



**CNIPA**  
Centro Nazionale per l'Informatica  
nella Pubblica Amministrazione

**36**

marzo 2008

# i Quaderni

Linee guida per l'introduzione  
delle tecnologie wireless  
nella Pubblica Amministrazione



i Quaderni n. 36 marzo 2008  
Supplemento al n. 1/2008  
di Innovazione

Registrato al Tribunale di Roma  
n. 523/2003  
dal 15 dicembre 2003

Direttore responsabile  
Franco Tallarita

Redazione  
Centro Nazionale  
per l'Informatica nella  
Pubblica Amministrazione  
Via Isorzo, 21b  
00198 Roma  
Tel. (39) 06 85264.1  
pubblicazioni@cniipa.it

I Quaderni del Cniipa  
sono pubblicati all'indirizzo:  
www.cniipa.gov.it

# i Quaderni

## sommario

### 5 PREMESSA

### 9 1. INTRODUZIONE

1.1. OBIETTIVI DEL DOCUMENTO	9
1.2. CONTENUTI DEL DOCUMENTO	10
1.3. DESTINATARI DEL DOCUMENTO	11

### 13 2. LE TECNOLOGIE WIRELESS

2.1. IL WIRELESS DALLE RETI GEOGRAFICHE ALL'INTERFACCIA CON L'INDIVIDUO	15
2.1.1. RETI DI AREA GEOGRAFICA	17
2.1.2. RETI DI AREA METROPOLITANA	18
2.1.3. RETI DI AREA LOCALE	18
2.1.4. RETI DI AREA PERSONALE	20
2.1.5. RETI DI AREA FISICA	21
2.2. TECNOLOGIE WIRELESS DI COMUNICAZIONE	21
2.2.1. IL SISTEMA WI-MAX	22
2.2.2. IL SISTEMA WI-FI	29
2.2.3. GLI STANDARD WIRELESS IN AMBITO ETSI	34
2.2.4. L'EVOLUZIONE DEL SISTEMA UMTS	38
2.2.5. BLUETOOTH	44
2.2.6. IL SISTEMA DECT	46
2.3. TECNOLOGIE WIRELESS DI SORVEGLIANZA E CONTROLLO	47
2.3.1. LE RETI DI SENSORI	48
2.3.2. APPLICAZIONI E STATO DELL'ARTE DELLE WSN	49
2.3.3. LO STANDARD ZIGBEE	51
2.3.4. SISTEMI RFID	54

### 57 3. ARCHITETTURE DI RETE: STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE

3.1. TOPOLOGIE DI RETE	57
3.2. ARCHITETTURE WIRELESS	58
3.2.1. ARCHITETTURE A SINGOLO SALTO	59
3.2.2. ARCHITETTURE A SALTI MULTIPLI	60
3.2.3. ARCHITETTURE "AD HOC"	64

3.3. CONVERGENZA DELLE TECNOLOGIE DI ACCESSO	70
3.3.1. STRUTTURA A STRATI DELLE ARCHITETTURE E MECCANISMI DI HANDOVER	71
3.3.2. ARCHITETTURE DI RETE IBRIDE	73
3.3.3. "VOICE OVER Wi-Fi" E FUNZIONALITÀ DI HANDOVER ORIZZONTALE	75
3.4. EVOLUZIONE DELLE RETI VERSO DOLUZIONI VONVERGENTI FISSO-MOBILE	79
3.4.1. IL CONCETTO DI RETE NGN	79
3.4.2. L'EVOLUZIONE VERSO SCENARI DI CONVERGENZA	81
3.4.3. INTEROPERABILITÀ TRA SISTEMI ETEROGENEI	87

## 91

### 4. TECNOLOGIE WIRELESS E STRUTTURE ORGANIZZATIVE

4.1. IL WIRELESS NEI PROCESSI AZIENDALI	91
4.1.1. PARAMETRI DI MISURA DEI BENEFICI	93
4.1.2. VANTAGGI DELLE COMUNICAZIONI WIRELESS	94
4.1.3. AMBITI ORGANIZZATIVI E APPLICAZIONI WIRELESS	96
4.2. ELEMENTI FONDAMENTALI PER LA REALIZZAZIONE IN WIRELESS DI UN SERVIZIO	99
4.3. SERVIZI E TECNOLOGIE NELL'AMBITO DEL SISTEMA PUBBLICO DI CONNETTIVITÀ	103
4.3.1. SERVIZI	104
4.3.2. TECNOLOGIE	105

## 121

### 5. PIANIFICAZIONE DELLE RETI WIRELESS PER CONNESSIONI INDOOR

5.1. PROCESSO DI PIANIFICAZIONE	121
5.2. DEFINIZIONE DEI REQUISITI	122
5.3. ANALISI DELL'AMBIENTE OPERATIVO	124
5.4. PIANIFICAZIONE DELLA COPERTURA	125
5.4.1. BILANCIO DI RADIOCOLLEGAMENTO	125
5.4.2. PROPAGAZIONE DEL SEGNALE	127
5.4.3. ANALISI DELL'INTERFERENZA	128
5.4.4. STIMA DELLA CAPACITÀ DI UNA RETE WLAN	132
5.4.5. VERIFICA DELLA COPERTURA	135
5.5. COPERTURE RADIO PARTICOLARI	136
5.5.1. DUAL MODE WLAN	136
5.5.2. WLAN A INGRESSI E USCITE MULTIPLE (MIMO)	137
5.5.3. RETI AD ALTA CAPACITÀ	140
5.5.4. COPERTURA PER SUPPORTO VOIP	141
5.5.5. IMPLICAZIONI DEI SERVIZI VOCE SULLE CARATTERISTICHE DELLE TRASMISSIONI RF	142
5.6. PIANIFICAZIONE DELLA RETE	144
5.6.1. ARCHITETTURE DI BASE	144
5.6.2. ARCHITETTURE DI RETI WIRELESS PER CONNESSIONE A RETI CABLATE	147
5.6.3. CENNI SULLA SICUREZZA NELLE RETI WLAN	151
5.6.4. GESTIONE DELLA RETE	153

