il 19 gennaio 2007 il gruppo di lavoro 802.11 di IEEE ha approvato la Draft

2.0; sulla quale si sono basate le aziende produttrici per rilasciare i loro prodotti della fascia *Draft n*. Il primo grande produttore a rilasciare prodotti con le specifiche ufficiali 802.11n draft 2.0 fu ancora una volta Apple che presentò i suoi Macbook nella seconda metà del 2006, tutti forniti di serie con dispositivi *compliant* alla specifica 802.11n, ancora prima della ratifica ufficiale. Nel marzo 2009 il gruppo di lavoro TGn[3] è arrivato al draft 8.0. La versione definitiva dello standard è stata approvata l'11 settembre 2009[4] e la pubblicazione è avvenuta il 29 ottobre 2009. 802.11n include anche la possibilità di utilizzare la tecnologia MIMO (multiple-input multiple-output).[5] Questo consentirà di utilizzare più antenne per trasmettere e più antenne per ricevere incrementando la banda disponibile utilizzando una multiplexazione di tipo spaziale attraverso una codifica simile a quella di Alamouti. La specifica 802.11n ha la possibilità di operare sia nell'intorno dei 2.4 GHz sia nell'intorno dei 5 GHz. I prodotti che permettono questa possibilità vengono chiamati "dual band" proprio perché trasmettono nell'intorno dei 2.4 GHz e 5 GHz.

Tabella riassuntiva

Standard	Frequenza	Velocità di trasferimento (Mbit/s)
802.11 legacy	FHSS, 2,4 GHz, IR	1, 2
802.11 ^a	5,2, 5,4, 5,8 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11b	2,4 GHz	1, 2, 5.5, 11
802.11g	2,4 GHz	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11n	2,4 GHz, 5,4 GHz	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54, 125

2.5.5 Futuro del Wi-Fi

Sicuramente il Wi-Fi ha futuro e lo dimostrano i continui sviluppi dei protocolli, i cui rilasci, negli ultimi anni, stanno vivendo un'accelerazione significativa e stanno spostando sempre più le applicazioni Wi-Fi da consumer a professionale. Ad esempio, grazie allo sviluppo del Low Power Wi-Fi, secondo alcuni studi di mercato, come ad esempio IMS Research [10], nel 2016 avremo milioni di apparati in grado di utilizzare questo protocollo che consentirà la trasmissione Wi-Fi a basso consumo e a lunga distanza, consentendo così lo sviluppo di nuove e importanti applicazioni di building automation, energy control e applicazioni M2M. Grazie al protocollo 802.11ac[11], di cui si prevede il rilascio per il 2015, sarà possibile trasmettere a banda ultra larga su reti Wi-Fi consentendo così lo sviluppo di applicazioni multimediali e soprattutto migliorando sempre di più uno dei problemi annosi del Wi-Fi ovvero le infrastrutture che ne ostacolano la diffusione rimbalzando il segnale. Il beneficio principale dell'802.11ac, sarà un migliore throughput, utilissimo per video streaming in HD. I canali passano da una larghezza di 40Mhz a 80Mhz e l'utilizzo sarà praticamente solo sulla banda dei 5Ghz. Su questa frequenza si potranno gestire 4 canali non sovrapposti da 80Mhz in Europa. La velocità potrà arrivare a 1Gbit/s. Il 22 luglio 2011, l'IEEE ("*Institute of Electrical and Electronics Engineers*") ha annunciato[12] di aver portato a compimento il processo di standardizzazione dell'802.22, altrimenti conosciuto come "*Super Wi-Fi*". Altre novità prevedono l'utilizzo delle bande di frequenza che restano inutilizzate da parte dei network televisivi (i cosiddetti "*white spaces*", che già viaggiano tra 54 e 862 MHz su VHF e UHF), lo standard IEEE 802.22 permetterà di costruire le cosiddette *Wireless Regional Area Networks* (WRANs) pensate con il preciso obiettivo di portare la banda larga anche nelle zone rurali più sperdute. Il sistema si prefigge di servire le aree meno densamente popolate, come le zone rurali, snobbate dalla banda larga ma raggiunte dalla televisione. Le specifiche ufficiali parlano di una velocità di trasmissione pari a 22Mbit/s per canale e di una portata massima di 100 Km, per ogni trasmettitore. In teoria, la Wi-Fi 802.22 potrebbe quindi coprire tutto il territorio degli Stati Uniti con circa 300 access point. Sulla carta, il segnale della WRAN vince la sfida col WiMAX (IEEE 802.16f), che lavora a onde corte intorno ai 2GHz, ma per il momento si parla solo di "potenziale" e di prospettive future. Un possibile avversario del Wi-Fi, per il futuro potrebbe essere un chip presentato dall'azienda giapponese Rohm, produttrice di componenti elettronici, che permetterà lo scambio di dati via wireless tra dispositivi sino a 1,5 Gbit/s ma l'azienda afferma anche che è sicura di poter incrementare la velocità sino a 30 Gbit/s

con opportune evoluzioni tecniche[13]. Prestazioni che fanno impallidire il Wi-Fi anche perché questa nuova soluzione ideata da Rohm risulterebbe economica e di facile implementazione nei dispositivi mobili. Per gli amanti dei dettagli tecnici diciamo che questa nuova tecnica di trasmissione senza fili sfrutta onde radio a frequenza terahertz (tra 300 GHz e i 3 THz) e garantisce un buon raggio d'azione. Tuttavia questo nuovo chip è ancora in fase di sperimentazione e la produzione di massa si avvierà solo tra 3 o 4 anni.

2.6 LMDS

Il sistema punto multipunto LMDS (Local Multipoint Distribution Service) è una tecnologia wireless di accesso alla banda larga (BWA - Broadband Wireless Access) in principio progettato per le trasmissioni televisive digitali (DTV), viene oggi utilizzato genericamente per indicare tutti i sistemi di trasmissione radio punto-multipunto operanti a frequenza da 10GHz a 43GHz (MWS). LMDS risolve il problema dell'ultimo miglio, cioè la cablatura degli edifici e la connessione alla rete cittadina. Invece di cablare gli edifici, LMDS consente agli utenti di utilizzare un singolo nodo d'accesso con una velocità teorica massima di 2 Gbit per secondo, e velocità media di 38 Mbit per secondo. La tecnologia LMDS all'inizio degli anni novanta era considerata di livello, tanto da essere noto come “wireless cable”, concorrente potenziale delle aziende che utilizzavano tecnologie wired per la fornitura di frequenze televisive a banda larga. Tuttavia nonostante le sue potenzialità non riuscì mai ad avere una crescita commerciale adeguata. Oggi la tecnologia LMDS può considerarsi superata dallo sviluppo dello standard WiMAX e LTE, pertanto non ha più prospettive future.

2.7 MMDS

Chiamato oggi più comunemente Broadband Radio Service (BRS) , MMDS per Multichannel Multipoint Distribution System e rappresenta le tecnologie di trasmissione radio su frequenze tra i 2,3 e i 6 GHz. A queste frequenze (soprattutto sotto i 3.5 GHz) non è necessario avere la visibilità ottica tra le antenne, quindi è più agevole ottenere buoni livelli di copertura e elevata ampiezza delle celle (oltre i 15Km), sebbene con capacità di trasmissione di livello inferiore all'LMDS. La velocità

di trasmissione infatti si attesta nell'ordine dei Mbit/s, tuttavia a rendere però questa tecnologia l'ideale nelle soluzioni small e home office sono i minori costi di applicazione e la maggiore capacità di propagazione, non suscettibile ad interferenze dovute ad ostacoli. L'utilizzo di tecnologia MMDS è comunemente utilizzato come mezzo di ricezione di televisione via cavo negli Stati Uniti, Canada, Messico, Repubblica Dominicana, Tailandia, Uruguay, India, Bielorussia, Libano, Cambogia e Kazakhstan.

2.7.1 Stato attuale

Negli Stati Uniti WATCH Communications (con sede a Lima, OH), Eagle Vision (con sede a Kirksville, MO), e molte altre aziende offrono MMDS televisione via cavo wireless, accesso internet, e IP basati su servizi telefonici. T-Mobile USA con l'acquisto di frequenze di 2,1 GHz in molte aree del paese, e l'utilizzo del modem a monte MMDS DOCSIS (standard internazionale di telecomunicazioni che permette l'aggiunta di alta velocità di trasferimento dati a una esistente TV via cavo (CATV) del sistema. Esso viene utilizzato da molti operatori televisivi via cavo di fornire accesso a Internet sulla loro attuale infrastruttura HFC), il futuro di questo tipo di servizio negli Stati Uniti è in dubbio. Tuttavia, la nuova attrezzatura di CBE permette che gli operatori usino la parte dei 2,5 - 2,7 spettro del gigahertz MMDS principali per il modem a monte, garantendo un funzionamento futuro negli Stati Uniti. Con la disponibilità di attrezzature WiMAX più recenti, alcune aziende stanno cercando di implementare servizi mobili invece dei servizi fissi per la futura espansione. Pertanto l'utilizzo futuro della tecnologia MMDS è da scartare.

2.8 iBurst

Il sistema iBurst [14] è un sistema di accesso mobile a banda larga (MBWA), definita dallo standard IEEE 802.20, chiamata anche HC-SDMA (High Capacity Spatial Division Multiple Access), è dotata di un'antenna che ottimizza la potenza del segnale che permette una copertura di 1-2 Km in ambienti densamente urbanizzati e oltre 12 Km in ambienti suburbani se attrezzata di un Desktop Modem e di un antenna interna. Sviluppato da ArrayComm e annunciato nel 2000, attualmente consente la connessione fino a 2 Mbit/s, in futuro si pensa che questa velocità possa essere incrementata di 5 Mbit/s.

2.9 WiBro

WiBro [15] è una tecnologia internet wireless a banda larga sviluppata dall'industria delle telecomunicazioni coreana. Si tratta di un sistema basato sulla tecnica d'accesso multiplo OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) a divisione di tempo TDD (Time Division Duplexing) che utilizza un'assegnazione asimmetrica e dinamica della risorsa radio per il downlink e l'uplink. Le stazioni base WiBro offriranno un throughput complessivo tra i 30 ed i 50 Mbit/s, e copriranno un raggio di 1–5 km, permettendo così l'uso nomadico di Internet. La tecnologia offrirà anche qualità del servizio, in modo da permettere a WiBro di inviare contenuti video in streaming e altri dati che necessitano di inviare dati in maniera affidabile. Nel 2006 in occasione delle olimpiadi di Torino, Telecom Italia ha sperimentato l'utilizzo del sistema WiBro attraverso il quale gli spettatori potevano usufruire dei servizi mobili a banda larga, con velocità di download da 30 a 50 Mbit/s anche per trasmissione in movimento a 120 Km/h [16]. L'industria delle telecomunicazione coreana intende inoltre per il futuro, molto probabilmente verso la fine del 2012, incrementare le prestazioni del WiBro di 10 volte quelle attuali.

2.10 HiperMAN

HiperMAN è l'acronimo per High Performance Radio Metropolitan Area Network ed indica lo standard creato dall'European Telecommunications Standards Institute (ETSI), in particolare dal gruppo Broadband Radio Access Networks (BRAN), per dotare l'Europa ed altri paesi che aderiscono agli standard ETSI di una rete di comunicazione Wireless sulla banda di 2 - 11 GHz. HIPERMAN è l'alternativa Europea a WiMAX ed alla coreana tecnologia WiBro. HiperMAN punta principalmente per fornire accesso a banda larga wireless a Internet, in una vasta area geografica. Lo standard si focalizza sull'ottimizzazione per l'accesso a banda larga nelle bande di frequenza inferiori 11 GHz (principalmente nella banda 3,5 GHz). HiperMAN offre varie categorie di servizi velocità di connessione, elevata sicurezza, QoS e supporta sia frequenze FDD (Frequency-Division Duplexing) e TDD (Time-Division Duplex).

2.11 WiMAX

Il WiMAX è una tecnologia che consente l'accesso a reti di telecomunicazioni a banda larga e senza fili (BWA - Broadband WIRELESS Access). L'acronimo è stato definito da WiMAX forum [17], un consorzio formato da più di 420 aziende il cui scopo è sviluppare, supervisionare, promuovere e testare la interoperabilità di sistemi basati sullo standard IEEE 802.16, conosciuto anche come WirelessMAN (WIRELESS Metropolitan Area Network). Il WiMAX forum si è formato nel giugno 2001. Le tecnologie WiMAX possono essere utilizzate sia per il backhauling, ossia per estendere la connettività broadband della backbone alle zone limitrofe, sia per l'ultimo miglio, ovvero per offrire servizi broadband agli utenti sia residenziali sia business locati nell'area geografica coperta in modalità d'accesso fissa, nomadica, portatile e mobile. A seconda della normativa del paese di riferimento, le frequenze usate da WiMAX potrebbero essere soggette a concessione in licenza (cioè assegnate in uso esclusivo dalle istituzioni governative preposte a enti e aziende, solitamente dietro compenso) oppure trovarsi su bande "non licenziate" (cioè essere frequenze per il cui utilizzo non è necessaria licenza, ma possono essere necessarie autorizzazioni). La tecnologia supporta velocità di trasmissione di dati condivisi fino a 70 Mbit/s in aree metropolitane, inoltre non richiede necessariamente visibilità ottica, ma senza di essa le prestazioni sono decisamente inferiori e la connettività ristretta ad aree limitate. Secondo i proponenti di WiMAX l'ampiezza di banda sarebbe sufficiente a supportare simultaneamente almeno 40 aziende con connettività di tipo T1 e 70 abitazioni con connettività al livello di una DSL da 1 Mbit/s. Sulla base delle aspettative sul WiMAX, si prevedeva di poter fornire copertura a banda larga per un ampio raggio (fino a 50 km) da ciascuna stazione base, con la conseguente possibilità di utilizzo della tecnologia per ridurre il digital divide. I test condotti sul campo hanno però rivelato prestazioni decisamente inferiori. Da un punto di vista strutturale una rete WiMAX (vedi fig. 2) è composta da:

- **Base Station (BS):** trasmettitore che copre una determinata area geografica collegato via cavo (es. fibraottica) con l'ISP;
- **Subscriber Station (SS):** gateway, si occupa di inoltrare il traffico proveniente dal suo Terminal Equipment verso la Base Station che a sua volta si occuperà di inviare il traffico alla destinazione finale;

- **Terminal Equipment(TE):** terminale attraverso il quale l'utente si connette alla rete (es. PC);
- **Repeater Station (RS):** ripetitore di segnale che si frappone tra BS e SS su vaste aree geografiche.

WiMAX: How it works

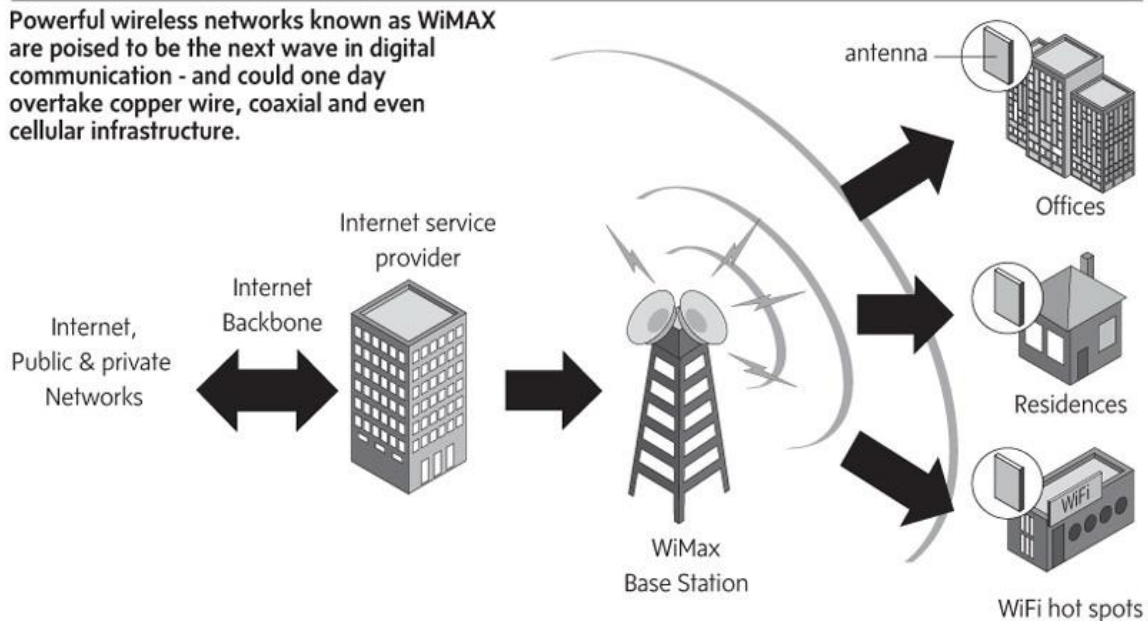


Fig.2 - Schema di funzionamento di una rete WiMAX

2.11.1 Standard IEEE 802.16

WiMAX si basa sulla famiglia di standard IEEE 802.16, noto anche come WirelessMAN, specializzato nell'accesso senza fili a banda larga del genere punto-multipunto. Secondo alcuni si potrebbe addirittura dire che WiMAX è sinonimo di IEEE 802.16. Ciò nonostante uno degli obiettivi fondamentali del WiMAX Forum, è la ricerca dell'interoperabilità, e i dispositivi che vengono ufficialmente certificati da questa organizzazione rispettano sia lo standard americano IEEE 802.16 che lo standard HIPERMAN, proposto dall'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Recentemente è stata allargata la compatibilità anche ai prodotti coreani WiBro. WiMAX Forum ha lavorato per rendere IEEE 802.16 e HIPERMAN interoperabili e il più

possibile vicini: i prodotti certificati dall'organizzazione sono compatibili sia con 802.16 che con HIPERMAN.

Standard	Descrizione	Data di pubblicazione	Stato
IEEE std 802.16-2001	definisce reti metropolitane senza fili che utilizzano frequenze superiori a 10 GHz (fino a 66 GHz), con LoS	8 aprile 2002	obsoleto
IEEE std 802.16c-2002	definisce le opzioni per le reti che utilizzano frequenze tra 10 e 66 GHz.	15 gennaio 2003	
IEEE std 802.16a-2003	emendamento allo standard 802.16 per le frequenze tra 2 e 11 GHz, senza LoS.	1 aprile 2003	
IEEE std 802.16-2004 (anche detto 802.16d)	attualizzazione e revisione degli standard di base 802.16, 802.16a e 802.16c.	1 ottobre 2004	obsoleto/attivo
IEEE 802.16e (anche detto IEEE std 802.16e-2005)	aggiunge allo standard componenti per la mobilità, fino a 122 km/h, per cui è detto anche WiMAX mobile. Usa tecnologia OFDMA e permette l'handover e quindi anche l'uso all'interno di veicoli in movimento.	7 dicembre 2005	attivo
IEEE 802.16f	specifica la MIB (Management Information Base), per i livelli MAC (Media Access Control) e PHY (fisico)	22 gennaio 2006	

Nell'ottobre 2005 è arrivato anche lo standard pensato per l'utilizzo di WiMAX in ambito mobile.

Le caratteristiche principali del documento approvato dall'IEEE sono le seguenti:

- Frequenze radio utilizzate che coprono le bande dei 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, 3,5 GHz e 5,8 GHz.
- Modalità di modulazione con accesso multiplo in OFDM, che suddivide lo spazio di frequenze disponibili in diversi gruppi di portanti con sottocanali e riduce le interferenze per i terminali con antenna omnidirezionale (tipicamente i terminali mobili).
- Scalabilità dell'occupazione dei canali sulla base della disponibilità di banda.
- Supporto di antenne adattative, ossia con la focalizzazione in ricezione e trasmissione effettuate "formando" il fascio radio (modificando la direzionalità dell'antenna) con mezzi non meccanici ma elettronici.
- Miglioramento nella gestione dell'handover, ossia il passaggio di un terminale da una stazione base a un'altra senza perdita di connessione.
- Gestione del roaming, ossia la possibilità per un abbonato di un gestore di connettersi tramite un altro gestore.

Tutto ciò dovrebbe consentire a un terminale su veicolo in movimento di rimanere collegato (trasferendo dati) fino a una velocità di circa 120 km/h, limite dettato dalle caratteristiche del protocollo di handover in base al rapporto di QoS (Quality of Service). Superando questa velocità si incorre inevitabilmente nella disconnessione del proprio computer in quanto la potenza del segnale ed il rapporto segnale/rumore non soddisfa le necessarie caratteristiche qualitative di trasporto. Questo limite potrebbe risultare scomodo per coloro che usano un terminale (notebook, PDA, ecc.) in movimento a grande velocità, che non potranno sfruttare il WiMAX a meno che non vengano ulteriormente modificati i parametri dello standard IEEE 802.16 come tecnica di modulazione, larghezza di banda e altre caratteristiche del mezzo trasmissivo.

2.11.2 Caratteristiche WiMAX

- **Facilità di installazione**, rapido sviluppo e bassi costi (Licenze, installazione, copertura LOS/NLOS)
- **Ampie aree di copertura**: grazie alla tecnica OFDM è in grado di operare in condizioni NLoS (Non-line-of-sight, la maggior parte delle tecnologie ad oggi disponibili per connessioni broadband forniscono solo connessioni Line-of-Sight) ;

- **Mobilità:** Nella stessa rete può supportare accessi fissi, nomadici, mobili fino a 160 Km/h;
- **Costi / copertura:** lo standard di tipo “open”, unito all'economia di scala dovuta alla produzione dei componenti WiMAX, dovrebbe ridurre notevolmente i costi per fornitori ed utenti, assicurando la copertura tra Base Station e Subscriber Station, ed elevata velocità di banda. In realtà i costi delle apparecchiature si sono rivelati decisamente più elevati rispetto a quelle necessarie per altri sistemi wireless come ad esempio HIPERLAN;
- **Interoperabilità:** WiMAX è basato su uno standard internazionale “open”;
- **Tecnologia multi-applicazione:** usa il protocollo IP per supportare tutti i tipi di servizi multimediali dal VoIP all’accesso Internet, al trasferimento video ad alta velocità. Grazie agli alti data rate (fino a 70Mb/s) garantiti è in grado di supportare tutti i servizi di ultima generazione ed oltre;
- **Flessibilità di architettura:** WiMAX supporta diversi tipi di architetture in base alle specifiche applicazioni: Point-MultiPoint; ultimo miglio ma anche come backhaul verso la rete PSTN e verso punti di accesso Internet.
- **Flessibilità di spettro:** possibilità di lavoro in differenti range di frequenza: bande licenziate 3.3-3.8 GHz e 2.3-2.7 GHz; bande non licenziate 5.725-5.85 GHz;
- **Sicurezza:** WiMAX supporta AES (Advanced Encryption Standard) e 3DES (Triple DES, Data Encryption Standard a 56 bit). Attraverso la crittografia WiMAX assicura privacy e sicurezza nei collegamenti;
- **WiMAX QoS:** WiMAX può essere dinamicamente ottimizzato per un traffico eterogeneo;
- **Multi-Level Service:** il modo in cui la QoS è garantita è basato sul Service Level Agreement (SLA) tra il service provider e l’utente. Possono essere offerti differenti SLA a differenti utenti.

2.11.3 Architettura livello MAC

Il livello MAC comprende i seguenti sottolivelli:

- **CS Convergence Sublayer:** effettua tutte le trasformazioni ed il mapping dei dati ricevuti attraverso il CS SAP (CS Service Access Point) nelle relative MAC PDU ovvero si interfaccia a tecnologie quali ATM, Ethernet, IP, etc. In pratica permette di mettere in

comunicazione entità identiche (stesso tipo di formato d'informazione) trasportando i dati con il loro formato se è tra quelli accettati.

- **MAC CPS Common Part Sublayer:** è il cuore le WiMAX MAC e garantisce:
 - ✓ Net Entry (accesso alla rete)
 - ✓ Mobilità
 - ✓ Instaurazione e mantenimento della connessione
 - ✓ Allocazione banda
 - ✓ Frammentazione e riassetaggio
 - ✓ Gestione della connessione (CID, QoS)
 - ✓ Sleep, Idle mode

Tipicamente è anche suddiviso in Upper CPS e Lower CPS. Upper si occupa della mobilità e il controllo delle risorse radio, mentre Lower si occupa del controllo dei canali fisici. Realizza un servizio connection-oriented attraverso una procedura di scheduling. La Subscriber station (SS) non può trasmettere dati finché la Base Station (BS) non gli assegna un canale. Questo consente a 802.16e di fornire un forte supporto per la Quality of Service (QoS) (vedi fig.3). Sono previsti meccanismi per differenziare la QoS secondo le differenti necessità delle applicazioni. Sono previste 5 classi di servizio:

1. Unsolicited grant service (UGS);
2. Extended real-time variable rate (ERT-VR) service;
3. Real-time polling service (rtPS);
4. Non-real-time polling service (nrtPS);
5. Best effort (BE);

Service	Abbrev	Definition	Typical Applications
Unsolicited Grant Service	UGS	Real-time data streams comprising fixed-size data packets issued at periodic intervals	T1/E1 transport
Extended Real-time Polling Service	ertPS	Real-time service flows that generate variable-sized data packets on a periodic basis	VoIP
Real-time Polling Service	rtPS	Real-time data streams comprising variable-sized data packets that are issued at periodic intervals	MPEG Video
Non-real-time Polling Service	nrtPS	Delay-tolerant data streams comprising variable-sized data packets for which a minimum data rate is required	FTP with guaranteed minimum throughput
Best Effort	BE	Data streams for which no minimum service level is required and therefore may be handled on a space-available basis	HTTP

Fig. 3 - Classi di servizio

- **PS Privacy Sublayer:** Gestisce gli aspetti legati alla sicurezza
 - ✓ Autenticazione: ovvero verifica della corretta identità richiesta dal dispositivo WIMAX. Essa include l'autorizzazione di quali risorse/servizi sono a disposizione dell'apparato WiMAX.
 - ✓ Confidenzialità: assicura la protezione dei dati e delle informazioni scambiati attraverso una procedura di crittografia. WiMAX garantisce sicurezza solo tra SS e BS e non a livello end-to-end.

2.11.4 Architettura livello PHY

Il livello fisico è incaricato di fornire l'interfaccia per la trasmissione fisica del segnale, per modularlo, codificarlo e sincronizzare il flusso dei bit. Nel WiMAX si utilizza il S-OFDMA(Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing) . Questa è una tecnica di multiplexing di tipo multi-portante, che utilizza un numero elevato di sottoportanti ortogonali tra di loro. Suddivide il flusso in input in tanti substream paralleli, per ridurre la velocità di trasmissione ogni substream è modulato e trasmesso in una sottoportante ortogonale diversa(OFDM). Ciò viene fatto per aumentare la robustezza rispetto al ritardo di propagazione. Grazie al fatto che le portanti sono ortogonali fra loro, non c'è cross talk anche se il loro spettro è molto vicino o talvolta in

sovrapposizione. Permettendo la sovrapposizione dello spettro si aumenta l'efficienza della larghezza della banda giacché si riduce lo spettro richiesto.

I segnali OFDM sono generati attraverso la IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) che consente di creare un gran numero di sottoportanti(fino a 2048) di bassa complessità. Nel dominio del tempo le risorse dell'OFDM sono disponibili per mezzo di OFDM symbol, mentre nel dominio della frequenza per mezzo di sottoportanti. Per allocare singoli utenti le risorse (sia tempo che frequenza) sono organizzate in sottocanali in modo da permettere a più utenti di usare le risorse contemporaneamente(OFDMA). Diverse sottoportanti saranno assegnati a diversi utenti a seconda delle condizioni del canale e del servizio che l'utente richiede.(in finale l'OFDMA è come il CDMA per l'UMTS: assegna le risorse a utenti contemporaneamente). Il s-OFMDA è una modulazione usata per superare le problematiche delle diverse dimensioni di canale in paesi diversi essendo in grado di supportare i formati dei canali che vanno da 1,25 MHz fino a 20 MHz. Questo viene effettuato modificando la dimensione della FFT a seconda della dimensione del canale o della larghezza di banda, mantenendo fissa la frequenza della sottoportante a 10.94 kHz. Grazie al fissaggio sia della larghezza di banda della sottoportante che della velocità di trasmissione, l'impatto nei livelli superiori in presenza di scalabilità risulta minimo. Per effettuare la divisione in sottoportanti ci sono 2 tecniche di allocazione(chiamate tecniche di permutazione):

- ✓ Sottoportanti distribuite(es PUSC o FUSC[solo in DL]) : traccia sottoportanti pseudo-casuali per formare un sottocanale. Questo fornisce distribuzione della frequenza e minimizzazione dell'interferenza. Più adatto per la mobilità
- ✓ Sottoportanti contigue(es AMC) : raggruppa un blocco contiguo per formare un sottocanale. Questa tecnica ottimizza l'allocazione multi-utente, facendo scegliere a quest'ultimo il canale con il segnale migliore. Più adatto per i fissi e portatili con bassa mobilità.

Il WiMAX supporta tecniche di codifica QPSK 16 QAM e 64 QAM(obbligatoriamente) in DL, mentre in UL 64 QAM è opzionale. Sono supportati Codici Convoluzione e Codici Turbo. Per garantire robustezza agli ambienti mobili WiMAX combina l'HARQ,AMC e CQICH.

Le potenzialità del WiMAX possono essere sfruttate in molte applicazioni. La prima e forse la più importante riguarda la possibilità di accedere ad una rete ad alta velocità da una postazione wireless fissa. Quest'accesso può essere quindi usato per le connessioni Internet, per il VoIP, l'IPTV o il Video-on-Demand (vedi fig. 4).

Table 2 WIMAX Service Classes			
Class Description	Real Time?	Application Type	Bandwidth
Interactive Gaming	Yes	Interactive Gaming	50 - 85 kbps
VoIP, Video Conference	Yes	VoIP	4 - 64 kbps
		Video Phone	32 - 384 kbps
Streaming Media	Yes	Music/Speech	5 - 128 kbps
		Video Clips	20 - 384 kbps
		Movies Streaming	> 2 Mbps
Information Technology	No	Instant Messaging	< 250 byte messages
		Web Browsing	> 500 kbps
		Email (with attachments)	> 500 kbps
Media Content Download (Store and Forward)	No	Bulk Data, Movie Download	> 1 Mbps
		Peer-to-Peer	> 500 kbps

Fig.4 - WiMAX prevede un ampio range di applicazioni

2.11.5 Futuro WiMAX

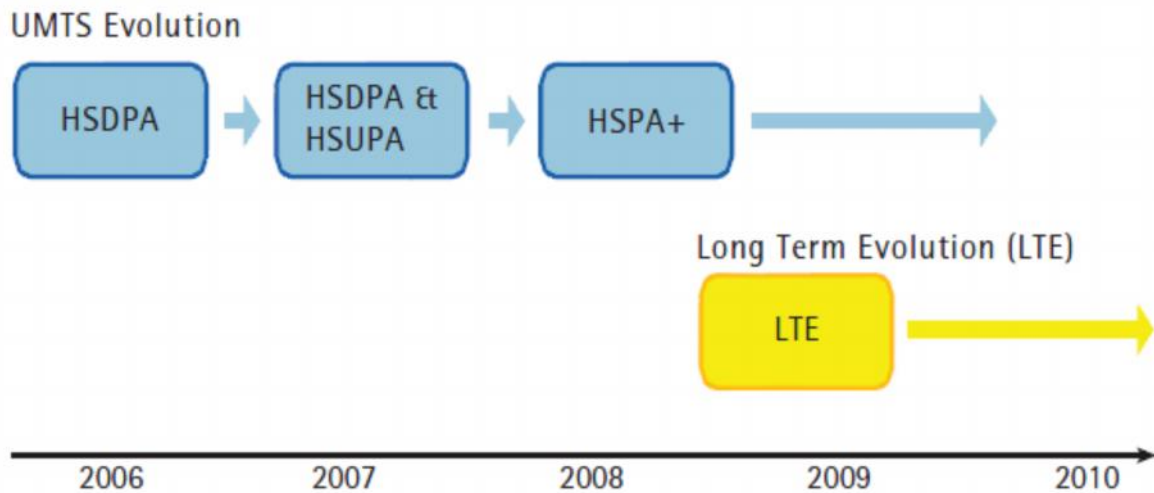
Il 31 marzo 2011 l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ha approvato lo standard 802.16m destinato alle reti WiMAX di nuova generazione (WirelessMAN-Advanced o WiMAX-2). Lo standard, in grado di offrire velocità in downstream di oltre 300Mbps[18], è il primo standard globale per il WiMAX e su di esso poggiano le speranze dei suoi sostenitori per recuperare il gap nei confronti dell'LTE in vista del lancio dei servizi 4G. IEEE 802.16m, evoluzione di 802.16e/Mobile WiMAX (con cui sarà compatibile) incorpora tecnologie di comunicazione innovative come MIMO (entrate multiple, uscite multiple), il funzionamento multiportante e la comunicazione cooperativa, oltre al supporto per le femtocelle ed è già stato adottato da diverse amministrazioni, governi e associazioni, quali ARIB, TTA e WiMAX Forum. Alcuni operatori hanno già testato le potenzialità della tecnologia 802.16m: una rete basata su una

versione embrionale dello standard - in grado di ottenere prestazioni pari a circa 330 Mbit/s (più di 40 MB di dati al secondo) durante il trasferimento dei dati - è stata testata da Samsung. L'impatto sul mercato del nuovo standard, tuttavia, dipenderà in gran parte dalla capacità di mantenere un buon margine sull'LTE-Advanced in grado di portare la velocità della banda larga mobile fino a 1 gigabit al secondo. Mentre infatti la prima versione del WiMAX fa fatica a trovare uno sbocco commercialmente sostenibile, l'LTE (Long Term Evolution) procede spedito, con circa 200 operatori in tutto il mondo impegnati a investire nelle reti mobili di nuova generazione basate sulla tecnologia. Dal 2014 LTE si aspetta di avere un numero di clienti 10 volte superiore a quello del WiMAX (303,1 milioni contro 33,4 milioni). Negli Stati Uniti si giocherà probabilmente il destino dell'una o dell'altra tecnologia. Verizon (azienda leader di telecomunicazioni) punta tutto sull'LTE, Sprint sul WiMAX, AT&T e T-Mobile hanno fatto capire che la loro tecnologia 4G, quando lo lancio, sarà basata su tecnologia LTE. Il più grande produttore di telefonia mobile al mondo, Nokia, supporta LTE. In India, uno dei più grandi mercati di telecomunicazioni al mondo, una parte dello spettro 4G è stato acquisito da una società che utilizzerà l'LTE. Qualcomm, che ha anche lo spettro 4G in India, punta tutto su LTE. In molti paesi asiatici, tuttavia, esiste già una rete WiMAX, come la rete P1 in Malesia. In tali luoghi, si potrebbe preferire l'aggiornamento a WiMAX, piuttosto che passare a una tecnologia completamente nuova. In Italia il WiMAX stenta a decollare, dal punto di vista tecnico molti analisti indicano come possibili colpevoli le frequenze d'utilizzo del WiMAX che sarebbero troppo alte. Il WiMAX nasce per portare la banda larga nelle zone digital divide ma è stato concepito anche per un suo uso mobile ponendosi quasi in competizione con i collegamenti 3G degli operatori di telefonia cellulare. Il problema è che per garantire una capillare copertura o almeno una copertura tale da permettere un uso del WiMAX senza intoppi, con le frequenze a 3,6Ghz, è necessario installare molte antenne e tutte vicine tra loro. Con frequenze così alte il segnale risente pesantemente degli ostacoli attenuandosi molto e rendendo problematico il collegamento in ambienti indoor non vicinissimi ai ripetitori.

2.12 LTE - Long Term Evolution

L'LTE rappresenta l'ultima evoluzione degli standard dedicati alle reti di telefonia mobile a banda larga ed è giunto alla sua definizione finale nel 2008 (vedi fig. 5), grazie all'accordo di collaborazione 3GPP (3rd Generation Partnership Project) stabilito nel dicembre 1998 tra i principali enti di standardizzazione nelle telecomunicazioni. Esso si colloca in posizione intermedia tra gli standard di terza generazione 3G e gli standard di quarta generazione 4G, ancora in fase di elaborazione, con l'obiettivo di promuovere l'uso della banda larga in mobilità, sfruttando l'esperienza e gli investimenti effettuati per le reti 3G ed anticipando i tempi rispetto alla disponibilità degli standard 4G, il cui obiettivo è quello di raggiungere velocità di connessione wireless anche superiori ad 1 Gbit/s. L'LTE è un forte antagonista del WiMAX e delle sue evoluzioni; oggi molti operatori stanno pensando di passare allo standard LTE non appena gli apparati saranno disponibili, abbandonando così il CDMA (Code Division Multiple Access, standard trasmissivo di terza generazione più diffuso a livello mondiale), il cui successo è ormai sempre più limitato, rendendo molto più vicina la possibilità di realizzare uno standard per le comunicazioni mobili veramente mondiale. Il progetto LTE si è concentrato all'inizio, sul rafforzamento del Universal Terrestrial Radio Access (UTRA). L'obiettivo era quello di avere un throughput, ossia una capacità di trasmissione di trasferimento dati in downlink fino a 100 Mbit/s e di 50 Mbit/s in uplink. Già verso la fine del 2008, le specifiche erano sufficientemente stabili per l'implementazione commerciale. L'utilizzo della modulazione Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDMA) per il downlink e del Single-Carrier FDMA per l'uplink, segnano un sostanziale progresso rispetto alle tecnologie passate, come HSPA+, capace di raggiungere 28 Mbps in downlink e 11Mbps in uplink. Nel settembre 2009 il gruppo 3GPP ha proposto all'ITU (International Telecommunication Union) agenzia specializzata delle Nazioni Unite che si occupa della definizione degli standard utilizzati nelle telecomunicazioni, l'LTE-Advanced come candidato per rappresentare le tecnologie di 4 generazione definite "IMT-Advanced".

L'LTE-Advanced introduce ulteriori miglioramenti nella parte radio mantenendo la retro-compatibilità con l'LTE, ma portando la banda massima in download fino a 1 Gbit/s e in upload a 500 Mbit/s. In particolare con l'LTE-Advanced sarà possibile combinare fino a 5 canali da 20 MHz e sfruttare configurazioni multi-antenna MIMO fino a 8x8. La tecnologia LTE-Advanced è già disponibile in Giappone dal 2006.



Evolution timeframe for planned 3GPP systems.

Fig. 5 - Evoluzione Tecnologia LTE

2.12.1 Confronto con le tecnologie precedenti

Pur utilizzando una diversa forma di interfaccia radio, OFDMA/SC-FDMA invece di CDMA, ci sono molte similitudini con le precedenti forme di architettura 3G[19].

	WCDMA (UMTS)	HSPA	HSPA+	LTE	LTE Advanced
Max Downlink Speed(bps)	384 Kbit/s	14 Mbit/s	28 Mbit/s	300 Mbit/s	1 Gbit/s
Max Uplink Speed (bps)	128 Kbit/s	5.7 Mbit/s	11 Mbit/s	75 Mbit/s	500 Mbit/s
Latency round trip time(ms)	150	100	50	~10	~5
3GPP Releases	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8	Rel 10
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA	OFDMA Ibrido / SC-FDMA

Inoltre la rete LTE è interamente basata sul protocollo IP e supporta sia IPv4 che IPv6.

2.12.2 Trasmissione OFDM

Nei sistemi basati sull'OFDM [20], la banda disponibile viene suddivisa in tante sottobande, trasmettendo i dati su flussi paralleli. I dati trasmessi su ciascuna sottobanda vengono poi modulati, attraverso una delle modulazioni numeriche possibili (QPSK, QAM, 64QAM, ecc.), in base alla qualità del segnale ricevuto. L'impiego della tecnica OFDM nei sistemi di comunicazione ha consentito di ridurre fortemente le criticità che si determinavano quando, per raggiungere data rates in trasmissione più elevati, l'unica soluzione possibile sembrava quella di aumentare il symbol rate.