## 155

### 6. PIANIFICAZIONE DELLE RETI WIRELESS PER CONNESSIONI OUTDOOR

---

6.1. RETI OUTDOOR A LARGA BANDA	156
6.1.1. "DIGITAL DIVIDE" INFRASTRUTTURALE	156
6.1.2. CONFIGURAZIONE TIPICA DI RETI DI COMUNICAZIONE IN AREA RURALE	159
6.2. PROGETTO DELL'INFRASTRUTTURA WIRELESS	160
6.2.1. ASPETTI DI PROGETTAZIONE DELLA RETE RADIO	160
6.2.2. APPROFONDIMENTI RELATIVI ALLA PIANIFICAZIONE RADIO	162
6.3. SCENARIO GENERALE DI RETE	171
6.3.1. UN ESEMPIO DI ARCHITETTURA DETTAGLIATA	171
6.3.2. SICUREZZA DELLA RETE	173
6.4. CARATTERISTICHE DEI SERVIZI	175
6.4.1. SERVIZI MULTIMEDIALI DI BASE	175
6.5. SERVIZI DI CONNETTIVITÀ E DI RETE	177
6.5.1. SERVIZIO DI CONNETTIVITÀ IP	178
6.5.2. SERVIZIO DI GESTIONE DEGLI INDIRIZZI IP	178
6.5.3. DNS (DOMAIN NAME SERVICE)	178
6.6. SERVIZI DI SUPPORTO E DI ASSISTENZA	179
6.6.1. SERVIZIO DI HELP DESK	179
6.6.2. SERVIZIO DI PROVISIONING, CONFIGURATION E CHANGE MANAGEMENT	179
6.6.3. SERVIZIO DI MANUTENZIONE E RIPARAZIONE	179

## 181

### 7. ASPETTI NORMATIVI

---

7.1. GENERALITÀ	181
7.2. LE BANDE ISM	182
7.3. NORMATIVA INTERNAZIONALE DI RIFERIMENTO	183
7.4. LA NORMATIVA ITALIANA SULLE WLAN	184
7.5. LA NORMATIVA PER IL WI-MAX E IL PROBLEMA DELLE FREQUENZE	187

## 189

### 8. CONCLUSIONI

---

## 193

### 9. APPENDICI

---

APPENDICE A - GLOSSARIO	195
APPENDICE B - TECNICHE DI TRASMISSIONE NEL CANALE WIRELESS	203
B.1. GENERALITÀ SUL CANALE WIRELESS	203
B.2. TECNICHE ADATTATIVE DI MODULAZIONE E CODIFICA	203

B.3.	TECNICHE DI DIVERSITÀ	204
B.3.1.	VARIANTI REALIZZATIVE DELLE TECNICHE DI DIVERSITÀ	205
B.3.2.	METODI PER LA COMBINAZIONE DEL SEGNALE	209
B.4.	I SISTEMI AD INGRESSI E USCITE MULTIPLE	210
B.4.1.	ELABORAZIONE DI SCHIERA IN RICEZIONE	212
B.4.2.	TECNICHE DI DIVERSITÀ IN EMISSIONE	213
B.4.3.	CODIFICA DI ALAMOUTI	214
B.5.	TECNICA OFDM	215
B.5.1.	MULTIPLAZIONE A MINIMA OCCUPAZIONE SPETTRALE	216
B.5.2.	ASPETTI REALIZZATIVI	219
APPENDICE C - TECNICHE DI ACCESSO AL CANALE WIRELESS		221
C.1.	GENERALITÀ SULL'ACCESSO AL CANALE WIRELESS	221
C.2.	CONTROLLO DISTRIBUITO DELL'ACCESSO MULTIPLO NELLE RETI WIRELESS	223
C.2.1.	CARATTERISTICHE DEL PROTOCOLLO CSMA/CA	224
C.2.2.	IMPLEMENTAZIONE DEL PROTOCOLLO CSMA/CA NELLO STANDARD IEEE 802.11	226
C.2.3.	COORDINAMENTO CENTRALIZZATO NELLE RETI IEEE 802.11	228
C.2.4.	ARCHITETTURA MAC PER IL SUPPORTO DELLA QUALITÀ DI SERVIZIO	230
C.3.	CONTROLLO CENTRALIZZATO DELL'ACCESSO MULTIPLO NELLE RETI WIRELESS	231
C.4.	ESTENSIONI DEL MAC PER IL SUPPORTO DELLA MOBILITÀ	236
APPENDICE D - ESTRATTI DALLE TABELLE DEL PNRF		239
APPENDICE E - CONSULTAZIONI SULLE TECNOLOGIE WIRELESS		243
E.1.	ACCENTURE	243
E.2.	ALCATEL	244
E.3.	AVAYA	245
E.4.	BULL	246
E.5.	CISCO	246
E.6.	ERICSSON	248
E.7.	FASTWEB	249
E.8.	LINKEM MEGABEAM	250
E.9.	NORTEL	251
E.10.	ORACLE	252
E.11.	RAYTALK	254
E.12.	SELEX COMMUNICATION	255
E.13.	TELECOM ITALIA	256
E.14.	VODAFONE	260

## Presentazione

Il documento “Linee guida per l’introduzione delle tecnologie wireless nella Pubblica Amministrazione” è il frutto di una attività congiunta fra il Cnipa ed i rappresentanti della ricerca e del mondo delle telecomunicazioni al fine di riunire in un volume unico sia le conoscenze di carattere tecnico che le esperienze delle aziende sul campo delle tecnologie wireless.