In pratica ogni simbolo OFDM risulta essere una combinazione lineare dei segnali presenti su ciascuna sottoportante, ad un certo istante, e poiché i dati sono trasmessi in parallelo, piuttosto che in serie, i simboli OFDM sono generalmente molto più lunghi dei simboli trasmessi su sistemi single carrier con un equivalente data rate.

Due ulteriori peculiarità dei sistemi di trasmissione basati sulla tecnica OFDM sono:

- ciascun simbolo OFDM trasmesso è preceduto da un prefisso ciclico (CP), ovvero da una breve replica della parte finale del segnale ottenuto dalla somma dei simboli su ciascuna sottobanda. Questa caratteristica permette di ridurre sensibilmente l'effetto prodotto dall'Intersymbol Interference (ISI) ovvero dell'effetto determinato dalla sovrapposizione di repliche del segnale (echi) in ricezione;
- le sottobande in cui viene suddivisa l'intera banda sono ortogonali l'una all'altra, ovvero la distanza viene scelta in modo che la risposta impulsiva della carrier di ciascun canale abbia un massimo laddove la risposta impulsiva delle carrier dei canali adiacenti hanno invece un valore nullo. Ciò determina, idealmente, un'assenza di interferenza da canale adiacente (ICI).

Un'altra caratteristica importante dei sistemi che impiegano la tecnica OFDM è che la conversione dei simboli nel segnale da trasmettere ed il viceversa si ottiene attraverso una semplice trasformata di Fourier (FFT). Nello specifico, una FFT inversa (IFFT) in trasmissione, per ottenere dai simboli associati alle singole sottoportanti il segnale da trasmettere, ed una FFT in ricezione, per ottenere dal segnale ricevuto i simboli ad esso associati in corrispondenza delle varie sottoportanti.

La tecnica OFDM tuttavia risente anche di due principali limiti:

- suscettibilità ad errori dovuti alla stabilità delle frequenze portanti, determinate sia dagli oscillatori locali che dagli shift Doppler (echi che provengono da oggetti in movimento);
- necessità di un elevato rapporto peak-to-average power ratio (PAPR), in quanto il valore istantaneo della potenza RF in trasmissione può variare in modo repentino, anche all'interno di uno stesso simbolo, determinando una riduzione dell'efficienza dell'amplificatore di potenza in trasmissione.

2.12.3 Trasmissione OFDMA

La maggiore innovazione di LTE rispetto all'attuale standard UMTS è l'utilizzo della modulazione *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) per il downlink e la *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA), una tecnologia affine alla OFDM, per l'uplink. Queste tecniche consentono di gestire il sistema con larghezze di banda del canale da 1,25 MHz a 20 MHz. L'OFDMA (vedi fig. 6) è una tecnica di accesso multiplo, basata sulla modulazione OFDM, che consiste nell'assegnare a ciascun utente un sottoinsieme delle sottoportanti in cui viene suddivisa la banda disponibile per un determinato intervallo di tempo. Proprio per questa ragione a volte si usa dire che l'OFDMA può essere considerata una tecnica in cui vengono combinate la modulazione OFDM e l'accesso TDMA.

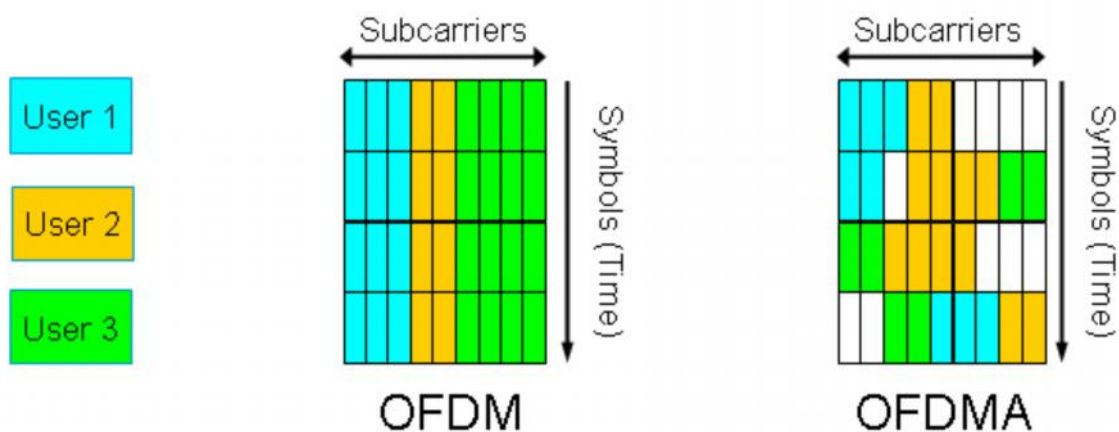


Fig. 6 - OFDM e OFDMA

Poiché si tratta di una tecnica di tipo adattativo, funzione della qualità del canale radio, se l'assegnazione delle sottobande viene eseguita in maniera sufficientemente veloce, consente di raggiungere prestazioni molto elevate sia dal punto di vista di robustezza alle rapide variazioni del fading e sia per quanto riguarda le interferenze co-canale, permettendo, allo stesso tempo, di ottenere un'efficienza spettrale particolarmente elevata, specialmente quando viene utilizzata in combinazione con le tecniche MIMO.

La caratteristica di assegnare a ciascun utente solo una porzione delle sottobande disponibili, consente di variare la potenza di trasmissione richiesta per comunicare con ognuno di essi a seconda delle necessità. Stesso discorso vale anche per la qualità di servizio (QoS) che può essere adattata a seconda del tipo di applicazione (voce, video streaming, accesso ad internet, etc) che l'utente intende utilizzare.

2.12.4 Trasmissione SC--FDMA

In questo tipo di sistema(vedi fig.7) di accesso all'utente, come avviene per l'OFDMA, vengono impiegate una serie di sottoportanti ortogonali per trasmettere le informazioni contenute nei simboli modulati.

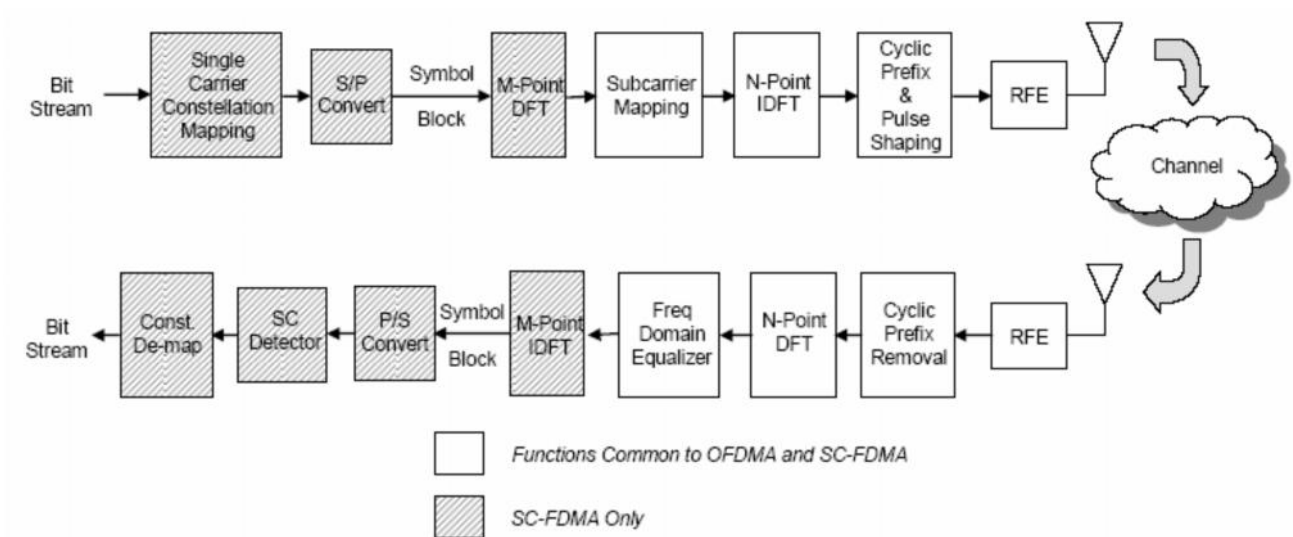


Fig. 7 – Schema a blocchi di un sistema SC-FDMA

Tuttavia, con la tecnica SC-FDMA, le sottoportanti vengono trasmesse sequenzialmente e non in parallelo (vedi fig. 8). Questo tipo di soluzione consente di ridurre considerevolmente le fluttuazioni del segnale trasmesso, determinando un valore del PAPR molto più basso rispetto a quello riscontrato nei segnali basati sull'OFDMA. Questa caratteristica è particolarmente importante in quanto consente di evitare l'impiego, a livello di terminale d'utente, di amplificatori di potenza con elevata linearità e bassa efficienza (misurata dal rapporto tra la potenza trasmessa e quella necessaria per l'alimentazione dell'amplificatore). D'altra parte, l'utilizzo di questa tecnica nei sistemi cellulari, intrinsecamente soggetti a propagazione caratterizzata da cammini multipli, comporta che il segnale, ricevuto in corrispondenza della stazione radio base, sia suscettibile ad interferenza intersimbolica. Per far fronte a questo problema risulta quindi necessario impiegare, a livello di stazione radio base, sistemi di equalizzazione adattativi nel dominio della frequenza che ovviamente, determinano un più elevato carico di lavoro di elaborazione nonché maggiori costi di implementazione che però graveranno principalmente sull'operatore.

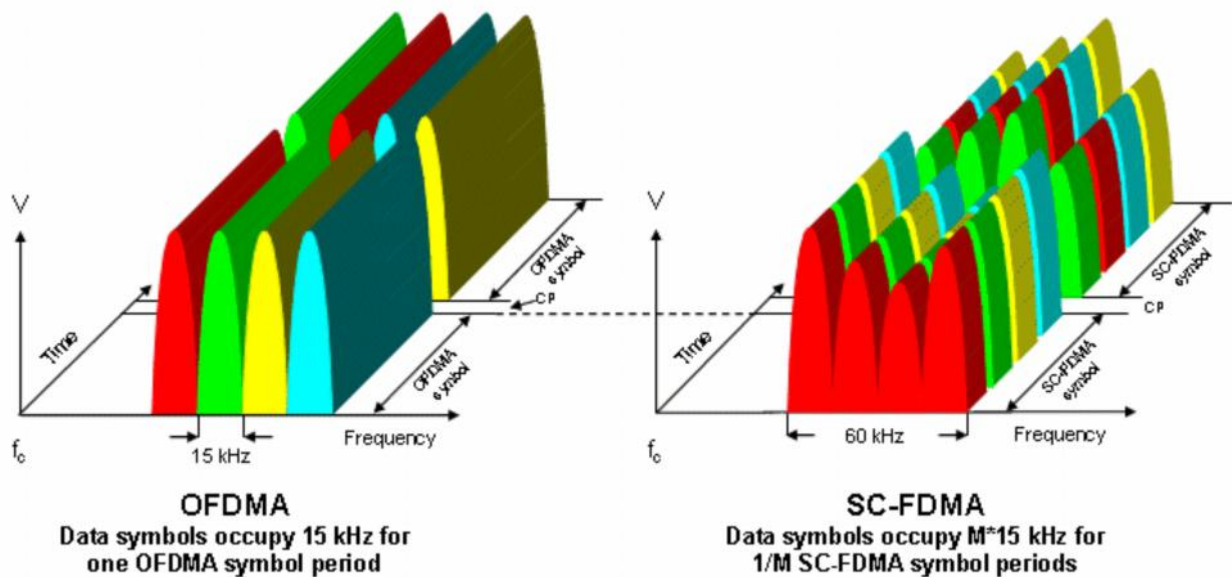


Fig. 8 – Confronto tra OFDMA e SC-FDMA

Dal punto di vista dell'assegnazione delle sottoportanti per l'accesso all'utente ci sono due differenti approcci: il SC-FDMA localizzato (LFDMA) ed il SC-FDMA distribuito (vedi fig.9).



Fig. 9 – Le soluzioni LFDMA e IFDMA

Nell'approccio LFDMA ogni terminale usa, per trasmettere le informazioni, un insieme di sottoportanti adiacenti. In sostanza è come se a ciascun utente venisse assegnata una specifica porzione di banda per la comunicazione con la stazione radio base. L'approccio alternativo è quello distribuito di cui, una possibile realizzazione, è quella denominata *Interleaved* FDMA (IFDMA). In questo caso le singole sottoportanti assegnate a ciascun utente sono a distanza prefissata e sono intervallate con quelle assegnate agli altri utenti. Questo secondo approccio risulta maggiormente immune rispetto agli errori di trasmissione, in quanto l'informazione da trasmettere viene distribuita sull'intera banda disponibile.

2.12.5 MIMO e MRC

A livello fisico i sistemi LTE possono, opzionalmente, impiegare più transceivers sia in corrispondenza della stazione radio base che del terminale utente, per migliorare la robustezza del collegamento ed incrementare la capacità dati trasmessa. Le tecniche utilizzate sono la Multiple Input Multiple Output (MIMO) e la Maximal Ratio Combining (MRC). La tecnica MRC viene usata per migliorare l'affidabilità del collegamento in condizioni di propagazione critiche quando l'ampiezza del segnale è bassa e si è in presenza di cammini multipli. La tecnica MIMO, invece, viene usata principalmente per ottenere migliori prestazioni in termini di velocità di trasmissione. Un sistema convenzionale dotato di ricevitore con antenne multiple non è sufficiente per poter

supportare le tecniche MRC/MIMO. Infatti la caratteristica peculiare di questi sistemi è quella di prevedere, oltre ad antenne multiple, anche transceivers multipli. Nel caso della tecnica MRC il segnale viene ricevuto mediante due o più sistemi antenna/transceivers, spazialmente separati tra loro, e, quindi, caratterizzati da diverse risposte impulsive. Il processore esegue l'equalizzazione del canale in modo distinto sui segnali ricevuti per poi combinarli in un unico segnale composito. Operando in questo modo, mentre i segnali ricevuti vengono combinati in modo coerente, il rumore termico introdotto da ciascun transceiver risulta non correlato determinando, nel caso di un ricevitore MRC a due canali, un incremento complessivo del rapporto segnale/rumore (SNR) di 3dB. A questo aspetto positivo va ovviamente aggiunto quello relativo alla separazione spaziale dei due ricevitori che riduce fortemente gli effetti legati al fading selettivo dovuto ai cammini multipli, migliorando complessivamente la qualità del segnale ricevuto. L'utilizzo della tecnica MIMO consente invece, come detto, di incrementare il data rate complessivo del sistema di trasmissione, conseguito attraverso l'utilizzo di antenne multiple in trasmissione ed in ricezione. Per poter ottenere questo risultato il ricevitore deve calcolare la risposta impulsiva del canale che caratterizza ciascuna antenna trasmittente. Nei sistemi LTE questo risultato si realizza trasmettendo, da ognuna delle suddette antenne ed in modo sequenziale (non sovrappontesi), opportuni segnali di riferimento. In pratica, in un sistema MIMO 2x2, andranno calcolate di volta in volta 4 risposte impulsive del canale. Una volta che sono note le risposte impulsive, i dati potranno essere trasmessi anche in simultanea su entrambe le antenne. La combinazione lineare dei due flussi di dati alle due antenne riceventi dà luogo ad un insieme di due equazioni in due incognite che si possono risolvere per ricavare i due flussi dati originali.

2.12.6 Standard e frequenze

LTE può funzionare su diverse bande di frequenza. In particolar modo nella UE verranno utilizzate le seguenti bande:

- banda di frequenza 800 MHz (una volta liberate dal digitale terrestre, in Italia dal 2013)
- banda di frequenza 900 MHz (una volta completato il refarming dello spettro e verrà liberato dal GSM)
- banda di frequenza 1800 MHz (una volta liberati dei canali attualmente usati dal GSM, entro il 2012)

- banda di frequenza 2600 MHz (frequenze già libere in alcune zone ma utilizzate dai ministeri della difesa e dai radar in altre zone)

Come specificato, la banda di frequenza 800 MHz è derivata dagli ex canali televisivi UHF 61-69. Questi canali saranno resi disponibili dopo il 2012, in seguito alla dismissione del cosiddetto dividendo digitale, ottenuto dal passaggio al digitale terrestre di tutti gli stati membri europei.

Per l'utilizzo della banda a 900 MHz si procederà invece al cosiddetto "refarming" dello spettro radio, ovvero verranno liberati dei canali attualmente utilizzati in tecnologia GSM (2G) per fare posto alle tecnologie 3G e 4G (HSPA+ e LTE). In città e nelle aree urbane saranno usate bande di frequenza più elevate (si parla dei 2,6 GHz in UE). In questo caso il raggio di copertura della cella sarebbe di circa 1 km.

2.12.7 Futuro LTE-Advanced

Sfiorare 1 Gbit/s in mobilità, un sogno neanche troppo lontano. Ericsson ha annunciato [21] di aver condotto i primi test su strada di apparati LTE-Advanced, evoluzione di LTE. Si tratta della prima vera tecnologia "certificata" 4G, in grado di offrire velocità di picco in download di 1 Gbit/s in mobilità "moderata" e 100 Mbit/s ad alta velocità. Ericsson ha allestito un van per l'occasione per testare le velocità raggiunte spostandosi per le strade svedesi. Il test è stato condotto aggregando tre bande da 20 MHz e utilizzando la tecnologia MIMO 8x8, raggiungendo velocità già prossime al limite di 1 Gbit/s (ben oltre i 900 Mbit/s), una velocità 10 volte superiore a quella raggiungibile oggi con l'LTE. I primi servizi commerciali potrebbero arrivare (quanto meno nei paesi nordici) già nel 2013. L'obiettivo dell'LTE-Advanced è quello oltre di migliorare le prestazioni anche in caso di forte congestione della rete, di armonizzare a livello internazionale la rete cellulare creando un nuovo standard universale.

Sia *LTE Advanced* che *WirelessMAN-Advanced* (WiMAX 2) vengono raccolte sotto un unico ombrello tanto che la denominazione scelta per riferirsi alle tecnologie realmente di quarta generazione è "*IMT-Advanced*". Il mercato americano trainato da colossi come AT&T, Verizon è dominato dalla tecnologia LTE – Advanced, quello asiatico sembra anch'esso rivolto verso l'LTE, per quanto riguarda l'Europa, in Danimarca, Estonia, Finlandia, Lettonia, Lituania, Norvegia e ovviamente Svezia l'operatore TeliaSonera su infrastrutture Ericsson, ha già lanciato le prime

chiavette 4G per pc e mac mentre la Vodafone in Germania sta già utilizzando la LTE per portare la banda larga nelle zone che non sono ancora raggiunte dall'ADSL. Sempre in Germania la Vodafone offre connettività LTE con 50 Mbit/s in download e 10 Mbit/s in upload. Una banda larga, ancora sperimentale che prevede e anticipa le esigenze di una società sempre più connessa soprattutto in mobilità: si stima che entro il 2016 i dispositivi mobili connessi a internet a banda larga saranno circa 5 miliardi [22]. Per quella data l'LTE-Advanced avrà molto probabilmente vinto la guerra con WiMAX 2 come standard di quarta generazione.

2.13 Reti Satellitari

Lo sviluppo dei sistemi e delle reti satellitari sta aprendo anche nuove prospettive alle telecomunicazioni individuali, attraverso le reti GPS (Global Positioning System). Una rete satellitare [23] è formata da tre elementi: le stazioni terrestri trasmittenti (hub) e riceventi/interattive (earth stations) ed il satellite. Un satellite è un dispositivo sospeso nello spazio che capta un segnale, proveniente da una stazione terrestre, lo amplifica e lo trasmette/irradia a tutte le installazioni terrestri capaci di “vedere” il satellite e di ricevere le sue trasmissioni. In altri termini, il satellite è un dispositivo capace di ritrasmettere un segnale, ma non è preposto alla sua generazione od alla sua ricezione finale. L'accesso alla rete internet avviene attraverso l'utilizzo di uno speciale modem satellitare e un'antenna parabolica puntata su un satellite geostazionario. Ci sono due tipi di connessione satellitare monodirezionale e bidirezionale.

2.13.1 Connessione monodirezionale

Con la connessione monodirezionale il traffico in download viene gestito con un modem satellitare, collegato ad una parabola puntata su un satellite; ma il traffico in upload viene gestito da un modem 56k tradizionale collegato alla rete telefonica.

2.13.2 Connessione bidirezionale

È una soluzione analoga a quella ADSL, poiché sia il traffico in download che in upload viene gestito direttamente dal satellite tramite una parabola collegata ad un modem satellitare.

Attraverso i sistemi bidirezionali via satellite (es. Tooway) è possibile portare la banda larga sull'intera superficie di una nazione, avendo il vantaggio di avere continuità di servizio e affidabilità. I sistemi di connessione satellitari sembrano essere, nel caso di territori non raggiunti da ADSL (alberghi, agriturismi delle zone montane e pedemontane, zone cittadine e rurali non servite da centrali ADSL) la soluzione per il futuro e la vera risposta al problema del "digital divide". In Italia nel caso del sistema satellitare Tooway si arriva a velocità non eccessive tenendo in considerazione i prezzi che questo sistema comporta (10Mbit/s in download e 4,5 Mbit/s in upload).

2.14 Rete Radiomobile Cellulare

La rete radiomobile cellulare è una rete di telecomunicazioni wireless che consente la radiocomunicazione tra terminali mobili sparsi su un territorio coperto da più celle radio, ciascuna servita da apparati fissi di ricetrasmisione detti stazioni radio base. Essi sono dunque i sistemi che implementano la telefonia cellulare che è a sua volta parte della telefonia mobile. Non potendo coprire un'intera area geografica con una singola stazione radio base, si rende necessario frazionare il territorio da coprire in tante celle, che possono avere dimensioni differenti le une dalle altre e forme diverse. La forma e le dimensioni di una cella viene determinata dalla potenza dell'antenna, dalla morfologia del territorio, dalle condizioni di propagazione e dai altri fattori. Ogni cella quindi possiede una propria stazione radio base di potenza ridotta, sufficiente a creare una copertura cellulare. Tale tecnica consente dunque l'abbattimento della potenza necessaria in trasmissione e l'implementazione del cosiddetto *riuso di frequenza* per ciascuna cella aumentando così notevolmente l'efficienza spettrale totale del sistema ovvero la capacità di sfruttare la banda radio dedicata al radiocollegamento a beneficio del numero totale di utenti servibili, della qualità di servizio offerto e del gestore di rete. Per aumentare ulteriormente il riuso di frequenza si ricorre usualmente alla tecnica della *settorizzazione di cella* ovvero all'utilizzo di antenne direzionali che, operando un filtraggio spaziale, coprono ciascuna un certo 'settore angolare' della cella e a cui è assegnata l'intera banda assegnata alla cella. Si realizza così contemporaneamente un accesso multiplo alle risorse di rete in uplink ed una multiplexazione in downlink dette a *divisione di spazio* (SDMA/SDM) combinata con la classica FDMA/FDM dovuta all'allocazione statica di bande di frequenza diverse tra le varie celle.

2.14.1 Reti cellulari

Esempi di reti radiomobili cellulari sono il TACS, il GSM, l'UMTS, l'LTE. Tappe intermedie e miglioramenti nei servizi di connettività sono stati il GPRS e l'EDGE per il GSM e l'HSPA per l'UMTS. Possono essere considerate reti a copertura cellulare anche i sistemi Wi-Fi e WiMAX rispettivamente a piccola e a grande scala pur con le rispettive differenze in termini di protocolli di comunicazione e architettura di rete. Le chiavi del successo di un sistema o rete cellulare risiedono principalmente nell'*interfaccia radio* tra il terminale mobile e la stazione radio base ovvero nel schema di moltiplicazione/accesso multiplo adottato (FDM/FDMA, TDM/TDMA, CDM/CDMA, OFDM) e al parallelo uso di schemi di modulazioni più performanti; tali scelte sono vincolanti sull'efficienza spettrale del sistema ovvero dunque sulla banda e sui canali disponibili all'utente e condiziona quindi sia il numero massimo di utenti servibili sia la velocità di trasmissione di ciascun utente, da cui strettamente dipende l'accesso a servizi di trasferimento dati a banda larga quale la connessione alla rete Internet da parte delle moderne reti radiomobili. La scelta del nucleo di rete è una conseguenza del tipo e prestazioni dell'interfaccia radio nonché della tipologia di servizi offerti all'utente. Sotto questo punto di vista la storia dei sistemi cellulari è una continua evoluzione o miglioramento dell'interfaccia radio e/o del nucleo interno di commutazione di rete. In particolare il TACS è stato il primo sistema cellulare a trasmissione analogica e commutazione di circuito nella *core network*, il GSM il primo sistema cellulare a trasmissione digitale e commutazione di circuito, il GPRS il primo sistema cellulare digitale a commutazione di pacchetto. Tutte le moderne reti cellulari offrono servizi integrati di telefonia e trasporto dati multimediali ovvero connettività alla rete telefonica ed alla rete Internet.

Il futuro delle reti cellulari mobili sarà il 4G (acronimo di *4th (fourth) Generation*) s'indicano relativamente a tale campo, le tecnologie e gli standard di *quarta generazione* successivi a quelli di terza generazione, che permettono quindi applicazioni multimediali avanzate e collegamenti dati con elevata banda passante. L'ITU (*International Telecommunication Union*) ha recentemente autorizzato l'utilizzo della denominazione 4G per tecnologie quali LTE (che verrà lanciato in Italia entro il 2012) e WiMAX.

3 Sistemi e reti di posizionamento mobili

La possibilità di determinare, via GPS o rete cellulare, la propria posizione sul globo terrestre, abbinata alla sua ritrasmissione mediante GPRS/UMTS, rende oggi tecnicamente possibile la fornitura di servizi a valore aggiunto basati sulla localizzazione, indicati con la sigla LBS acronimo di Location Based Service. Dato che il concetto di localizzazione può assumere una portata differente, a seconda delle finalità perseguite, tali servizi hanno conseguentemente un campo di applicazione molto vasto, che abbraccia le applicazioni destinate alla navigazione su strada, alla gestione delle emergenze ed alla sicurezza delle persone, delle cose o degli animali, ma anche quelle relative all'intrattenimento, alla comunicazione sociale ed a quella di natura commerciale (informazione sulla vicinanza di ristoranti, alberghi, centri commerciali, stazioni di rifornimento, etc.). Da un punto di vista tecnologico, il funzionamento dei sistemi di localizzazione può essere incentrato su una rete cellulare oppure esterno, a seconda che la sorgente delle informazioni rientri o meno sotto il controllo di un operatore di comunicazioni. Alla prima categoria appartengono le reti GSM/UMTS (nel breve futuro le reti 4G), mentre nel secondo gruppo rientrano la rete satellitare GPS (Global Positioning System), i sistemi di posizionamento basati su reti wireless. L'architettura complessiva prevede, di regola, il coinvolgimento di tre entità: un fornitore di servizi, l'utente ed un operatore che agisce da intermediario, trasmettendo i dati di localizzazione al fornitore che li combina con quelli geografici per erogare i servizi richiesti.

Per consentire la conoscenza della localizzazione approssimata dei nodi mobili vi sono due possibili approcci di principio: tramite *location update* dove l'infrastruttura di rete è informata dall'esterno della localizzazione dell'utente mobile, ad es. per sua esplicita registrazione necessaria dopo ogni handoff, o tramite *location search* dove l'infrastruttura di rete è responsabile per il ritrovamento della localizzazione dell'utente mobile.

3.1 Sistema di posizionamento GPS

Il sistema GPS (Global Positioning System) è un sistema di posizionamento atto a fornire informazioni di tempo, distanza e posizione ovunque nel mondo, in ogni istante e con qualsiasi condizione climatica.

Il sistema [24] è stato sviluppato a partire dal 1973 dal Dipartimento della Difesa statunitense (DoD), ed il 17 Luglio 1995 è stato dichiarato completamente operativo. Creato inizialmente per scopi militari, grazie alla capacità di determinare con elevata precisione la posizione di oggetti fissi e mobili(aereo, auto, nave), il GPS è stato successivamente impiegato anche in campo civile, in particolare nei rilievi topografici e geodetici. Originariamente collegato con 24 satelliti(vedi fig. 10), il sistema attualmente è dotato di 31 satelliti. Le orbite sono circolari su 6 piani orbitali paralleli inclinati di 55° rispetto al piano equatoriale.



Fig. 10 – Posizionamento satelliti

Il posizionamento dei 24 Satelliti è stato completato nel 1994. Ogni satellite si trova a circa 20 Km dalla terra e compie due rotazioni del pianeta al giorno (il periodo di rivoluzione è di 11 ore e 58 minuti). Le orbite dei satelliti sono state studiate in modo che in ogni momento ogni punto della terra venga visto da almeno 4 satelliti contemporaneamente. Oltre ai satelliti, ci sono anche 4 stazioni di controllo a terra che si occupano costantemente di verificare lo stato dei satelliti, di correggere i loro orologi atomici e la loro posizione orbitale. Senza queste stazioni terrestri il sistema non sarebbe in grado di funzionare. La manutenzione del sistema deve essere costante ed infatti si calcola che un eventuale sospensione della stessa provocherebbe un decadimento del sistema nel giro di pochi giorni e la sua completa inutilità dopo circa 2 settimane. Il resto del lavoro viene fatto dal GPS receiver che esegue le seguenti operazioni:

- Localizza 4 o più satelliti
- Calcola la distanza da ognuno dei satelliti

- Usa i dati ricevuti per calcolare la propria posizione mediante il processo di trilaterazione

3.1.1 Trilaterazione a tre dimensioni

La trilaterazione a tre dimensioni non è poi molto differente da quella a due dimensioni; tuttavia è un po' più macchinosa la sua visualizzazione. Se per esempio sappiamo di essere ad una distanza di 10 miglia dal satellite A, potremmo comunque trovarci in un punto qualsiasi sulla superficie di una enorme, immaginaria sfera dal raggio di 10 miglia. Se oltre a questo sappiamo anche di essere a 15 miglia di distanza dal satellite B, possiamo allora idealmente sovrapporre queste due sfere, una più larga dell'altra. Le sfere formeranno dunque un cerchio perfetto. Se a queste informazioni aggiungiamo anche la distanza da un terzo satellite, otterremo una terza sfera, che andrà ad intersecarsi con questo cerchio su due punti. La Terra stessa può fungere da quarta sfera solo uno dei due possibili punti potrà trovarsi sulla superficie del pianeta, in modo tale che sarà possibile eliminare quello nello spazio. Tuttavia, i ricevitori GPS in genere ricercano quattro o più satelliti, in modo tale da poter migliorare l'accuratezza della posizione e di poter fornire la misura dell'altitudine. Per poter semplificare l'elaborazione dei dati, il ricevitore GPS deve conoscere due informazioni fondamentali:

- La posizione di almeno tre satelliti sopra di noi
- La distanza tra noi e questi satelliti

Il ricevitore GPS ricava entrambe queste informazioni tramite l'analisi di segnali radio ad alta frequenza inviati dai satelliti coinvolti nella tecnologia GPS. I dispositivi più avanzati hanno a disposizione ricevitori multipli, in modo tale da poter captare segnali da diversi satelliti simultaneamente. Ogni satellite trasmette su due frequenze della banda L ($L1 = 1575.42$ MHz e $L2 = 1227.6$ MHz). Ogni satellite trasmette un unico codice CDMA (Code Division Multiple Access) su queste frequenze. Le coordinate dei punti rilevanti mediante GPS sono espresse in un sistema di riferimento denominato WSG-84 (World Geodetic System 1984), sottoforma di:

- coordinate cartesiane geocentriche (X, Y, Z)
- coordinate geografiche ellissoidiche (Latitudine, Longitudine, Quota ellissoidica)

3.2 Reti di posizionamento mobili wireless

I sistemi di posizionamento wireless, trovano sempre più diffusione nella vita quotidiana, grazie soprattutto alla possibilità di mantenimento della connessione in mobilità. Esistono vari modelli di rete wireless: a Cella, a Cella Virtuale e Ad-Hoc.

3.2.1 Modello a Cella

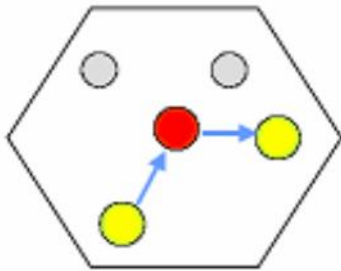


Fig. 11 - Comunicazione Intracellulare. Rosso: BS, Giallo: MH

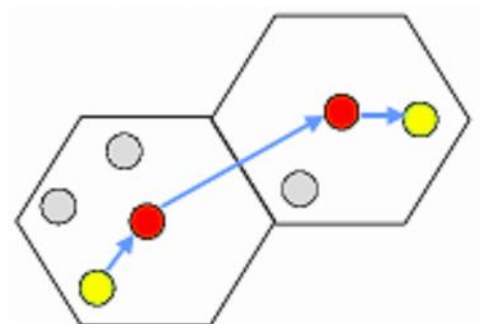


Fig. 12 - Comunicazione Intercellulare. Rosso: BS, Giallo: MH

Nel modello a cella individuiamo due tipologie di entità: Base Station (BS) e Mobile Host (MH). Ogni cella consiste di una BS fissa che fornisce copertura per una determinata area e l'insieme delle coperture delle varie BS costituisce l'area totale della rete. Si assume che ogni BS sia connessa alle altre attraverso una infrastruttura cablata. I dispositivi mobili MH hanno la possibilità di muoversi da una cella all'altra in totale libertà e per comunicare fra loro utilizzano la BS della cella che li contiene (comunicazione Base to Remote).

Per fare ciò il MH ha bisogno di stabilire un collegamento wireless con la BS di appartenenza. Se il partner della comunicazione è anch'esso nella stessa cella, la BS stessa invia il messaggio al destinatario attraverso un altro canale senza fili (vedi fig.11); se il partner è presente in un'altra cella, la BS spedisce il messaggio attraverso l'infrastruttura cablata alla BS che contiene il destinatario, che riceverà il messaggio attraverso un canale wireless che lo collega alla BS di appartenenza (vedi fig. 12). Questo modello permette una buona dinamicità della rete: i nodi infatti rimangono liberi di spostarsi tra le celle, mantenendo la connessione attiva nel caso vi sia una buona copertura fra le BS (Roaming).

3.2.2 Modello a Cella Virtuale

Il modello a Cella può essere rilassato ammettendo la possibilità di connettere fra di loro le BS tramite connessioni wireless. In esso le BS sono anch'esse mobili (vedi fig. 13). Le connessioni tra le BS sono anch'esse wireless. Le BS continuano comunque a funzionare da punti di accesso per l'attività di comunicazione dei MH ma a differenza delle reti a Cella, la topologia delle rete a Cella Virtuale (VC) cambia nel tempo. Si assume comunque che le BS siano in connessione tramite un percorso di routing composto solo da BS.

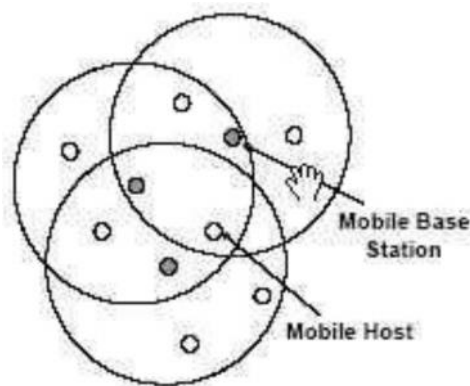


Fig. 13 - Modello a Cella Virtuale

E' possibile rilassare ulteriormente il modello VC eliminando la distinzione fra BS e i MH.

3.2.3 Modello Ad-Hoc

In un modello di rete Ad-Hoc [25] tutte le comunicazioni avvengono attraverso canali wireless; tutte le entità del sistema collaborano al fine di instradare i pacchetti nel modo corretto. A causa della mobilità imprevedibile dei nodi, la topologia di rete può cambiare costantemente: infatti, la particolarità dei modelli Ad-Hoc è che non hanno alcuna necessità di utilizzare un'infrastruttura fissa. Questo le differenzia totalmente dai modelli distribuiti tradizionali: le reti Ad-Hoc vengono costruite all'occorrenza ed utilizzate in ambienti estremamente dinamici, non necessariamente con l'aiuto di una infrastruttura già esistente. Si può effettuare una tassonomia delle reti Ad-Hoc in base alla loro topologia, che può essere *gerarchica* (hierarchical) o *piatta* (flat) (vedi fig. 14).

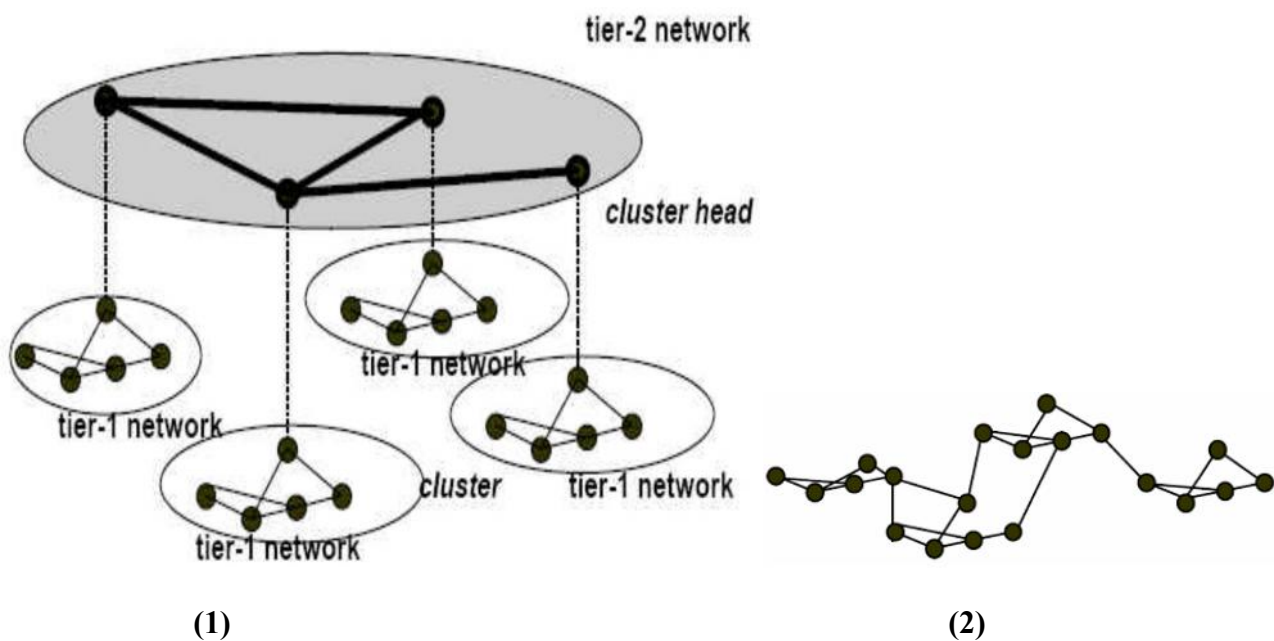


Fig. 14 - Topologia di una rete Ad-Hoc gerarchica (1) e di una rete Ad-Hoc piatta (2)

In una rete *gerarchica* i nodi sono partizionati in gruppi detti cluster. Per ogni cluster è selezionato un *cluster head* attraverso i quali passa il traffico della rete. In una rete ad hoc *piatta* non è previsto nessun elemento di centralizzazione. Due nodi hanno la possibilità di entrare in comunicazione se la

potenza del segnale è tale da permettere al nodo destinazione di “sentire” la trasmissione del vicino (ovvero se due nodi sono in copertura radio). Un vantaggio della rete *piatta* è la possibilità di stabilire più di un percorso tra nodo sorgente e destinazione; questo permette di valutare in modi diversi quale collegamento è da preferire, a seconda delle richieste e dell’ utilizzo della rete. Il vantaggio della rete *gerarchica* è invece quello di minimizzare il numero delle informazioni di routing che vengono scambiate tra i nodi di uno stesso cluster e tra i cluster head. In tutti i modelli descritti, c’è la possibilità che un nodo mobile possa muoversi fuori dal raggio di copertura degli altri nodi, diventando irraggiungibile e disconnettendosi dalla rete. Anche quando la rete è operativa e tutti i nodi sono raggiungibili, i sistemi mobili pongono comunque interessanti problematiche di gestione in quanto la topologia di rete può cambiare in qualsiasi momento favorendo fusioni, partizioni e merge di insiemi di nodi.