Il Cnipa intende fornire, con questo elaborato, un ampio quadro di insieme sul mondo del wireless a supporto della Pubblica Amministrazione.

I temi trattati sono stati di prevalente carattere tecnologico: ci sono ampi spazi dedicati alle tecnologie wireless a partire da quelle di *body area* fino alle *Wide Area Network*; ma ci sono, altresì, spazi di approfondimento su argomenti non tecnologici quali, ad esempio, gli impatti di carattere organizzativo che l’adozione del wireless comporta.

Nelle approfondite appendici, inoltre, vengono analizzati i temi di carattere ingegneristico attinenti alla progettazione ed alla realizzazione delle coperture wireless e qui, come nel corpo del quaderno, anche gli aspetti normativi trovano una ampia trattazione.

Al momento di dare alle stampe il volume, l’asta per le concessioni delle frequenze Wi-Max sul territorio nazionale non era stata ancora portata a termine pertanto la trattazione dell’argomento non contiene dettagli in merito. È comune auspicio che questo sia l’inizio di un percorso di diffusione della banda larga su tutto il territorio nazionale.



## Gruppo di lavoro

Il presente documento è stato elaborato dal Gruppo di Lavoro (GdL) sul “Wireless nella Pubblica Amministrazione”, costituito dal CNIPA (*Centro Nazionale per l’Informatica nella Pubblica Amministrazione*) e di cui hanno fatto parte esponenti del mondo dell’Università e della Ricerca. Il GdL, promosso da Emilio Frezza (CNIPA) cui vanno i sinceri ringraziamenti degli autori, è composto da:

Mario Terranova	CNIPA (Coordinatore del GdL)
Ubaldo Bussotti	CNIPA
Antonio Giovanni Colella	CNIPA
Carlo Maria Medaglia	CNIPA
Gennaro Ragucci	CNIPA
Adriano Rossi	CNIPA
Francesco Vatalaro	Università di Roma “Tor Vergata”
Annalisa Durantini	Consorzio RadioLabs
Romeo Giuliano	Consorzio RadioLabs
Marco Leo	Consorzio RadioLabs
Pierpaolo Loreti	Università di Roma “Tor Vergata”
Franco Mazzenga	Università di Roma “Tor Vergata”
Cristiano Monti	Università di Roma “Tor Vergata”

Inoltre ai lavori hanno contribuito rappresentanti di aziende manifatturiere e dei servizi che si ringraziano per l’importante contributo fornito mediante utili scambi di opinioni e i documenti resi disponibili:

- ACCENTURE
- ALCATEL
- AVAYA
- BULL
- CISCO
- ERICSSON
- FASTWEB
- LINKEM MEGABEAM

- NORTEL
- ORACLE
- RAYTALK
- SELEX COMMUNICATION
- TELECOM ITALIA
- VODAFONE

Si ringraziano, infine, Marta Muccio e Sara Pescetelli dell'Università di Roma Tor Vergata per il prezioso supporto fornito in fase editoriale.

# 1. Introduzione

## 1.1 OBIETTIVI DEL DOCUMENTO

Negli ultimi dieci anni le tecnologie senza filo (*wireless*) hanno sperimentato una crescita sostenuta sia nel settore delle comunicazioni mobili cellulari che in quello delle applicazioni di accesso alle reti fisse. Il notevole successo di entrambi questi settori applicativi del wireless ha contribuito in modo significativo ad assicurare livelli nel complesso sostanzialmente stabili al comparto ICT (*Information and Communication Technologies*), nonostante le difficoltà che hanno investito i mercati delle nuove tecnologie a livello mondiale a partire dall'anno 2000.

In Italia, anche al fine di combattere tradizionali ritardi e squilibri economici e sociali, da tempo si è individuato nell'ammmodernamento della Pubblica Amministrazione (PA) attraverso i moderni strumenti ICT un elemento di traino utile anche allo sviluppo. In questo quadro si colloca l'iniziativa del CNIPA di un Sistema Pubblico di Connettività (SPC)<sup>1</sup> che è destinato a sostituire la RUPA (*rete unitaria della pubblica amministrazione*) espandendone le funzionalità attraverso un uso estensivo della larga banda a livello sia della PA centrale che di quella locale.