Un approccio a soluzioni peer-to-peer potrebbe essere adatto allo sviluppo di applicazioni collaborative in contesti Ad-Hoc. In particolare, le Mobile Ad-hoc NETWORK (MANET) aprono ulteriori possibilità e abilitano la collaborazione fra utenti anche in assenza di una infrastruttura fissa e pre-pianificata: la dinamicità con cui tali reti tendono a formarsi le rende estremamente utili in condizioni in cui l’infrastruttura è assente o inutilizzabile (per esempio in ambito militare o in operazioni di soccorso o di emergenza in zone disastrose). La caratteristica comune di tutte le reti MANET è l’alto livello di dinamicità delle entità che la compongono; lo scopo fondamentale di un sistema collaborativo in ambiente MANET è quindi quello di fornire un supporto a tale dinamicità attraverso l’analisi dei requisiti derivanti. Una MANET è un ambiente in cui i punti di accesso non sono statici; le entità cambiano spesso il punto di attacco alla rete o si muovono durante la connessione, di conseguenza partizioni e merge sono eventi frequenti che possono causare cambiamenti topologici anche significativi (vedi fig. 15). Inoltre essendo queste reti inserite anche in contesti urbani, in presenza di muri o ostacoli di

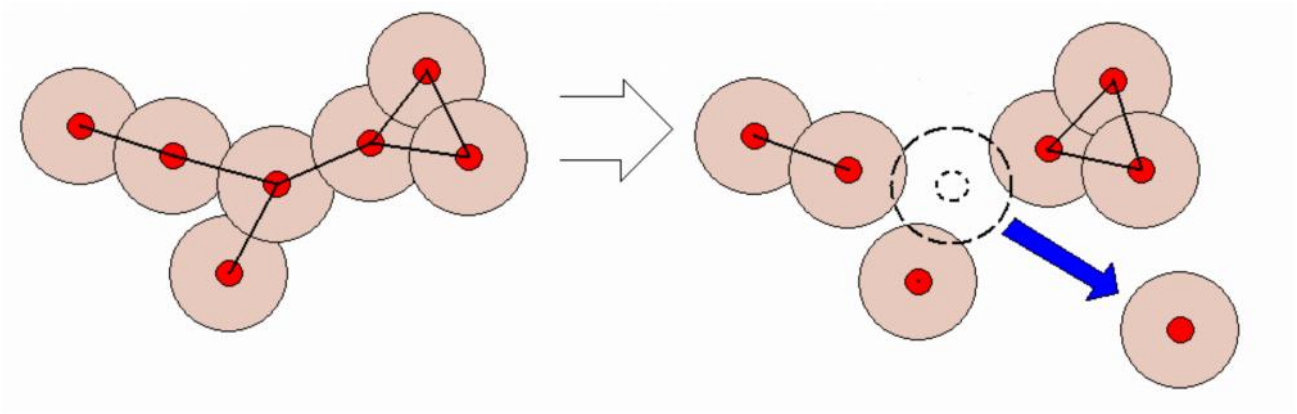


Fig. 15 - Lo spostamento di una entità può causare modifiche nella topologia di rete

varia natura i link di comunicazione possono essere soggetti a disconnessioni inaspettate; conseguentemente, i dispositivi mobili devono prevedere ed eventualmente anticipare queste problematiche attuando meccanismi di risoluzione opportuni. La comunicazione tra entità arbitrarie in una rete MANET può richiedere un processo di routing basato su lunghi percorsi wireless: per quanto riguarda l'instradamento di pacchetti di dati le difficoltà sorgono in quanto, senza l'ausilio di una infrastruttura fissa, i percorsi consistono di collegamenti in cui sia i partner che i nodi intermediari di una comunicazione sono portati a muoversi indipendentemente l'uno dall'altro: la mobilità dei nodi causa frequenti cambiamenti della topologia di rete che portano ad una minore consistenza delle informazioni di routing necessarie ad un pacchetto per raggiungere la destinazione (vedi fig. 16).

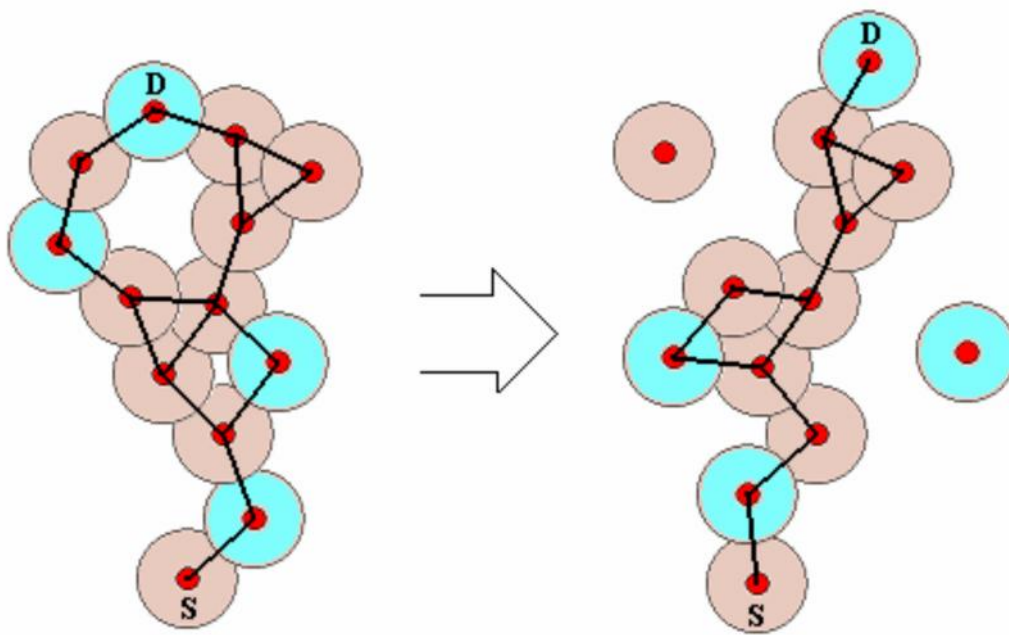


Fig. 16 - Se alcuni nodi si spostano il percorso di routing può divenire inconsistente.

I sistemi collaborativi applicati a scenari MANET consentono di beneficiare di risorse fornite da entità che risiedono su dispositivi eterogenei nelle immediate vicinanze; a causa della mobilità imprevedibile di questi dispositivi, anche il processo di discovery delle risorse diventa un problema. L'impossibilità di sfruttare una conoscenza a priori della rete, dell'identità, dei nomi e delle caratteristiche dei nodi rende necessaria l'adozione di meccanismi di discovery dinamici: si necessita di protocolli attraverso i quali un dispositivo possa rilevare la presenza di altri dispositivi nelle vicinanze, condividere informazioni di configurazione e di servizi offerti da ciascuna entità e notificare quando un dispositivo risulti disponibile o meno. Il processo di ricerca delle risorse deve essere in qualche modo continuo, per rilevare le modifiche topologiche significative della rete, ed efficiente, in modo da non sovraccaricare il traffico di rete.

3.2.4 La Locazione

La locazione è importante perché consente di erogare servizi sulla base della posizione dell'utente. E' stata studiata una tassonomia dei sistemi di localizzazione per aiutare gli sviluppatori di applicazioni location-aware ad effettuare la scelta delle tecnologie di cui avvalersi. Tale tassonomia è stata realizzata considerando vari aspetti dei principali sistemi di localizzazione: il tipo di informazione richiesta, il tipo di rappresentazione dello spazio, il tipo di computazione (locale o remota), il livello di precisione, la scalabilità del sistema da realizzare, la necessità di riconoscere l'identità delle entità nello spazio, i costi e le limitazioni. In generale un sistema location-aware può trattare diversi tipi di informazione.

Una prima distinzione va fatta fra locazione fisica e locazione simbolica. La locazione fisica è data rispetto a un sistema di riferimento che fornisce coordinate geografiche come ad esempio il Global Positioning System (GPS), mentre quella simbolica si basa su idee astratte della locazione di un'entità nello spazio: "nella stanza di fianco", "vicino alla porta", etc...

Data una locazione fisica abbastanza accurata, è possibile in generale derivarne una simbolica (si pensi al caso di un database che associa insiemi di locazioni fisiche a locazioni simboliche). La scelta relativa al tipo di localizzazione da usare in un'applicazione riguarda, oltre ad aspetti non funzionali quali i costi, anche (e soprattutto) l'uso che l'applicazione fa di queste informazioni. Ragionare sulla locazione in uno scenario MANET significa fornire una valida astrazione che consente la collaborazione di una entità con i suoi vicini. Inoltre combinare informazioni di località fisica e simbolica dei dispositivi coinvolti può essere utile per trarre altre informazioni contestuali utili; ad esempio se due o più dispositivi sono "vicini" fra loro, potrebbero far parte della stessa rete oppure no; il concetto di località costituisce uno degli elementi principali per la creazione di una rete Ad-Hoc in quanto in presenza di collegamenti wireless, la topologia di una rete ha come requisito fondamentale la raggiungibilità dei dispositivi coinvolti. Una volta appurato ciò, le politiche di appartenenza ad un sistema o gruppo di entità possono essere decise analizzando le altre informazioni di contesto primarie e le informazioni secondarie derivanti.

4 Servizi di prossimità

I social network, sono ormai una realtà quotidiana in fortissima espansione, luoghi formidabili per condividere interessi e conoscenze all'interno di un gruppo già consolidato di amicizie. Tuttavia, la frenetica vita odierna, richiede di condividere informazioni sia con amici, che con persone al di fuori della propria cerchia. Le comunità di persone si formano intorno agli interessi condivisi, superando il vincolo delle relazioni personali. Da qui nasce l'idea di servizi e applicazioni di prossimità su social network, i social network di prossimità. Location-aware social networks sono applicazioni presenti su social network, nella quale la posizione geografica degli utenti permette di utilizzare diversi servizi. La possibilità di accedere a queste applicazioni di social network tramite dispositivi mobile e la disponibilità di tecnologie di "location discovery", rendono questa nuova generazione di social network molto popolare. Come in molti social network, ogni utente è parte di un gruppo di utenti, detti amici. Nel momento in cui un amico è nelle vicinanze, uno dei servizi abilitati, avverte l'utente, eventualmente abilitando altri servizi, come ad esempio la visualizzazione su una mappa della posizione dell'amico, oppure iniziando una comunicazione con l'utente in questione.

4.1 Buddy Finder

Già con la proliferazione delle reti GSM, si intuì l'utilità di un'applicazione capace di mettere in comunicazione diversi amici nelle immediate vicinanze, potendo scambiare dati, esperienze ecc.

Buddy Finder [26] è un'applicazione mobile che permette di trovare eventuali Buddies (amici), registrati, nelle vicinanze. Per amici si intendono la lista delle persone presenti nella rubrica telefonica. Quest'applicazione può essere utilizzata per diversi fini, ad esempio se si è in un aeroporto, potrebbe essere interessante sapere quali amici si trovino nelle vicinanze dell'aeroporto stesso. Altro esempio potrebbe essere il caso in cui ci si trovi in un posto affollato, come un concerto o una piazza e si volesse conoscere la presenza o meno di alcuni amici. Dopo aver avuto le informazioni del caso l'utente può contattare l'utente e raggiungerlo.

L'applicazione permette la condivisione di esperienze tramite file multimediali come: foto, video, musica, documenti. Per poter stabilire una connessione tra due utenti è necessario rispettare il vincolo di prossimità.

Consideriamo un'applicazione, basata sull'architettura cellulare GSM. Il sistema GSM è composto da diversi componenti che possono essere raggruppate in quattro parti:

- Mobile Station (MS): l'host mobile dell'utente.
- Base Station Subsystem (BSS): gestisce la comunicazione wireless con la MS.
- Network SubSystem (NSS): controlla la connessione tra gli utenti in comunicazione e non .
- Operation and Support Subsystem (OSS): garantisce il corretto funzionamento del sistema di comunicazione.

L'interconnessione tra i diversi componenti è assicurata per mezzo di interfacce standard specifiche. Il BSS è composto da diverse stazioni radio BTS, ognuna delle quali controlla un territorio, detto cella, per mezzo di un ricetrasmittitore radio. Le BTS sono suddivise in gruppi e gestite da una Base Controller Station (BSC). I BSC gestiscono il passaggio di un MS da una cella ad un'altra, e le connessioni tra i MS e il Mobile Service Switching Center (MSC). Il MSC è il componente principale del NSS, poiché gestisce le chiamate, l'autenticazione, il routing delle chiamate ad un MS o ad un telefono fisso, in quest'ultimo caso per intermediazione della rete di Telefonia Pubblico Statale. Il modo più semplice per localizzare un MS, consiste nello scoprire su quale cella si trovi. Ogni cella infatti è identificata da un ID, che corrisponde ad un BTS singolo. Avendo questa informazione e conoscendo la posizione del BTS, è possibile avere una posizione approssimativa della cella, confrontando le sue coordinate con quelle del BTS. Pertanto eventuali errori nella misurazione dipendono dalla posizione del BTS e dalla zona circostante se in zona urbana, una decina di metri, e in chilometri in quelle rurali. La potenza del segnale e le tecniche di triangolazione, oltre alla tecnica precedente, possono migliorare l'accuratezza della misurazione. Infatti, la potenza dei segnali ricevuti dai tre diversi BTS e conoscendo le fonti del segnale, è possibile calcolare la posizione del MS, intersecando le tre circonferenze che hanno al loro centro ogni BTS. Tuttavia questo richiede uno scenario privo di ostacoli e questo in zone urbane è alquanto impossibile. Il calcolo del tempo di arrivo del segnale (TOA) è un altro metodo di localizzazione che fa uso della triangolazione, un altro metodo di localizzazione si avvale dell'angolo di arrivo tra le linee immaginarie che connettono il MS con il BTS. Un meccanismo

ampiamente diffuso è quello del GPS (Global Positioning System), che è in grado, in ambiente aperto, collegandosi con dei satelliti, di calcolare le coordinate di un dispositivo con elevata precisione. Quando un'utente vuole trovare i suoi amici, manda una richiesta Buddy Finder per un numero specifico, che sia visibile. Ogni utente infatti deve poter decidere da quale amico rendersi visibile o meno, potendo eventualmente cambiare in qualsiasi momento questo vincolo.

Naturalmente quest'applicazione basata in passato su reti GSM, ora trova terreno fertile con l'avvento delle nuove reti di comunicazione mobili, e di smartphone con un'elevata potenza di calcolo. Attualmente ci sono diverse applicazioni che mettono in comunicazione utenti posizionati all'interno di un range delimitato.

4.2 Nudge Nudge

Grazie alla mobilità degli utenti e l'ubiquità intrinseca dei dispositivi mobili odierni, le relazioni sociali vengono ora create e mantenute utilizzando applicazioni mobili sociali.

Nudge Nudge [27] è un'applicazione sociale che mette in comunicazione utenti che si trovano in prossimità, sia in termini di distanza geografica che in termini di personalità. Questo risultato è ottenuto per mezzo di un servizio di geolocalizzazione, permettendo alle persone di trovare a distanza ravvicinata tra loro, un profilo che attraverso dati riguardanti la propria personalità mantenuti in rete, abbia interessi simili.

L'applicazione dunque, mira a mettere insieme persone che hanno interessi simili e che si trovano nelle vicinanze. Le funzionalità che permettono tutto ciò sono:

- Geolocation: servizio di localizzazione che aiuta l'utente a trovare le persone a breve distanza da lui, a seconda della sua posizione attuale;
- Profile matching: ciascun utente può facilmente aggiornare il suo profilo in qualsiasi momento. In questo modo, ogni qual volta viene trovato nuovo utente nelle vicinanze, i profili vengono confrontati, e al termine di questo processo l'utente viene associato a dei punteggi che indicano il livello di similitudine con l'utente vicino;

- Virtual interaction: dopo il processo di localizzazione e confronto, l'utente può iniziare un interazione virtuale inviando dei messaggi, per poi decidere se passare ad un incontro nella vita reale;
- Social network integration: caratteristica standard presente ovunque ormai, quella di integrare il proprio profilo Nudge Nudge con quello dei social network presenti in rete (ad es. Facebook), importando anche direttamente informazioni da essi, caricandole direttamente sul profilo Nudge Nudge.

L'applicazione prevede una struttura client-server, il server remoto, implementato in PHP, fornisce le seguenti funzionalità:

- Archiviazione dei profili e della posizione degli utenti;
- Calcolo degli utenti che si trovano nelle vicinanze;
- Confronti profili utenti;
- Notifica di consegna.

Il client, implementato in Objective-C, fornisce le seguenti funzionalità:

- Geolocation e lista degli utenti vicini;
- Recupero profili;
- Gestione del sistema di chat;
- Interazione con il server centrale (per eventuali aggiornamenti e consegna di notifiche).

4.2.1 Componenti del sistema

A) Tracciabilità dei movimenti degli utenti

Gestione della posizione

Ci sono diverse tecniche che possono essere utilizzati per trovare la posizione dell'utente e l'utilizzo di una tecnica, a discapito di altre, dipende dai componenti disponibili sul dispositivo mobile. Più specificamente, il processo di rilevamento può essere realizzato se almeno uno dei seguenti metodi e le relative tecnologie sono disponibili:

- Tramite Global Positioning System (GPS);
- Attraverso le informazioni disponibili tramite Wi-Fi, considerando gli indirizzi MAC degli Access Point circostanti è possibile interrogare il servizio di Skyhook Wireless per recuperare la posizione approssimativa attuale del dispositivo;
- Per mezzo di connessione GSM, è possibile recuperare la posizione utilizzando il segnale delle torri radio e la tecnica della triangolazione;

Al fine di fornire informazioni più dettagliate sulla posizione, viene visualizzata una mappa che viene ingrandita fino alla posizione dell'utente, segnalato con un placemark. Inoltre, mediante il Geocoding Reverse API di Google, è possibile ottenere l'esatto indirizzo in funzione delle coordinate

Check-in

Ogni qual volta l'utente accede all'applicazione, un record contenente un identificatore dell'utente e il calcolo delle geocoordinate viene inviato al server centrale e rimane invariato fino a quando l'utente non controlla l'applicazione da un'altra posizione. Ogni qualvolta viene aggiornata la posizione, l'applicazione controlla e visualizza gli utenti nelle vicinanze.

Recupero utente vicino

A ogni aggiornamento, le coordinate della posizione dell'utente vengono confrontate con quelle degli altri utenti, immagazzinati nel server centrale. Di default la ricerca dei dispositivi viene effettuata in una range di 40 metri quadrati rispetto alla posizione dell'utente. In termini di coordinate geografiche questo significa che, date le posizioni dei due dispositivi, dovrebbe esserci una differenza massima di 0,0005 gradi di longitudine e 0,0004 gradi di latitudine. Dopo che tutti i dispositivi vengono recuperati, i loro nomi e le loro coordinate vengono restituite all'utente. Queste informazioni vengono elaborate, e visualizzate sulla mappa, attraverso un placemark, del dispositivo mobile dell'utente.

B) Calcolo somiglianze utenti

Una volta recuperati gli utenti nelle vicinanze, l'utente può richiedere di calcolare i punteggi sulle informazioni personali di ciascuno di essi. Le somiglianze vengono poi visualizzate in una tabella che mostra nome e immagine degli utenti vicini.