È emersa, quindi, in CNIPA negli ultimi anni l'esigenza di approfondire alcune delle tematiche relative alle tecnologie wireless. Con finalità in parte comuni al presente lavoro, il Quaderno CNIPA n. 14 del marzo 2005<sup>2</sup> ha raccolto alcuni dei concetti basilari con riferimento alla promozione delle infrastrutture a larga banda, sia wireless che cablate, nelle aree rurali del Paese. A quella iniziativa, nel corso del 2005-2006, si sono aggiunti alcuni seminari CNIPA sulle tecnologie wireless.<sup>3</sup> A seguito dell'introduzione del SPC, che già prevede di mettere a disposizione della PA un ristretto numero di accessi wire-

<sup>1</sup> Il Sistema pubblico di connettività è descritto in modo sintetico nel documento: "Sistema Pubblico di Connettività - Scenario introduttivo", vedasi: <http://www.cnipa.gov.it/site/files/4.SPC,Scenario%20introduttivo.QS,3.2.pdf>

<sup>2</sup> Il Quaderno CNIPA "Vademecum sull'impiego delle nuove tecnologie a banda larga nelle aree periferiche" (2005) è disponibile al sito: [http://www.cnipa.gov.it/site/it-IT/La\\_Documentazione/Pubblicazioni/Quaderni/](http://www.cnipa.gov.it/site/it-IT/La_Documentazione/Pubblicazioni/Quaderni/)

<sup>3</sup> Vedasi: [http://www2.cnipa.gov.it/site/it-IT/Attivit%c3%a0/Formazione/Calendario\\_attivit%c3%a0\\_didattiche/Seminari/ListaSeminari.html?Categoria=Tecnologie%20wireless](http://www2.cnipa.gov.it/site/it-IT/Attivit%c3%a0/Formazione/Calendario_attivit%c3%a0_didattiche/Seminari/ListaSeminari.html?Categoria=Tecnologie%20wireless).

less, nella consapevolezza che gli strumenti e le soluzioni wireless nella PA non sono ancora sufficientemente conosciuti e impiegati nonostante le grandi potenzialità che essi manifestano, CNIPA ha deciso di destinare alcune risorse, anche con il supporto dell'Università di Roma "Tor Vergata" e del Consorzio Università Industria – Laboratori di Radiocomunicazioni (RadioLabs), per contribuire a colmare questo "gap" conoscitivo.

Il presente documento, oltre a riprendere e approfondire i temi relativi a tecnologie e reti di comunicazione wireless a larga banda, si sofferma anche sulle tecnologie di sorveglianza e controllo basate su sensori di cui si prevede nel breve-medio termine una forte penetrazione in moltissimi ambienti operativi e ambiti applicativi, specialmente nell'automazione di numerosi sistemi e processi.

Un ulteriore obiettivo del presente documento consiste nel rendere disponibile una serie di linee guida quanto più possibile organiche e di indicazioni di pratiche progettuali corrette (le cosiddette "best practices") che possano rivelarsi utili ai responsabili della PA per definire disciplinari di gara e capitolati sufficientemente chiari e completi negli interventi di ammodernamento tecnologico che richiedano l'impiego di componenti wireless.

## 1.2. CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Il documento nel Capitolo 2 presenta una panoramica delle tecnologie wireless disponibili e delle relative caratteristiche di massima e prestazioni ottenibili. Le tecnologie wireless odierne sono prevalentemente tra loro eterogenee, in relazione sia alle caratteristiche tecniche e alle potenziali prestazioni, che agli obiettivi applicativi e di servizio. Si è dunque ritenuto utile raccogliere in modo organico le principali soluzioni tecnologiche, già sul mercato o imminenti, mettendone in risalto, per quanto possibile, sia gli ambiti applicativi che i vantaggi e le limitazioni.

Il Capitolo 3, poi, discute alcuni aspetti fondamentali nella definizione e progettazione delle reti wireless, per comprenderne le peculiarità rispetto alle tradizionali reti cablate; ciò rappresenta una premessa utile per introdurre alcuni nuovi concetti di interoperabilità che caratterizzeranno reti e servizi del prossimo futuro, secondo un percorso già ampiamente delineato di convergenza sia nelle reti, fisse e mobili, che nei servizi, tradizionali e multimediali.

Segue, nel Capitolo 4, un'ampia descrizione degli ambiti applicativi più attuali e promettenti, con lo scopo di mettere in luce le potenzialità offerte dalle tecnologie wireless in numerosi settori privati e pubblici, soffermando l'attenzione in modo particolare sulle soluzioni che possono sia aumentare la produttività della PA sia assistere il cittadino e le imprese nelle rispettive necessità di connettività e sia, infine, migliorare la fruibilità dei servizi erogati dalla PA.

Con particolare riferimento alle reti wireless per comunicazioni a larga banda, destinate sia all'uso esterno che all'uso interno agli edifici, si è ritenuto inoltre opportuno approfondire alcuni aspetti progettuali e gestionali per fornire uno strumento operativo che permetta di orientarsi nella progettazione, nella realizzazione e nel management di sistemi che possano includere componenti wireless. Di questo si occupano, nell'ordine, il Capitolo 5 dedicato alle installazioni indoor, oggi prevalentemente basate sul Wi-Fi, e il Capitolo 6, riferito alle reti outdoor per trasporto e distribuzione a larga banda specialmente in aree rurali, già da tempo realizzabili con HiperLAN e, nell'imminente futuro, con Wi-MAX.

Infine, nel Capitolo 7, si esamina il quadro regolamentare, per quanto all'atto della stesura di questo documento non tutti gli ambiti normativi di pertinenza si possano ancora ritenere stabilizzati: infatti, anche in conseguenza del rapido progresso tecnologico, le innovazioni normative che hanno impatto sul settore wireless sono frequenti e qualche volta anche radicali. Il Quaderno quindi si conclude con una panoramica sugli aspetti più rilevanti in questo settore, con particolare riguardo alle norme europee e italiane che hanno rilievo specialmente nell'allestimento e nella conduzione delle reti wireless per connettività a larga banda.

Il documento è corredato da alcune Appendici. Il glossario in Appendice A raccoglie le sigle e abbreviazioni che compaiono nel documento. Le successive Appendici sono state redatte allo scopo di allargare il panorama delle conoscenze su alcuni temi importanti, sebbene collaterali, a complemento ed estensione delle considerazioni riportate nel corpo principale del documento: l'Appendice B si occupa degli aspetti più rilevanti delle architetture di strato fisico delle reti wireless, ossia relativi alle tecnologie di trasmissione più frequentemente impiegate; l'Appendice C tratta le architetture a livello di collegamento, tra cui particolarmente importanti sono le tecnologie di accesso al mezzo e i metodi di gestione della risorsa radio. Infine, l'Appendice D riporta lo stato dell'allocazione delle frequenze per i servizi wireless in Italia con particolare attenzione a quelli di nuova introduzione. Il Quaderno è concluso da un'ampia bibliografia che può rivelarsi preziosa per approfondimenti tecnico-scientifici su temi specifici (i cui elementi sono richiamati nel testo con la notazione [xx]).

### 1.3. DESTINATARI DEL DOCUMENTO

Sono molteplici le attese che negli ultimi anni vengono riposte, in modo crescente, sulle nuove tecnologie wireless. Infatti, se il cittadino le considera uno strumento ormai indispensabile per accrescere la propria libertà di spostamento, le aziende sono interessate specialmente alle ottimizzazioni dei processi produttivi e organizzativi che hanno riflesso su riduzione dei costi e aumento di competitività sui mercati. Soluzioni wireless sono

quindi già molto diffuse in numerosi contesti, ad esempio per offrire connettività a banda larga, a basso costo e presto. Con l'avvento di nuovi sistemi ICT sempre più "embedded" negli oggetti di uso comune si potrà essere "always on" e realizzare forme avanzate di automazione dei processi.

Se il wireless già inizia ad essere apprezzato in modo significativo nella società, se ne rileva tuttavia un certo ritardo di penetrazione nella PA ove i servizi e le applicazioni che impiegano le infrastrutture wireless sono ancora poco diffusi. Nel contesto pubblico è pertanto ragionevole attendersi nei prossimi anni il manifestarsi di una notevole crescita, a condizione che a tutti i livelli decisionali siano ben compresi i benefici effettivamente ottenibili, con chiara consapevolezza delle potenzialità ma anche dei limiti tecnologici, senza incorrere in pericolose sopravvalutazioni.

Per quanto detto, nel redigere il Quaderno si è assunto che i destinatari possano avvicinarsi al documento da punti di vista diversi, con varie esigenze e con differente grado di preparazione specifica. Il Capitolo 2, di carattere introduttivo sulle tecnologie wireless, è di valenza generale e mira a fornire alla più ampia platea di lettori una fonte sufficientemente organica per conseguire un livello di conoscenza di base comune, con riferimento alle tecnologie oggi ritenute più rilevanti o promettenti. Il Capitolo 3 svolge un'analoga funzione sul versante delle applicazioni e dei servizi, con l'obiettivo, esemplificativo e non esaustivo, di indicare al lettore le classi di applicazioni e servizi che stanno oggi affermandosi.

I funzionari che ricoprono un ruolo che richiede supporto alle decisioni possono trovare nei Capitoli successivi le sezioni specifiche del Quaderno relative alle alternative architetture e tecnologiche nonché ai benefici ed agli aspetti tecnici che richiedono attenzione per promuovere e attuare un uso corretto delle nuove tecnologie wireless. A beneficio dei tecnici, poi, nell'arco di tutto il Quaderno, e in particolare nei Capitoli 5 e 6, vengono anche forniti elementi sulle architetture, sulle tecnologie e sugli standard, che in certi casi si spingono fino al dettaglio delle "best practices" progettuali e realizzative per sviluppare reti e piattaforme di comunicazione evolute e adatte ad una integrazione con le reti cablate eventualmente esistenti.

## 2. Le tecnologie wireless

Se agli albori della Radio le tecnologie wireless furono concepite per inviare segnali in forma elettrica sempre più lontano (paradigmatici sono, a questo riguardo, gli esperimenti di Guglielmo Marconi culminati con l'attraversamento dell'Oceano Atlantico nel 1901), nell'ultimo decennio si è sempre più affermata la consapevolezza che la missione principale del wireless, all'opposto, si debba svolgere in prossimità dell'individuo per consentire la comunicazione con gli altri e con l'ambiente in piena libertà di movimento. È quindi iniziata una rapida "marcia di avvicinamento" all'individuo delle tecnologie e delle reti wireless, che in passato erano destinate unicamente alle applicazioni geografiche, ossia su grandi estensioni territoriali e tipicamente lontano dall'utente finale.