Gestione dati profilo

L'applicazione utilizza Facebook come provider di dati del profilo. Questi dati sono costituiti da film preferiti, la musica preferita, libri e altri interessi che l'utente ha compilato sul suo profilo. Il processo di acquisizione è del tutto trasparente per l'utente, l'utente deve solo concedere l'accesso dell'applicazione al suo profilo. Dopo di che i dati vengono recuperati e possono essere mantenuti nel server centrale. Ogni informazione recuperata da Facebook (come un film preferito) è dotato di diverse caratteristiche (categoria, nome, data di creazione, etc..) da cui si calcola un identificatore univoco che rappresenta quella voce particolare. La somiglianza tra profili, avviene pertanto, prendendo in considerazione questi identificatori e, confrontandoli.

Confronto punteggio

Il calcolo della somiglianza avviene sul server centrale, dove gli utenti hanno il loro profilo aggiornato. Questo punteggio viene calcolato in base alle informazioni rese disponibile dall'utente. L'algoritmo di somiglianza tra profili segue queste fasi:

- Input: coppia di vettori, contenenti gli identificatori, che rappresentano ciascun utente;
- Vettore somiglianza: i vettori di input vengono fusi in un unico vettore contenente entrambi gli ID vettore, e eliminando gli identificatori duplicati;
- Fase di confronto: ogni identificatore contenuto nel vettore somiglianza è cercato in entrambi i profili. Se l'identificatore si trova in tutti e due i profili la somiglianza aumenta di 1 unità, in caso contrario decrementa di 0.02;
- Calcolo punteggio: il punteggio viene calcolato eseguendo una formula.

C) Interazione tra gli utenti

L'utente ha la facoltà di stabilire se iniziare una conversazione con l'utente, scambiarsi file, attraverso connessioni wireless di tipo P2P.

Gli smartphone e l'utilizzo di connessioni wireless permettono alle persone di costruire e mantenere relazioni sociali mobili. In questo contesto, Nudge Nudge, potrebbe aiutare nel mettere le persone in relazione in funzione sia della loro vicinanza geografica, sia in termini di affinità personali.

4.3 Hybrid positioning system vs Wi-Fi Positioning System

I sistemi di prossimità che utilizzano tecnologie quali GPS, combinato con il segnale delle torri radio contenenti le celle alla quale si collegano i telefonini, sensori bluetooth e segnali di Access Point wireless vengono definiti Hybrid positioning system (Sistemi di posizionamento ibridi).

Con la rapida crescita di punti di accesso wireless nelle aree urbane, prendono quota i Wi-Fi based positioning system (sistemi di posizionamento wireless) o WPS, che offrono una soluzione al problema della localizzazione indoor, e quindi in assenza di GPS.

Le comunicazioni tra utenti ed altri che si trovano in loro prossimità, stanno diventando un importante strumento per le persone e un modo comodo di poter espandere la propria rete sociale. La localizzazione dei mobile host avviene tramite GPS, o Geolocation. Con il termine Geolocation si definisce il processo attraverso il quale è possibile determinare la posizione geografica relativa ad un utente connesso a Internet basandosi sulla sola informazione fornita dal suo indirizzo IP del suo dispositivo mobile. La conoscenza della posizione geografica è un fattore molto importante, dal momento che, utilizzando tale informazione, un sito web potrebbe fornire ulteriori informazioni importanti all'utente (come ad esempio una lista degli hotel e dei ristoranti disponibili in quell'area, potrebbe fornire degli annunci o pubblicità mirate per quell'area, oppure mappe o altre informazioni relative al traffico e alle condizioni climatiche di quella zona), e, soprattutto, è molto utile e di aiuto quando utilizzata su dispositivi mobili come portatili, smartphone, o palmari.

Gli indirizzi IP vengono assegnati agli utenti Internet dai provider dei servizi e sono assegnati in tutto il mondo basandosi su una suddivisione per aree geografiche: sfruttando tale informazione, la posizione fisica può essere agevolmente associata a ciascun indirizzo IP (in un modo del tutto simile a quanto avviene con i numeri di telefono).

4.4 Rassegna servizi di prossimità

4.4.1 Swarmbit

Un'applicazione basata sul Geolocation, in grado di trovare nelle vicinanze i propri amici e non solo è Swarmbit [28], nuovo social network di prossimità creato da A-Tono, in cui i membri creano uno "sciame", collegandosi fra loro quando stanno facendo la stessa cosa, nello stesso luogo e nello stesso momento. L'idea di Swarmbit, parte dal concetto di "Sciame" elaborato dal sociologo Zygmunt Bauman. Il nuovo social network di prossimità, permette infatti di connettersi e comunicare in tempo reale con le persone che si trovano nello stesso "cerchio di prossimità" – anche se non si conoscono – condividendo in modo semplice e veloce diversi tipi di file: foto, video, musica, presentazioni, documenti ed altro. Per esempio, se siamo ad un party e vogliamo condividere tutte le nostre foto con le persone presenti, basta solo creare una cartella, mettere dentro tutte le foto desiderate e tutti intorno a noi potranno scaricare le nostre foto direttamente dai loro device. Non c'è bisogno di creare nessun account o di essere "amici" per condividere i file che desideriamo. Swarmbit trasforma direttamente il nostro smartphone in un server dove sono contenuti i file che vogliamo condividere. Il valore aggiunto di Swarmbit, è rappresentato proprio dall'immediatezza, dalla possibilità di poterli scambiare e possedere "qui e ora", senza attese e senza dovere richiedere l'approvazione delle amicizie a persone sconosciute. Appena si avvia Swarmbit, la schermata principale "Mappa" rileva automaticamente la posizione dello smartphone: a questo punto è possibile creare in quella zona la propria cartella ed inserire le informazioni richieste. Una di queste è la durata della cartella temporanea, ossia il numero di ore in cui rimarrà attiva e visibile sulla mappa (minimo 1 ora e massimo 24 ore). Trascorso questo tempo, il suo contenuto non sarà più disponibile. Una delle caratteristiche principali dell'app è proprio la "temporary", la possibilità di condividere contenuti limitati nel tempo, scaricandoli direttamente e liberamente dalla cartella. Condizione fondamentale è che ci si trovi all'interno del raggio d'azione precedentemente impostato: da un minimo di 100 metri ad un massimo di 1.000 metri. I contenuti scaricati saranno salvati e rimarranno disponibili anche quando la cartella sarà scaduta o nel caso in cui ci si allontani dal cerchio di prossimità.

Sarà quindi possibile gestire i file, eliminandoli o esportandoli tramite i maggiori clouds: DropBox, SugarSync e Box.net, in modo da averli sempre disponibili sul proprio smartphone o sul PC.

4.4.2 Facebook Places

Facebook ha lanciato il servizio Places [29], un'applicazione che dà la possibilità agli utenti, di localizzare geograficamente la loro posizione, utilizzando il GPS, di condividere la sua posizione geografica reale, di taggare gli amici che si trovano con lui in un determinato luogo, di registrarsi nei luoghi che visita e di leggere i commenti lasciati dagli amici in merito ai luoghi stessi. L'applicazione ha tre funzioni principali:

- permettere agli utenti di condividere la loro posizione geografica con gli amici
- sapere dove si trovano questi ultimi
- e scoprire nuovi luoghi

In aggiunta è stato creato il servizio di Deals, un sistema di incentivi basato sulle pagine Places; la piattaforma permetterà alle aziende di offrire sconti o promozioni e agli utenti di usufruirne individuando i luoghi contrassegnati da un'icona gialla. Il sistema funziona ed è semplice, ogni amministratore di qualsiasi pagina può creare un incentivo. Così come gli incentivi personalizzati incrementano le connessioni alle pagine fan, i deals incrementeranno i check-in alle pagine places che possono fondersi completamente alle corrispondenti pagine fan. Gli incentivi attraverso la pagina Places saranno di quattro tipi:

1. Individual deals: facendo check-in si ottiene un'agevolazione, uno sconto, un omaggio;
2. Friend deals: facendo check-in con n amici, si ottengono dei benefit variabili;
3. Loyalty deals: viene premiata la fedeltà dei clienti, ad un frequentatore abituale vengono riservate delle attenzioni particolari;
4. Charity deals: ad ogni check-in l'azienda effettua una donazione.

Le offerte si riconoscono grazie ad un'icona gialla vicino al nome del luogo, eccetto per quelle a scopo benefico, che sono di colore verde. I deals possono presentare limiti di durata (offerta a scadenza), di quantità (offerta per n prodotti), di check-in (per scopi promozionali è valido un solo check-in al giorno).

Così come avviene per gli annunci di Facebook Ads, i deals devono essere approvati volta per volta da Facebook, che promette la revisione entro 48 ore.

Pertanto se si è in un negozio è possibile ricevere uno sconto, se si è in un bar è possibile sapere cosa i tuoi amici hanno detto a riguardo e se qualcuno di loro si trova nelle vicinanze. Quindi, ciò che i dispositivi mobili e queste applicazioni stanno facendo, è collegare il mondo digitale a quello reale e di conseguenza la gente sarà sempre più collegata alle altre persone.

4.4.3 Google Latitude

Google Latitude [30] un servizio che si propone come un'estensione di Maps ed attraverso il quale è possibile informare i propri conoscenti sulla zona in cui ci si trova. Dalla medesima interfaccia, ogni utente che si sia abbonato gratuitamente al servizio Latitude può a sua volta stabilire la posizione di colleghi, amici e parenti. Il servizio Google Latitude è attivabile e disattivabile a richiesta ed accessibile solo avendo preventivamente effettuato il login a Google Maps. Per poter visualizzare la posizione di un amico è necessario averne l'autorizzazione, che può essere concessa in modo selettivo a uno, a più o a tutti i propri contatti, decidendo anche quali informazioni rendere di volta in volta visibili. Una volta identificato il contatto sulla mappa, è possibile interagire con lui sia telefonicamente, sia attivando sessioni di chat o di messaggistica.

Per stabilire la posizione di un utente, Google Latitude utilizza il GPS integrato nel dispositivo mobile, in sua mancanza, tenta di raccogliere informazioni dai ripetitori della telefonia mobile, da access point Wi-Fi e così via. Un aspetto importante di Google Latitude è proprio, come l'applicazione riesca a stabilire la posizione di un utente che non dispone del GPS integrato nel suo dispositivo mobile. Il servizio Latitude di Google funziona in modo molto simile a quello offerto da Skyhook Wireless, una società statunitense, con sede a Boston, che ha costruito un enorme database contenente gli indirizzi MAC di tutti gli access point Wi-Fi rilevati in giro per il mondo. A ciascun indirizzo sono associate delle coordinate GPS che ne identificano la posizione. Incrociando i dati letti attraverso l'interfaccia Wi-Fi di uno smartphone non dotato di GPS, e relativi agli access point disponibili nelle vicinanze, Latitude può approssimare il posizionamento dell'utente. Combinando le informazioni raccolte anche da altri dispositivi circa il posizionamento degli access

point, delle “celle” della telefonia mobile e combinandole con i dati GPS, Latitude può risalire a delle coordinate spesso molto precise.

Il server Latitude eseguirà le triangolazioni (ovvero la raccolta di almeno 3 punti di riferimento che permettono di stabilire le coordinate geografiche, Gis point), usando il maggior numero informazioni disponibili (celle della telefonia mobile, posizionamento reti Wi-Fi, dati GPS) e stabilirà dove si trova l'utente. Il livello di precisione del servizio dipende dal tipo di segnale elaborato. Su rete Wireless l'approssimazione della posizione è di circa 200 metri, da 100 a 300 metri in base al segnale Gsm, pochi metri utilizzando il segnale GPS. La raccolta di punti intermedi permette di portare il margine di errore anche su rete Gsm fino a 10-20 metri.

4.4.4 Foursquare

Foursquare [31] è un'applicazione mobile e web che permette agli utenti registrati, di condividere la propria posizione con i propri contatti, grazie al sistema dei check-in, visualizzando cosa c'è e chi tra gli amici si trova nelle vicinanze.

In particolare, caratteristica di quest'applicazione è la possibilità di fare “*check-in*” su un determinato luogo, ossia di lasciare un feedback, un commento su ad esempio un ristorante, bar, locale. Più check-in vengono effettuati più l'utente accumula punti, ed eventualmente a delle promozioni.

Già dal primo check-in ogni utente si imbatte nel concetto di *badge*. Un badge viene sbloccato completando determinate attività, come ad esempio seguire un certo Brand (o marchio) su Foursquare o effettuare un certo numero di check-in in determinate *venue* (luoghi fisici, dove gli utenti possono fare check-in, vincere badges). E' possibile considerare il badge come un “premio” per aver portato a termine le attività previste e indica un avanzamento dello status dell'utente.

Più nel dettaglio, i badge possono essere sbloccati in genere secondo 3 modalità:

- effettuando un certo numero di check-in in luoghi differenti (in questa categoria rientrano ad esempio i badge Novizio, Avventuriero, Esploratore...)

- effettuando un certo numero di check-in in luoghi taggati in una determinata categoria o consigliati, e seguendo il brand su Foursquare: è il caso dei badge messi a disposizione da uno specifico marchio (ad es. Mazda, People, Apple)
- effettuando check-in in determinati luoghi nel corso di eventi particolari (mostre, festival, manifestazioni come ad esempio NY Comic Con, Elezioni USA 2010)

Collezionare i badge costituisce uno degli elementi più divertenti di Foursquare, poichè ogni utente, una volta entrato nelle dinamiche del “gioco”, aspira a sfidare i propri amici con l’obiettivo di diventare super-utente e mostrare con orgoglio la sua collezione di badge. I badge possono essere considerati delle “icone” che mostrano agli amici interessi e abitudini, anche attraverso la presenza a determinati eventi. Oltre a ciò, molti Brand premiano con gadgets o offerte gli utenti che fanno check-in e sbloccano i loro badge. In questo caso si va oltre il semplice gioco e Foursquare diventa uno strumento per interessanti iniziative di marketing.

Lo status Superuser è assegnato agli utenti che effettuano check-in e aggiungono luoghi al database del sito molto frequentemente ai quali vengono assegnati delle possibilità di amministrazione delle pagine relative ai luoghi. A ognuno dei tre livelli corrispondono delle possibilità gestionali relative al database dei luoghi presenti sul sito:

- Superuser di Livello 1 possono modificare le pagine relative a tutti i luoghi presenti nel database, compresa la localizzazione su mappa del luogo. Questi user hanno la possibilità anche di segnare un luogo come chiuso o non più accessibile e di segnalare pagine doppie per uno stesso luogo in modo che le informazioni relative alle due pagine possano venire unite in una pagina sola.
- Superuser di livello 2 hanno le stesse possibilità di modifica dei luoghi relativi al livello precedente (informazioni, orari, posizione geografica e tag) ma possono in più mettere in atto l'unione di due pagine relative allo stesso luogo suggerita dai superuser di livello 1 decidendo quali informazioni mantenere dell'una o dell'altra pagina. Inoltre i superuser di Livello 2 possono modificare le categorie di un luogo e inserire siti internet relativi ai luoghi.

- Superuser di livello 3 aggiunge alle funzionalità già presenti nei due livelli precedenti la possibilità di creare e rimuovere gli alias dei luoghi e di agire su una lista globale di segnalazioni riguardanti dati e posizioni geografiche incorrette relative ai luoghi del database. Differentemente dai Superuser di livello inferiore, quelli di livello 3 visionando una lista globale di segnalazioni, possono apportare modifiche ai luoghi di tutto il mondo e non solo a quelli della città nella quale eseguono il check-in.

Se un utente esegue il check-in in uno stesso luogo più giorni di seguito e visita un luogo più di qualsiasi altro utente nei precedenti 60 giorni ne diventa sindaco o Mayor e il suo avatar è inserito nella pagina relativa al luogo fino a quando un nuovo utente non esegue più check-in del sindaco in carica. Per diventare sindaco non valgono check-in multipli eseguiti nello stesso luogo durante lo stesso giorno. I proprietari di un'attività hanno la facoltà, qualora la pagina relativa al luogo non sia stata creata da loro, di reclamarla e di offrire sconti e offerte al sindaco.

Nel settembre 2010 è stata rilasciata la versione 2.0, con alcune novità. La prima novità che salta all'occhio è che ora Tips(commenti) e To-Dos hanno ognuna la propria sezione dedicata: non è una scelta banale, in questo modo infatti non solo si può rapidamente accedere ai consigli su determinate venue (grazie ai Tips), ma si ha una sezione dedicata a ciò che ci siamo ripromessi di fare nel futuro (i To-Dos appunto). A questo proposito la possibilità di visualizzare sulla mappa tutti i luoghi che ci eravamo segnati – o che vengono consigliati – è davvero comodo, e cambia sostanzialmente l'approccio a questa funzione di Foursquare. Le altre novità visibili ad un primo sguardo riguardano sostanzialmente delle piccole – ma interessanti – migliorie grafiche o aspetti legati alla user experience: andando nel proprio profilo si ha un counter con tutti i propri check in, i Tips hanno un loro bottone in evidenza, l'aspetto grafico – di tutta l'applicazione – è in generale più piacevole e curato. La novità più importante è sicuramente l'introduzione del bottone “*Add to My Foursquare*”. Se fino ad oggi i luoghi potevano essere “scoperti” attraverso i check-in dei propri amici, o passandoci vicino, ora ogni sito web di attività che abbia uno store fisico può inserire il bottone “*Add to My Foursquare*” in modo che questo appaia tra i To-Dos dell'utente stesso, insomma è la reale connessione tra web e mondo reale. L'embed del bottone è una grande novità, che offre ampie possibilità di azione per tutti quei brand che hanno convenienza ad attirare clienti nei propri store fisici, ma non solo.

Il 9 marzo 2011 è stata rilasciata la versione 3.0. La prima grande novità di questa versione è la nuova scheda “Explore”. Si tratta di un sistema di ricerca, che sfruttando il sistema di geolocalizzazione del nostro device, permetterà di individuare i posti consigliati inerenti al tema ricercato, nelle nostre vicinanze. La vera particolarità consiste nel fatto che tali suggerimenti del sistema non saranno casuali o predeterminati, ma saranno tagliati su misura per noi. Essi saranno infatti calcolati sulla base di un particolare algoritmo che prende in considerazione molti fattori tra cui i luoghi in cui si è stati, i posti visitati dagli amici, il grado di fedeltà con i vari posti, le categorie dei vari tipi di luoghi che si è soliti frequentare non solo diversamente in base ai giorni della settimana ma anche tenendo conto dell’ora in cui si effettua la ricerca. Il sistema, a ricerca terminata, “raccomanderà” un posto e fornirà addirittura la motivazione per cui si è giunti a tale conclusione (ad es. se è il luogo più frequentato dai propri amici). All’esterno della scheda “Explore” potremo vedere emergere, sempre tra i dati ricercati, coloro che più si sono distinti nelle categorie desiderate mentre nella scheda “Me” potremo farci guidare dalle categorie e posti che sono stati più frequentati dai nostri amici. Ultima novità, ma non per importanza, è la crescente importanza attribuita dal celebre social network per i commercianti. Saranno infatti introdotti 6 nuovi tipi di “Specials” che permetteranno di premiare (attraverso sconti, offerte speciali e quant’altro) non solo il Mayor ma anche i clienti fedeli, i nuovi clienti o semplicemente tutti coloro che si trovano in zona in quel determinato momento.

L’indicizzazione geografica utilizza la libreria s2 di Google per memorizzare gli identificativi di cella all’interno dell’indice di ricerca. Per convertire a ritroso gli indirizzi codificati geograficamente in coordinate, consentendo così di collocare i luoghi su una mappa e renderli disponibili per una ricerca basata sulla posizione, si utilizzano PostGIS e geonames.org

L’utilizzo dei sistemi di prossimità trova applicazione, oltre che nei social network, anche nel gaming online. Attraverso sensori bluetooth infatti si potrebbe dar luogo a partite multiplayer posizionate nelle immediate vicinanze. Da verificare l’utilizzo di sensori GPS e sistemi wireless (WLAN) applicati ai giochi multiplayer di prossimità, dal momento che, molti giochi richiedono un’elevata capacità di calcolo da parte di dispositivi e una connessione abbastanza potente e continua.