Per sottolineare questa interazione tra l'individuo e le reti wireless si può introdurre il concetto di spazio individuale, rappresentato per mezzo della *Figura 2.1* che illustra una classificazione che sarà meglio dettagliata nel seguito. Distinguiamo a questo proposito tra:

- rete d'area geografica o WAN (*wide area network*) che realizza il trasporto delle informazioni su larga scala (prevalentemente con reti cablate e in misura limitata attraverso reti wireless);
- rete d'area metropolitana o MAN (*metropolitan area network*) che consente l'accesso ai servizi e la mobilità dell'utente nell'area urbana;
- rete d'area locale o LAN (*local area network*) che consente l'accesso alle reti di telecomunicazioni (*in primis* ad Internet) disponibili localmente;
- rete d'area personale o PAN (*personal area network*) per la connessione dell'individuo con le periferiche locali e tra gli stessi dispositivi;
- rete d'area fisica o BAN (*body area network*) per la gestione dei sensori e delle interfacce nell'intorno del corpo umano e a suo diretto contatto.

Iniziamo quindi con un inquadramento generale delle tecnologie e dei sistemi wireless nell'ambito degli scenari operativi, attuali e futuri, fornendo anche una rapida panoramica su alcuni degli standard tecnologici che stanno prevalendo per le varie applicazioni.

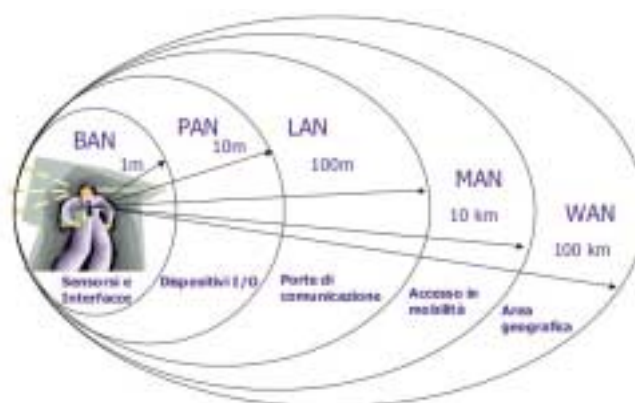


Figura 2.1 - Concetto di spazio individuale.

Con riferimento agli ambiti applicativi, è possibile operare una classificazione delle reti wireless, distinguendo tra un loro impiego nell'ambito delle reti di comunicazione da quello nelle reti di sorveglianza e controllo.

- Il wireless nelle reti di comunicazione:  
Nelle reti di comunicazione le tecnologie wireless trovano il proprio ambito applicativo naturale nel fornire la struttura di base per assicurare la connettività. Si realizzano in tal caso comunicazioni persona-persona (P2P), persona-macchina (P2M) e macchina-macchina (M2M). Il wireless gode della caratteristica qualificante della flessibilità di impiego che ne consente l'uso sia nelle reti di trasporto che nelle reti di accesso, con crescente impiego in quest'ultimo ambito anche, e non solo, perché si presta come l'unica soluzione per consentire la mobilità sia su piccola scala che su grandi aree. Inoltre, si ha il vantaggio della rapida riconfigurazione delle connessioni e delle reti e quello della scalabilità delle reti e del traffico.
- Il wireless nelle reti di sorveglianza e controllo:  
Si tratta di una classe di applicazioni che non ha ancora trovato largo impiego ma che si prevede in futuro possa diffondersi per una serie di applicazioni di notevole interesse nell'ambito dell'automazione delle attività umane, del controllo a distanza dei processi e dei sistemi e, infine, della supervisione dell'ambiente. Queste applicazioni sono largamente basate sulla connessione in rete tra sensori e sul collegamento tra questi e centri di controllo dedicati allo svolgimento delle specifiche funzioni. Sulla base della progressiva miniaturizzazione dei dispositivi, si prevede l'avvento delle cosiddette tecnologie pervasive, di cui le comunicazioni wireless per sorveglianza e controllo rappresentano un componente essenziale.

## 2.1 IL WIRELESS DALLE RETI GEOGRAFICHE ALL'INTERFACCIA CON L'INDIVIDUO

Le tecnologie wireless vengono di consueto organizzate in categorie che raggruppano sistemi, anche molto diversi tra loro e spesso incompatibili, sulla base degli ambiti operativi che essi si ripromettono di soddisfare in termini di tipologie di servizio, grado di mobilità, aree di copertura, velocità di trasmissione, e così via.

La classificazione più impiegata è basata sulla distanza tra il terminale d'utente e il punto di accesso (*access point*) al servizio: la *Tabella 2.1* mostra un'organizzazione concettuale utile per schematizzare le tecnologie e reti wireless.

Classe di reti wireless	WAN	MAN	LAN	PAN	BAN
Applicazione	Reti cellulari	Reti di trasporto e backbone per le reti cellulari	Reti interne agli edifici	Rimpiazzo dei cavetti e piccole reti	Reti di dispositivi d'utente
Distanza/ Copertura	Anche centinaia di km	Fino a qualche decina di km	Fino al centinaio di metri	Fino ad alcuni metri	Centimetri o meno
Larghezza di banda	Dai kbit/s ai Mbit/s	Dai Mbit/s alle decine di Mbit/s	Decine di Mbit/s	Dalle centinaia di kbit/s ai Mbit/s	Presumibile fino a qualche Mbit/s
Esempi di sistemi standardizzati	GSM	Wi-MAX	Wi-Fi	Bluetooth	Ancora non disponibili

*Tabella 2.1 - Organizzazione concettuale delle reti wireless.*

Sempre al fine di fornire una visione di sintesi, spesso si rappresentano i sistemi su un piano “distanza – banda”, come quello riportato in *Figura 2.2*, che dà un'idea delle prestazioni di massima ottenibili dalle varie classi di tecnologie. La figura si riferisce ad alcuni degli standard wireless più noti che saranno tra quelli oggetto di attenzione nel seguito del documento.

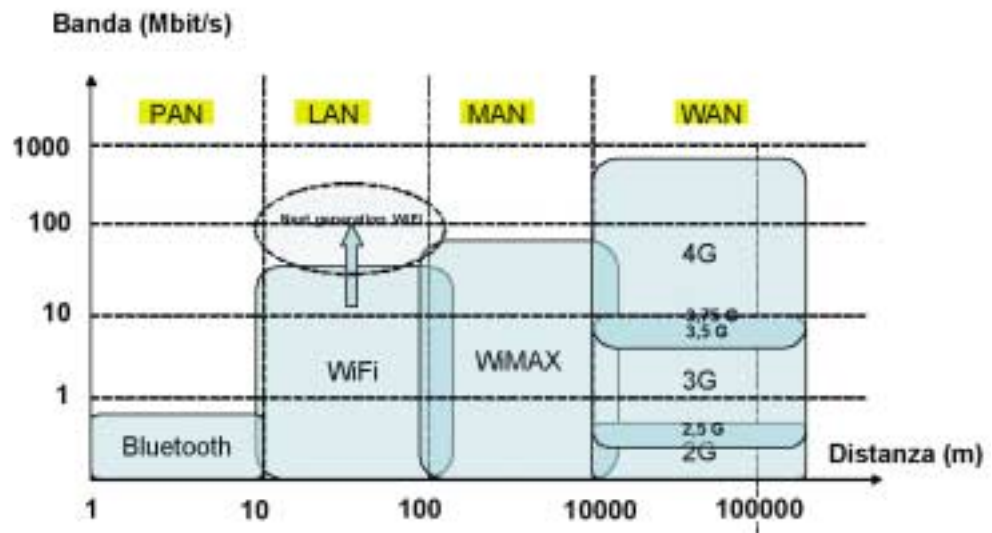


Figura 2.2 - Prestazioni di massima delle tecnologie wireless.

Come mostrato in *Tabella 2.1* ed in *Figura 2.2*, i dispositivi wireless risultano caratterizzati da valori estremamente eterogenei della velocità di trasmissione dei dati. Con riferimento a tale aspetto, è possibile distinguere rispettivamente tra dispositivi a ritmo binario basso, medio, alto e, infine molto alto.

Le applicazioni per il controllo remoto, per la localizzazione e per l'identificazione normalmente non richiedono valori elevati di velocità di trasmissione. Per tale motivo le tecnologie che si prestano bene a queste classi di servizio sono quelle a ritmo binario basso o LDR (*low data rate*), ossia velocità fino a qualche centinaio di kbit/s. Considerata la tipologia delle applicazioni in cui sono coinvolte queste tecnologie, inoltre, risulta indispensabile perseguire l'obiettivo del basso costo e quello del limitato consumo di potenza.

Applicazioni come il sopra menzionato *cable replacement* possono richiedere valori di ritmo binario ragionevolmente elevati ovvero, nell'ottica di questa classificazione, valori medi di ritmo binario o MDR (*medium data rate*), intendendo con ciò l'ordine di grandezza del megabit per secondo (Mbit/s). Si tratta tipicamente di servizi di fonia in tempo reale, quale ad esempio la connessione tra un auricolare e il telefono cellulare.

Tecnologie wireless con valori di ritmo binario anche oltre 10 Mbit/s sono tipicamente utilizzate per la sostituzione della rete locale (Ethernet) cablata in cavo coassiale o in fibra ottica. Tali tecnologie permettono la distribuzione di video ed audio (*streaming*, videoconferenza, etc.), servizi di intrattenimento, connessioni tra dispositivi multimediali differenti. Le tecnologie utilizzate in questi casi richiedono valori di ritmo binario alti e sono quindi dette HDR (*high data rate*).

Dispositivi e tecnologie in grado di supportare trasmissioni ad altissima velocità vengono, infine, indicati in questa classificazione con la sigla VHDR (*very high data rate*); essi consentono la distribuzione di video ed audio ad alta qualità con valori di ritmo binario

dell'ordine di 100 Mbit/s: un esempio è offerto, nel settore del *broadcasting*, dalla TV ad alta definizione (HDTV). Tali standard, tuttora non disponibili nelle comunicazioni wireless bidirezionali, ne rappresentano, alla data, la frontiera tecnologica.

Nella seguente *Tabella 2.2* si riassumono, a titolo di esempio, i principali standard emessi dalla IEEE secondo una classificazione per ritmo di trasmissione crescente.

Classe di ritmo binario	Standard	Massima distanza (teorica)	Massimo ritmo binario (teorico)	Frequenza di lavoro	Massima potenza (in Europa)
LDR	ZigBee (802.15.4)	30 m	250 kbit/s	• 868 MHz • 2,4 GHz	• 25 mW • 20 mW
MDR	Bluetooth (802.15.1)	10 m	1 Mbit/s	2,4 GHz	100 mW
HDR	Wi-Fi (802.11b)	100 m	11 Mbit/s	2,4 GHz	100 mW
	Wi-Fi (802.11a)	50 m	54 Mbit/s	5 GHz	• 50 mW; • 250 mW; • 1 W (dipende dai canali usati)
	Wi-Fi (802.11g)	100 m	54 Mbit/s	2,4 GHz	100 mW
	Wi-MAX (802.16/2004)	16 km	75 Mbit/s	• 3,5 GHz • 10-66 GHz	• 30 mW (terminale) • 50 W di picco (stazione)

Tabella 2.2 - Classificazione per ritmo binario dei principali standard wireless della IEEE.