5 Sistemi e applicazioni di prossimità mobile

L'utilizzo dei sistemi di prossimità mobile sta entrando sempre di più nella vita quotidiana delle persone. Pagare con una smart card o smartphone l'autobus, la metro, il treno, i parcheggi, etc., oppure scaricare sul telefono un'app per evitare le congestioni del traffico, ritrovare la macchina rubata grazie a un dispositivo antifurto di localizzazione, controllare il traffico della tangenziale sul monitor del Pc di casa oppure esserne informati con un sms o un alert direttamente sul cruscotto della vettura. Il numero crescente di elettrodomestici e dispositivi abilitati al Web, insieme alla sempre più diffusa disponibilità di banda larga per le comunicazioni, stanno dando il via a prodotti e servizi nuovi, più intelligenti, che vanno oltre i mercati tradizionali. L'Internet "delle persone" sta evolvendo verso l'Internet "delle cose": presto i dispositivi connessi arriveranno a più di mille miliardi. Si prevede che, entro il 2013, ci saranno oltre un miliardo di apparecchi elettronici di largo consumo in più di 800 milioni di case con collegamenti a banda larga [32]. Esaminiamo l'utilizzo presente e futuro delle tecnologie di prossimità mobili.

5.1 Sistemi di micro-pagamenti mobili

Tipicamente al giorno d'oggi, l'acquisto senza moneta cartacea avviene attraverso bancomat e carte di credito. Si sta sempre più diffondendo, però, il concetto di pagamento effettuato attraverso il telefonino, ovvero di Mobile Proximity Payment. Nel 2011 in Italia sono stati effettuati pagamenti tramite cellulare per un valore superiore a 700 milioni di euro e il Mobile Payment è arrivato a coinvolgere circa 23 milioni di italiani, il 76% dei cittadini tra i 18 e i 54 anni [33]. Tanti sono infatti coloro che hanno effettuato nella loro vita almeno una volta un pagamento da cellulare, sia esso una donazione, una ricarica o l'acquisto di un'app. Secondo un'indagine di Tns e Vrl [34] presentata in occasione del recente Prepaid Summit: Europe 2011 tenutosi a Milano, il 42% di un campione di 600 utilizzatori italiani di telefoni cellulari ha dichiarato infatti che si servirà di un servizio di pagamento mobile al posto del contante. L'universo dei "pagamenti mobili" è abbastanza vasto. Un pagamento mobile è un processo che coinvolge due parti, le quali si scambiano un dato valore finanziario relativo a un bene o a un servizio, utilizzando un terminale mobile: un telefono cellulare, uno smartphone, un PDA o, a tendere, anche apparecchi elettronici intelligenti, ad esempio un computer di bordo per la navigazione veicolare, una televisione ecc. Il pagamento

mobile è dunque una pratica abbastanza consolidata: da quando esistono piattaforme di pagamento via Sms esiste infatti la possibilità di effettuare un pagamento mobile. Con il tempo la definizione è andata tuttavia restringendosi, includendo il requisito dell'immediatezza (la transazione deve concludersi in tempo reale) e della rapidità (entro i 10 secondi), che hanno generato un terzo requisito: la prossimità. La forma di pagamento mobile che oggi interessa di più è quella di prossimità, che a sua volta viene ulteriormente distinta in "micro" o "macro-pagamenti" a seconda del valore del pagamento (inferiore o superiore a 10 euro), distinzione importante dato il differente livello di sicurezza richiesto. Sostanzialmente quattro sono le tecnologie sviluppate a supporto di questo tipo di transazione wireless: infrarossi, bluetooth, RFID, Near Field Communication (NFC). Sono considerati Mobile Proximity Payment anche quei pagamenti che vengono attivati da codici bidimensionali ad esempio QR-code e Data Matrix. In particolare QR-code e la tecnologia NFC hanno ormai preso piede nel mercato del mobile payment.

I codici Data Matrix, QR e altri codici a barre, diventano dei veri tag e che possono essere letti con i telefonini dotati di fotocamera, semplicemente scaricando un'applicazione compatibile con il proprio modello (sviluppata in Java oppure nativa Symbian, Windows Mobile, iPhone...) permettendo la scansione e la decodifica del codice. I codici possono essere usati in modo sicuro, indipendentemente dal supporto, con molteplici applicazioni:

- catturare un indizio internet da memorizzare e aprire direttamente con il browser del telefonino;
- catturare un numero di telefono da chiamare o memorizzare;
- ottenere un messaggio già pronto. Utile, per esempio, per iscriversi a servizi di notizie via sms/mms;
- visualizzare e salvare testi sul proprio telefonino, in modo molto più chiaro della semplice fotografia, per esempio degli orari dell'autobus;
- l'advertising multimediale e il one-click content, ovvero il reperimento facile e l'invio veloce d'informazione su terminali mobili.

Tutto ciò inquadrando semplicemente un'immagine, ovvero un tag anziché inserendo un indirizzo internet. L'utilizzo del tag diminuisce fortemente il numero di click per la ricerca d'informazione in mobilità e al contempo consente di aumentare la visibilità dei contenuti.

5.1.1 Caratteristiche dei codici QR

Un codice QR [35] è un codice a barre bidimensionale creato dalla giapponese Denso-Wave nel 1994. Il “QR” deriva da “Quick Response” (Risposta Rapida), poiché il creatore pensava ad un codice che consentisse una rapida decodifica del suo contenuto. I codici QR sono molto comuni in Giappone e sono attualmente il più popolare tipo di codice bidimensionale del paese. Sebbene inizialmente utilizzato per tracciare pezzi nella costruzione di veicoli, i codici QR sono ora gestione delle scorte di un'ampia varietà d'industrie. Più recentemente, sono state sviluppate applicazioni orientate verso la comodità, finalizzate a sollevare l'utente dal noioso compito di inserire dati nel telefono cellulare. Anche l'aggiunta di codici QR sui biglietti da visita sta diventando comune, semplificando notevolmente il compito d'inserire i dettagli personali di una nuova conoscenza nelle rubriche del proprio telefonino.

L'elemento più piccolo (ogni singolo quadratino) del codice QR si chiama modulo. Un codice QR è composto dalla combinazione di moduli in bianco e nero, e descrivono le informazioni sul formato, il livello di correzione degli errori, l'area dati e codici di correzione degli errori.

Per codificare i dati in un simbolo QR si devono eseguire i seguenti passi principali. La stringa di input (che può essere qualsiasi valore ASCII tra 0-255) è codificata, lo scopo primario della codifica è quello di comprimere i dati in una forma molto più breve. Se necessario, i dati sono riempiti fino alla capacità della dimensione del simbolo. Una volta che la stringa è stata codificata, vengono aggiunti i valori di codici di correzione degli errori in modo che i dati possano essere recuperati, anche se una parte del simbolo è stata distrutta, per esempio da uno strappo o coperto da una macchia. Infine, i dati codificati e i codici di correzione dell'errore si collocano nel simbolo secondo un algoritmo specificato nella norma ISO, questo è fatto mettendo ogni byte di dati in una posizione specificata nel simbolo.

5.1.2 Near Field Communications

NFC [36] è una tecnologia derivata da RFid, una tecnologia per l'identificazione e/o memorizzazione dati automatica di oggetti. L'infrastruttura di un sistema RFid è formata da 3 componenti: il tag, un reader e il software di gestione. Il tag o transponder, è un trasmettitore a radio

frequenza di piccole dimensioni e può assumere le più svariate forme; da un'etichetta di pochi centimetri, un bottone o un portachiavi. All'interno del tag troviamo un chip che ne assicura il funzionamento, un'area di memoria e un'antenna per la comunicazione con il reader. Il reader, oltre a comunicare le operazioni richieste dal software di gestione, in genere fornisce l'energia necessaria per l'attivazione del tag.

5.1.2.1 Applicazioni

L'utilizzo di tag RFid per gestire oggetti nella logistica di produzione e di identificazione nel settore del commercio è già una realtà. Il progresso della tecnologia RFid promette che tutti gli articoli di consumo nei supermercati siano muniti di tag RFid, ma al momento non si è ancora giunti ad un'ampia diffusione. Sistemi RFid sono integrati nel controllo degli accessi, nei documenti per l'identificazione, nel controllo degli animali, i tag sono presenti negli autoveicoli, abiti calzature o in un tappo di una bottiglia di vino. Un settore nella quale l'uso degli RFid è ampiamente utilizzato è quello relativo alla catena di distribuzione delle merci, infatti il parlamento Europeo, nel 2005, ha varato una legislazione che rende obbligatoria la tracciabilità dei beni, fattore che ne aumenterà l'adozione di RFid. Rispetto ai codici a barre, gli RFid si prestano meglio per veicolare informazioni a sistemi d'interrogazione come i database. Grazie ai codici identificatori universali (EPC) e ad un basso costo dei Tag si potrà fruire un'enorme quantità d'informazioni riguardo i prodotti verso i produttori, distributori e consumatori.

5.1.2.2 Protocolli di comunicazione

Il protocollo NFC è stato sviluppato congiuntamente da Sony e Philips nel 2004. Nel 2004 viene fondato l'NFC Forum, che ad oggi conta più di 100 membri come Nokia, Samsung, Visa, MasterCard e altre aziende dei settori delle telecomunicazioni e finanziarie, con l'obiettivo di standardizzare i protocolli e garantire la massima interoperabilità tra sistemi e applicazioni. Gli standard sono definiti in ISO, ECMA e ETSI, si suddividono:

- NFCIP-1: interfaccia radio, inizializzazione, anti-collisione, protocolli di scambio dati e gestione degli errori.

- NFCIP-2: meccanismo di scambio tra i protocolli di comunicazione ISO 14443 e ISO 15693 sempre a frequenza 15.63 MHz.
- NFCIP-WI: guida il meccanismo di comunicazione tra chip NFC e dispositivo ospitante.

NFC è inoltre compatibile con la diffusa architettura delle smart card contactless, basate su ISO 14443 A/B, Philips MIFARE che è la più diffusa al mondo.

5.1.2.3 Caratteristiche NFC

Near Field Communications è l'unione di un reader e di un tag in un unico dispositivo permettendo una comunicazione di tipo "Peer-to-peer". NFC è una tecnologia di comunicazione wireless a corto raggio che permette a due dispositivi in stretto contatto di scambiarsi dati. NFC consente una comunicazione a distanza di circa 10 centimetri e una velocità dai 106 a 848 KBit/s. L'obiettivo principale sono creare servizi contactless sul mobile come micro-pagamenti, i consumatori possono fare acquisti e pagare utilizzando i propri telefoni NFC. Altri servizi saranno la lettura d'informazioni, dal prodotto di un negozio fino al monumento di una città. La mancanza di standardizzazione e di un modello di business condiviso dai vari partner e sponsor, ha rallentato la diffusione della tecnologia. Attualmente si stima che nel 2012, il 20% dei telefonini immessi nel mercato saranno telefoni NFC. L'integrazione del NFC nei lettori musicali portatili, TV, e altri elettrodomestici consente di trasferire facilmente materiale multimediale. NFC è compatibile con gli attuali sistemi contactless usate per il ticketing, trasporto e pagamenti. Un telefonino NFC opera in tre modalità differenti: scrittore-lettore, emulazione carta e Peer-to-peer. In modalità lettore-scrittore, un telefonino NFC può essere utilizzato come un lettore-scrittore di tag e smartcard. In questa modalità fornisce un modo semplice e veloce per creare un biglietto da visita, messaggi SMS, richiesta di chiamata o per accedere a un indirizzo web. L'NFC Forum specifica il formato dei dati da memorizzare su un tag. In modalità di emulazione carta un telefonino NFC emula una smartcard ISO-14443 o un Mifare classic 4K tag integrate nel telefono.

La modalità Peer-to-Peer (P2P) è una modalità che consente a due telefoni cellulari NFC o altri dispositivi, di condividere i dati toccandosi a vicenda. Le modalità sopracitate permettono di eseguire le seguenti principali attività:

- Biglietteria. Un telefono è come un biglietto: i dati di viaggio vengono memorizzati nell'area protetta del telefonino. Consente di accedere oltre i tornelli dei trasporti o fungere come carta di autorizzazione, ed è possibile visualizzare le transazioni recenti sul display del telefonino.
- Smartcard: il telefonino diventa una smartcard contactless per il pagamento e permette di effettuare acquisti nei negozi. Le credenziali sono salvate nell'area protetta del telefonino. Applicazioni apposite permetteranno di visualizzare la cronologia delle transazioni effettuate.
- Scambio dati: in caso di utilizzo con un PC potranno effettuare funzioni di scambio d'informazioni o di sincronizzazione. È possibile velocizzare il processo di pairing con dispositivi Bluetooth o Wi-Fi. È possibile inviare immagini via Bluetooth toccando una etichetta su una stampante oppure semplicemente toccando due telefonini NFC.
- Lettori di tag: avvicinando il telefonino a Tag Rfid si può leggerne i contenuti ed effettuare azioni. Nel caso di un cartellone pubblicitario sarà possibile scaricare contenuti legati all'informazione ed accedere ad Internet per effettuare registrazioni. È possibile salvare l'ora della sveglia in un tag sul nostro comodino o lasciare un messaggio sulla porta di casa.

Per consentire l'interazione tra il telefono cellulare dell'utente e i sistemi di pagamento è necessario integrare nel terminale POS, presenti nei negozi con un chip contactless. Adeguare tutti i POS presenti in Italia richiede, perciò, un investimento elevato in termini sia di tempo sia di denaro. Un dispositivo NFC può comunicare sia i lettori e card ISO 14443, quindi è già compatibile con le infrastrutture RFID esistenti per il pagamento e trasporto pubblico.

5.1.2.4 Confronto tra le comunicazioni wireless

Perché utilizzare una nuova tecnologia di comunicazione rispetto ad altre tecnologie esistenti come il bluetooth? L'NFC ha il vantaggio di avere tempi di configurazione e inizializzazione della connessione più brevi. Spesso occorre una configurazione manuale complessa per attivare la connessione con i sistemi wireless tradizionali mentre l'inizializzazione delle connessioni con dispositivi NFC è praticamente immediata. Per evitare il complicato processo di configurazione, NFC può essere utilizzato per la configurazione di tecnologie wireless, come Bluetooth. Anche se la velocità di trasmissione dei dati è più lenta rispetto il Bluetooth, l'NFC si rende adatto ad essere

utilizzato in aree affollate garantendo un maggior grado di sicurezza, avendo una distanza di comunicazione molto inferiore.

Confronto tra comunicazioni Wireless

	NFC	IrDA	Bluetooth	802.11x
Inizializzazione	0.1 ms	0.5 s	6 s	6 s
Distanza operativa	10 cm	5 m	10 m	100 m
Usabilità	Facile	Facile	Media	Media
Casi d'uso	Pagamenti, Accessi, Piccole transazioni	Controllo, Scambio dati	Scambio dati	Scambio dati
Configurazione	Nessuna	Nessuna	Manuale	Manuale

5.2 Sistemi di controllo del traffico

L'information technology (IT) sta influenzando molti campi della società attuale, dalla medicina alle amministrazioni pubbliche, arrivando infine a toccare anche il sistema dei trasporti. Molti credono che per migliorare il sistema dei trasporti basti costruire nuove strade o riparare quelle attualmente in uso, ma in realtà l'utilizzo massiccio di tecnologie diminuirebbe notevolmente il rischio di incidenti. Per ITS (Intelligent Transportation System) si intende l'applicazione dell'IT ai sistemi dei trasporti. Le sfere di applicazione dell'ITS possono essere raggruppate in 5 categorie:

1. sistema di informazioni avanzate sul percorso, orari, meteo il tutto in tempo reale
2. sistemi di gestione che includono dispositivi di controllo della congestione del traffico, segnali stradali
3. ITS include sistemi elettronici di gestione dei pedaggi (ETC), passaggi veloci ai caselli senza doversi fermare;
4. sistemi per i trasporti pubblici come per esempio treni e autobus, in modo da informare in tempo reale i passeggeri su partenze e arrivi dei servizi in tempo reale

5. sistema che prevede lo scambio di informazioni sia da veicolo a veicolo che da veicolo a infrastruttura (sensori a bordo strada), RSU.

I benefici che l'ITS procura sono:

1. incremento della sicurezza;
2. abbassamento dei tempi di percorrenza
3. miglioramento della viabilità
4. benefici ambientali
5. espansione economica e posti di lavoro

Il traffico è in costante aumento in tutto il mondo, ed è il risultato di una crescente motorizzazione, urbanizzazione e della crescita demografica, nonché di un sostanziale cambiamento nella densità di popolazione. Negli Stati Uniti la recente attività governativa nell'area dell'ITS è ulteriormente motivata dalla necessità percepita della sicurezza.

5.2.1 Principali tecnologie di base

- **Global Positioning System (GPS):** Un ricevitore GPS integrato nel veicolo (OBU, apparecchio GPS, realizzato da NEXT, che trasmetterà la posizione della vettura), riceve segnali da più satelliti per calcolare la posizione del dispositivo e quindi del veicolo. La posizione di solito può essere determinata con un'approssimazione di 10 metri. GPS è la tecnologia sulla quale si basano i sistemi di navigazione.
- **Dedicated-Short Range Communications (DSRC):** DSRC [37] è un sistema di comunicazione wireless a corto raggio, che opera su bande di frequenza 5.8 o 5.9 GHz, specificamente utilizzato e progettato per impieghi automobilistici. DSRC consente di comunicare sia tra veicoli(tramite tag o sensori incorporati) e sia con attrezzature a bordo strada(RSU, Road Site Unit). DSRC è una tecnologia chiave per le comunicazione veicolo-to-veicolo(V2V) e V2I, veicolo-to-infrastruttura(RSU), consente pedaggio elettronico, informazioni sul percorso, sulla congestione del traffico. La comunicazione veicolo-to-veicolo può essere considerata come un connessione peer-to-peer, attraverso la quale vengono scambiate le informazioni.
- **Wireless Networks:** Simile alla tecnologia usata per l'accesso wireless a internet, le reti wireless consentono comunicazioni veloci tra veicoli e i sensori stradali, ma hanno una

portata di poche centinaia di metri. Tuttavia questa portata può essere aumentata passando informazioni ad ogni successivo veicolo o nodo stradale RSU. La Sud Corea ha incrementato la portata delle connessioni wireless attraverso l'utilizzo di tecnologia come WiBro e WiMAX.

- **Mobile Telephony:** Le applicazioni ITS sono in grado di trasmettere le informazioni sia con reti di telefonia mobile 3G che 4G. Il vantaggio delle reti di telefonia mobile includono ampia disponibilità di connessione in città e nelle vicinanze delle grandi strade. Tuttavia la connessione tramite rete di telefonia mobile non è auspicabile per applicazioni ITS abbastanza pretenziose.
- **Radiowave or Infrared Beacons:** Vehicle Information Communications System(VICS) [38] è una tecnologia giapponese, che fornisce informazioni sul traffico in tempo reale ai conducenti. VICS è un sistema di comunicazione innovativo, permette di ricevere informazioni in tempo reale sulla congestione del traffico stradale e del regolamento, queste informazioni vengono elaborate dal centro di controllo VICS, e mostrato sullo schermo di navigazione sotto forma testuale o grafica. È possibile ricevere informazioni 24 ore al giorno, tutti i giorni. Le informazioni possono essere catturate dal VICS installato sul navigatore del veicolo in tre modi differenti: raggi infrarossi installati nelle grandi strade che comunicano le informazioni stradali fino a 30 km di distanza dal veicolo, onde radio poste nelle autostrade più grandi che possono comunicare con i veicoli a più di 200 km di distanza e attraverso l'utilizzo delle frequenze FM.
- **Roadside Camera Recognition:** Sistemi di telecamere che monitorizzano (come succede a Londra con il CCTV) la congestione del traffico della zona oppure di una specifica strada. Le telecamere utilizzano un sistema di riconoscimento delle targhe (ALPR), basato su una tecnologia di riconoscimento ottico dei caratteri (OCR), le informazioni vengono poi passate ad un ufficio che gestisce le informazioni sul traffico.
- **Probe Vehicles or Devices:** Diverse paesi utilizzano i cosiddetti “veicoli sonda” (spesso si tratta di taxi o veicoli governativi equipaggiati con DSRC o qualche altra tecnologia wireless) che trasmettono la loro velocità e la loro posizione ad un centro di controllo, il quale elabora un grafico sul flusso del traffico e identifica le zone congestionate.

5.2.2 Benefici ambientali ed economici

Le tecnologie ITS portano notevoli benefici ambientali, evitando di congestionare il traffico, e aiutando gli automobilisti a guidare in maniera più efficiente, riducendo così la necessità di costruire strade supplementari, massimizzando la capacità di quelle già esistenti. Lo scarico delle macchine è la principale causa dell'effetto serra. In Inghilterra il settore dei trasporti contribuisce a circa un quarto dell'emissioni di CO₂, 93% dei quali viene dalle strade. La congestione del traffico aumenta notevolmente l'emissione di CO₂. Pertanto, l'utilizzo dell'ITS aiuta a evitare un elevato livello di traffico abbassando, quindi sensibilmente l'emissione di CO₂.

Gli ITS aumentano i posti di lavoro, favorendo lo sviluppo economico migliorando le performance dei sistemi di trasporto di una nazione, in modo da garantire un trasporto efficiente e rapido di persone e i beni. Molte compagnie di trasporto utilizzano già tecnologie ITS e stimano un impatto di 200 miliardi di dollari sull'economia in un anno. ITS sarà anche un importante settore di crescita per i prossimi 25 anni. Gli studiosi prevedono che nell'arco di 20 anni il mercato dei prodotti e dei servizi legati all'ITS raggiungerà 420 miliardi di dollari. Il dipartimento dei trasporti USA ha inoltre stimato la creazione di circa 600 000 nuovi posti di lavoro nei prossimi 20 anni.

5.3 Sensori di prossimità e utilizzo

Una "Wireless Sensor Network" (o WSN) si indica una determinata tipologia di rete wireless costituita da dispositivi autonomi distribuiti spazialmente equipaggiati con uno o più tipi di sensori che complessivamente svolge la funzione di monitoraggio di determinate grandezze fisiche (ad esempio temperatura, pressione, vibrazioni, deformazioni strutturali, ecc.) e/o particolari condizioni ambientali (ad esempio rilevazioni di incendi, livelli di inquinamento, sovraffollamento di locali o luoghi pubblici, attività non autorizzate, ecc.) in diversi contesti (ad esempio un locale pubblico o privato, una coltivazione, un campo di battaglia, una fabbrica, un parco naturale, ecc.).

Originariamente l'utilizzo delle wireless sensor networks era riservato alle sole applicazioni militari, come ad esempio il supporto alle truppe sul campo di battaglia grazie al rilevamento della posizione degli avversari per mezzo di una rete di sensori di movimento/posizione depositata sul terreno per mezzo aereo.

Oggi le reti di sensori sono invece utilizzate in numerose applicazioni civili ed industriali, ad esempio come dispositivi di controllo di processo, monitoraggio ambientale, controllo del traffico, health-care. Ogni nodo della rete è costituito, oltre che da una parte sensoriale, anche da un trasmettitore/ricevitore radio (o altro apparato di comunicazione wireless), da un microprocessore/microcontrollore adeguato al carico di lavoro richiesto dal nodo (tipicamente la capacità di calcolo di questo genere di dispositivi è molto ridotta) e da una sorgente energetica (solitamente una batteria). La dimensione di un nodo di una rete wireless può variare da una scatola di scarpe ad un granello di polvere, anche se dispositivi effettivamente pervasivi, quindi di dimensioni microscopiche, non sono ancora stati ingegnerizzati e prodotti in serie. L'attuale dimensione di questi dispositivi arriva ad assestarsi a quelle di una grossa moneta. Una rete di sensori normalmente viene aggregata a formare una Wireless Ad-Hoc Network, ovvero una rete wireless non strutturata, in cui ogni nodo funge da router per le informazioni ricevute dai suoi primi vicini. Ad oggi, sono stati sviluppati numero algoritmi di routing specifici per infrastrutture di rete mobili multi-hop come le wireless sensor networks.

5.3.1 Caratteristiche

- Disposizione: random, ad hoc
- Dimensione: dai mm ai cm
- Costo: da pochi centesimi a centinaia di euro
- Eterogeneità: piattaforme e sensori diversi
- Comunicazione: wireless
- Topologia: struttura a stella (single hop) o ad albero (multi hop)
- Copertura: ore – anni
- Alimentazione: batterie, celle solari etc.

I nodi wireless sono equipaggiati:

- Trasmettitore radio
- Microcontrollore
- Alimentazione (batterie)
- Sensori

Lo scopo fondamentale di una rete di sensori è produrre su un periodo esteso di tempo, una raccolta di informazioni globale significativa ottenuta da una serie di dati locali provenienti dai singoli sensori. La rete deve essere realizzata in modo da garantirne l'integrità per un periodo di tempo il più lungo possibile, in modo da ottenere informazioni accurate anche in caso di attacco alla rete da parte di organi esterni o di cedimenti hardware. Un'importante via da seguire consiste nel rilevare il maggior quantitativo possibile di dati locali, evitando la trasmissione dei dati inefficienti attraverso la rete. Ci sono diverse tecniche che possono essere usate per connettere la rete con l'esterno, in particolare per trasmettere le informazioni che essa raccoglie. Nelle nostre reti sensoriali assumiamo che ci siano entità speciali chiamate nodi sink, che agiscono come nodi gateway, a lungo raggio d'azione e distribuiti accanto ai sensori. Una rete di sensori può essere vista come un insieme di sensori di diverso tipo capaci di rilevare grandezze come temperatura, umidità, pressione, luce, ma anche capaci di rilevare il movimento di veicoli, la composizione del terreno, livello di rumore e molte altre cose.

5.3.2 Applicazioni

È possibile classificare le applicazioni in cui si possono usare le reti di sensori in militari, ambientali, sanitarie, casalinghe e commerciali.

Applicazioni militari

La facilità e rapidità di distribuzione, l'auto-organizzazione e la tolleranza ai guasti fanno di una rete di sensori una tecnica promettente per applicazioni militari. Poiché una rete di sensori è basata su una disposizione densa di nodi monouso ed a basso costo, la distruzione di alcuni nodi da parte del nemico non danneggia le operazioni militari come potrebbe accadere con la distruzione dei sensori tradizionali. Le possibili applicazioni vanno dal monitoraggio di forze alleate, equipaggiamenti e munizioni alla sorveglianza del campo di battaglia. Sempre nel campo militare, è possibile usare una rete di sensori per effettuare il riconoscimento di nemici, la stima dei danni di una battaglia oppure il riconoscimento del tipo di attacco (nucleare, biologico o chimico).

Applicazioni ambientali

In questo ambito, le reti di sensori possono essere usate per alcune applicazioni che riguardano, ad esempio, il monitoraggio del movimento di uccelli, piccoli animali, insetti. È possibile anche effettuare il monitoraggio di una foresta e rilevare prontamente eventuali incendi, rilevare la quantità di pioggia caduta, il livello dell'acqua di un fiume e condizioni climatiche come ad esempio temperatura, l'umidità etc.. Le reti di sensori possono essere utilizzate anche nell'agricoltura di precisione: è possibile monitorare in tempo reale il livello dei pesticidi nell'acqua, il grado di erosione del terreno e il tasso di inquinamento dell'aria. Altra applicazione è quella del monitoraggio dell'habitat di animali, e lo studio del loro comportamento. Sempre nel settore ambientale, le reti di sensori possono essere di interesse per studiare gli spostamenti ed il dinamismo all'interno dei ghiacciai. A tal proposito i sensori vengono distribuiti all'interno del ghiaccio a profondità differenti. I sensori sono capaci di rilevare temperatura e pressione comunicando con una stazione base posizionata in cima al ghiacciaio che provvederà al trasferimento di questi a chi di competenza.

Applicazioni medico-sanitarie

L'utilizzo delle reti di sensori in campo sanitario mira a fornire un'interfaccia per le persone affette da handicap, al monitoraggio di dati fisiologici, all'amministrazione ospedaliera sia relativamente ai pazienti che ai medici (per una facile rintracciabilità). Inoltre è anche possibile usare i sensori per l'identificazione di allergie.

Applicazioni domestiche

Un esempio di utilizzo in ambito domestico è l'automazione della casa, che consiste nell'inserimento di sensori all'interno di elettrodomestici: forno, aspirapolvere, refrigeratore, videoregistratore e altro. Questi nodi possono interagire l'uno con l'altro e anche con reti esterne tramite l'utilizzo di Internet o del satellite permettendo la gestione anche da distanze remote. L'ambiente domestico viene ad assumere così le stesse caratteristiche di un piccolo centro fornito di una rete in grado di mettere in comunicazione tra loro tutti i vari strumenti di cui l'ambiente è composto.

Applicazioni commerciali

- In questo ambito, i sensori potrebbero essere usati per le seguenti applicazioni:
Rilevamento del furto di auto: nodi sensore sono stati disposti per scoprire e identificare minacce che avvengono in una determinata zona geografica. Tutte le informazioni rilevate sono inviate, tramite Internet, agli utenti finali per essere analizzate e per prendere i giusti provvedimenti;
- Rilevamento della posizione e del movimento di veicoli (car tracking): tramite una rete di sensori è possibile monitorare la posizione di un'auto in movimento. È inoltre possibile monitorare il traffico su strade particolarmente transitate;
- Controllo dell'ambiente in ufficio: in presenza di sistemi centralizzati di gestione del riscaldamento o dell'aria condizionata, con una rete di sensori nelle stanze è possibile controllare la temperatura e la distribuzione dell'aria calda e fredda nelle varie zone.

Applicazioni energetiche

Il monitoraggio del consumo energetico di ogni sistema, con l'impiego della WSN, migliora l'efficienza energetica nelle fabbriche, uffici, residenze/abitazioni. Il mantenimento e il cambiamento della topologia può essere diviso in tre fasi:

- Pre-deployment e deployment phase: i sensori possono essere sia gettati sia disposti uno ad uno nell'ambiente; infatti possono essere gettati da un aereo, da una catapulta, collocati uno ad uno da un robot o da una persona.
- Post-deployment phase: i cambiamenti topologici della rete sono dovuti al cambiamento della posizione dei nodi, oppure alla variazione della raggiungibilità di un nodo, dell'energia disponibile, alla presenza di malfunzionamenti etc...
- Re-deployment of additional nodes phase: nodi sensore addizionali possono essere ridisposti in qualsiasi momento per rimpiazzare i nodi malfunzionanti o a causa della dinamica dei task. L'aggiunta di nuovi nodi comporta la necessità di riorganizzare la rete. L'alta frequenza di cambiamenti topologici e il vincolo stringente del risparmio energetico richiedono protocolli di routing molto particolari.

5.3.3 ZigBee

ZigBee [39] è una tecnologia radio di prossimità nata, dalla necessità di definire uno standard di comunicazione wireless per la creazione di reti di micro-dispositivi che rispondano ai seguenti paradigmi: bassi costi, consumi limitati, utilizzo di frequenze libere, scalabilità affidabilità, interoperabilità e sicurezza. ZigBee opera su frequenze libere della banda UHF (868 e 915 MHz) e ISM (2,4 GHz), con velocità di trasmissione dati che arrivano al massimo a 250 Kbit/s. Essendo una tecnologia di prossimità, il raggio di azione non supera le decine di metri su singola tratta (single-hop), ma si estende a chilometri se si sfrutta il “multi-hop”, cioè la possibilità di transitare l'informazione da un nodo all'altro fino alla destinazione, che, non trovandosi nel raggio d'azione del nodo sorgente, non può essere raggiunto direttamente. ZigBee si basa sullo standard IEEE 802.15.4 per il livello fisico e il livello di accesso al mezzo condiviso (livello MAC) ed è nato per realizzare reti WPAN a basso bit rate di dispositivi intelligenti e multifunzione, in grado di integrare sensori e attuatori per la traduzione in dati di stimoli esterni di varia natura, che si riconfigurano dinamicamente per formare reti “ad-hoc”, adattabili al contesto in cui si inseriscono. Le

caratteristiche principali di reti di questo tipo sono l'adattabilità e la flessibilità, proprie del termine "ad hoc", in cui i nodi si auto-configurano, cioè si uniscono ad una rete e scoprono in maniera automatica il loro ruolo all'interno della rete stessa. La prima versione del protocollo ZigBee è stata standardizzata dalla ZigBee Alliance alla fine del 2004. Per garantire l'interoperabilità tra prodotti di fornitori diversi, la ZigBee Alliance prevede la creazione di profili applicativi standard: il primo profilo standard sarà quello di automazione domestica per il controllo di impianti di illuminazione, di riscaldamento e condizionamento e di altri sensori ed attuatori utilizzabili in ambito residenziale. Tramite la tecnologia ZigBee sarà possibile quindi accendere e spegnere le luci di casa, controllare sa remoto elettrodomestici e altri apparati quali il televisore o il digitale terrestre, per esempio la programmazione, l'acquisto e la visualizzazione di contenuti multimediali. L'integrazione della tecnologia ZigBee nei terminali consente all'utente di interagire direttamente con le reti ad-hoc e di sensori presenti nell'ambiente, aprendo importanti scenari applicativi e di utilizzo. Therabyte di dati, veicolati attraverso le reti dell'Operatore verso i centri servizi, vengono raccolti, correlati ed elaborati, trasformandosi in informazioni utili per il nostro vivere quotidiano. Si creano così sistemi di reti eterogenee nei quali le Wireless Personal Area Networks e le reti tradizionali dell'Operatore cooperano per monitorare e controllare ambienti quali la casa, l'auto, la città. Il nodo gateway, elemento chiave dell'interazione con la rete di distribuzione, integrato nell'ecosistema dell'Operatore può configurarsi come un terminale mobile (Smartphone, PDA) o fisso (es. Access Gateway) in cui viene integrato un nodo ZigBee. I nodi sensori delle reti ad-hoc sono tipicamente caratterizzati da scarse risorse computazionali, di memoria ed energetiche; l'integrazione del nodo gateway su terminale consente invece di superare tali limitazioni, utilizzando le risorse del terminale stesso. In questo contesto eterogeneo l'architettura di rete include stazioni base per l'accesso alla rete fissa, terminali fissi e mobili per il trasferimento dell'informazione, nodi sensori distribuiti; si configura perciò come un'architettura ibrida che coniuga l'accesso wireless a reti tradizionali con lo scambio di informazioni tipico delle reti "ad-hoc", sfruttando nuovi paradigmi di instradamento basati su architetture gerarchiche. Questi paradigmi fanno leva su sinergie tra le capacità di trasmissione e quindi di trasferimento dati, proprie dei nodi sensori e di terminali tradizionali sia fissi che mobili. L'operatore, in questo scenario di rete pervasiva fisso/mobile estesa ad un ambiente sempre più "intelligente", può giocare così un ruolo strategico importante, creando un ecosistema unico di cui assumere il controllo, non solo come trasportatore di dati, ma identificandosi come gestore della personalizzazione ed integrazione con i bisogni e le esigenze dell'utente. ZigBee è una tecnologia radio emergente che permette la creazione di reti ad-ho di oggetti intelligenti, abilitando una

moltitudine di servizi innovativi che spaziano dall'automazione domestica al monitoraggio dell'ambiente. Grazie all'integrazione di questa tecnologia in terminali fissi e mobili che si configurano come gateway, connettendo il mondo delle reti di sensori alle reti di distribuzione tradizionale dell'operatore, l'informazione si arricchisce e diventa pervasiva ed accessibile ovunque.

Bibliografia

- [1] Andreas F. Molisch, Wireless Communications, 2011
- [2] Marco Tullio Giordano, La sicurezza delle reti wireless, 2005
- [3] IEEE, IEEE 802.15 TG4 available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [4] IEEE, McDermott-Wells, P., What is Bluetooth?, 2005
- [5] IEEE, Specification of the Bluetooth System, available at http://grouper.ieee.org/groups/802/15/Bluetooth/core_10_b.pdf
- [6] Bluetooth, Specification: Adopted Documents, available at <https://www.bluetooth.org/Technical/Specifications/adopted.htm>
- [7] Varun Krish, Nokia introduces Wibree, 2006, <http://www.fonearena.com/blog/402/nokia-introduces-wibree.html>
- [8] Hao Wang, Jing Liu, Mobile Phone Based Health Care Technology, available at <http://www.benthamsience.com/biomeng/samples/biomeng2-1/0002BIOMENG.pdf>
- [9] IEEE, 802.11 Group, available at <http://www.ieee802.org/11/>
- [10] Wi-Next, La lunga vita dell'802.11 detto anche Wi-Fi, available at <http://www.winext.eu/2011/07/la-lunga-vita-dell802-11-detto-anche-wi-fi/>
- [11] IEEE, 802.11 Task Group ac, available at http://www.ieee802.org/11/Reports/tgac_update.htm
- [12] IEEE, available at <http://standards.ieee.org/news/2011/802.22.html>
- [13] Matthew Humphries, ROHM develops wireless chip capable of 20 Gbps, 22 Nov 2011, available at <http://www.geek.com/articles/mobile/rohm-develops-wireless-chip-capable-of-30-gbps-20111122/>
- [14] Iburst System Overview, 2004, available at <http://www.gtconnection.co.za/dwnlds/iBurst%20Overview.pdf>
- [15] Soo Young Yoon, Introduction to WiBro Technology, 2004, available at http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/Meetings/Busan/Session3_Yoon.pdf

- [16]Telecomitalia, available at http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Innovazione/NotiziarioTecnico/2008/fd_numero01/p_94_99.pdf
- [17]WiMAX Forum, available at <http://www.wimaxforum.org/>
- [18] Alessandra Talarico, WiMAX: via alla fase 2,Key4biz, available at http://www.key4biz.it/News/2011/04/04/Tecnologie/WiMax_80216m_Roger_Marks_IEEE_LTE_Advanced.html
- [19] 4G LTE Advanced Tutorial, Radio-Eletronics, available at <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3gpp-4g-imt-lte-advanced-tutorial.php>
- [20] Najah Abu Ali, Abd-Elhamid M. Taha, Hossam S. Hassanein, LTE, LTE-Advanced and WiMAX, 2012
- [21]Ericsson, LTE Advanced: mobile broadband up to 10 times faster, available at <http://www.ericsson.com/news/1526485>
- [22] Federico Bitti, Ericsson, Lte e networked society, la rete del futuro vista da stoccolma, Repubblica, 22 Sept 2011
- [23] Zhili Sun, Satellite Networking Principles and Protocols, August 2005
- [24]Ahmed El-Rabbany, Introduction to GPS: the Global Positioning System, Jan 2002
- [25] G. Napoli, Comunicazione Context-Aware per Gruppi in Scenari Wireless Ad-Hoc, 2004
- [26] Claudio Enrico Palazzi, “Buddy-Finder: a Proposal for a Novel Entertainment Application for GSM”, in Proc. of the 1st IEEE International Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (NIME'04), GLOBECOM 2004, Dallas, TX, USA, Nov 2004.
- [27]IEEE, Armir Bujari, Nicola Miotto, Nudge Nudge: A proximity based social application
- [28] Swarmbit, available at <http://www.swarmbit.com/support.html>
- [29]Facebook Places, available at <http://www.facebook.com/about/location>
- [30]Google Latitude, available at <http://www.google.com/mobile/latitude/>
- [31] Foursquare, available at <http://www.foursquare-italia.it/guida-foursquare-i-primi-passi-per-iniziare/>
- [32]IBM, L’approccio IBM per una casa più intelligente con la tecnologia cloud, 2010

[33]Wireless4innovation, Politecnico di Milano: Mobile Payment, scenario effervescente in Italia e nel mondo, Feb 2012

[34]IctBusiness, Indagine Tns e Vri al Prepaid Summit: Europe 2011, Milano

[35]Denso-Wave, About QR Code

[36]Radio-electronics, Near Field Communications, NFC Overview

[37]U.S. Department of Transportation, Intelligent Transportation Systems

[38]VICS, How VICS Works

[39]ZigBee Alliance, ZigBee Overview