In base alle distanze raggiungibili mediante il collegamento o, equivalentemente, alle aree di copertura del servizio, si distinguono alcune macro categorie di sistemi o standard. Si esaminano di seguito in maggior dettaglio le varie categorie per evidenziarne le prerogative principali.

### 2.1.1. RETI DI AREA GEOGRAFICA

Le reti di area geografica, in sigla WAN, sono una famiglia eterogenea di sistemi atti a servire utenti posti anche a grande distanza per mezzo delle relative reti di accesso e trasporto. Mentre nel tempo nelle reti di trasporto le soluzioni wireless hanno generalmente perso interesse a favore delle soluzioni cablate (prevalentemente in cavo ottico), recentemente si sono imposte le soluzioni di accesso di tipo "Wireless WAN" (WWAN) realizzate con tecniche cellulari, che hanno acquistato importanza grazie alla caratteristica di consentire agevolmente la fruizione dei servizi in mobilità.

Partendo dai sistemi cellulari digitali cosiddetti di Seconda Generazione (2G), come il GSM, con una migrazione graduale che ha attraversato i sistemi 2,5G (GSM/GPRS), si è passati con continuità ai sistemi di Terza Generazione (3G), in Europa rappresentati dall'UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). In questi anni si assiste all'avven-

to di soluzioni a larga banda attraverso il 3,5G e il 3,75G: queste soluzioni, che espandono le potenzialità dell'UMTS, sono conosciute cumulativamente come "Super UMTS". Come autorizza a supporre la gradualità dell'approccio inaugurato con il 2G/3G, la prospettiva in questo settore è di una evoluzione continua su cui si centra la cosiddetta *Long Term Evolution* (LTE) che dovrebbe condurre, intorno al 2010, all'avvento dei sistemi di Quarta Generazione (4G).

Nel prossimo futuro potranno, inoltre, affermarsi nuovi sistemi WWAN indirizzati al mercato potenziale del servizio Internet remotizzato alle popolazioni rurali che risiedono a distanza anche di centinaia di km dal punto di accesso. In questi contesti le reti di accesso sono dette anche "Wireless RAN" (*regional area networks*) e si basano su un uso dello spettro non più rigidamente regolamentato grazie all'introduzione di tecniche dette di "radio cognitiva" che evitano l'insorgere delle interferenze. Sebbene non siano ancora stati finalizzati gli standard relativi, in particolare lo standard 802.22 della IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), tali tecnologie sono oggetto di interesse specialmente in Nord America, ove sono considerate con riferimento alle bande oggi allocate in esclusiva ai servizi di diffusione televisiva.

### 2.1.2. RETI DI AREA METROPOLITANA

Le reti di area metropolitana, o MAN, sono tradizionalmente realizzate mediante anelli ottici ad altissima velocità. Grazie ai rapidi progressi delle tecnologie wireless negli ultimi anni si stanno affacciando sul mercato nuove tecnologie per la copertura a larga banda di ambienti metropolitani, le cosiddette "Wireless MAN" (WMAN). In virtù di queste innovazioni, riguardanti soprattutto le tecniche di trasmissione, modulazione e codifica, sono già disponibili tecnologie in grado di realizzare estese coperture territoriali con alte capacità di trasmissione, consentendo inoltre di portare a costi contenuti un'ampia gamma di servizi in zone che è oneroso o arduo servire via cavo. Le tecnologie in genere impiegate per la fornitura di soluzioni di questo tipo si richiamano allo standard americano IEEE 802.16, meglio noto con la denominazione commerciale Wi-MAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Le WMAN consentono già oggi la fornitura di servizi residenziali, ma gli standard stanno evolvendo per permettere tra poco l'erogazione di servizi a larga banda anche in mobilità. In alcuni scenari operativi questa prerogativa potrebbe rendere i sistemi WMAN diretti antagonisti delle tecnologie WWAN, in particolare di quelle cellulari (si osservi a questo riguardo la regione di sovrapposizione rappresentata in *Figura 2.2*). Nel segmento di mercato della fornitura di servizi mobili a larga banda la competizione è aperta in quanto anche i sistemi cellulari stanno rapidamente evolvendo nella direzione dell'accesso in mobilità con valori di velocità di trasmissione sempre più elevati, con il passaggio dall'UMTS al Super UMTS e con l'avvento, in futuro, della LTE (4G).

### 2.1.3. RETI DI AREA LOCALE

Le reti di area locale, o LAN [22], hanno nel tempo riscosso un notevole e crescente successo a partire dall'introduzione del protocollo Ethernet (alla base dello standard

IEEE 802.3). Ciò ha spinto a cercare soluzioni wireless come supporto o talvolta alternativa delle LAN cablate negli ambienti interni, dando origine alle cosiddette “Wireless LAN” (WLAN). Con distanza di collegamento (o raggio di copertura) dell'ordine delle decine di metri, le WLAN sono adatte a realizzare un prolungamento wireless di Ethernet, per impieghi in ambienti interni, SOHO (*small office / home office*), e oggi sono sempre più diffuse in tutto il mondo anche per l'accesso a larga banda in ambiti pubblici (i cosiddetti “*hot-spot*”). Le tecnologie impiegate in questo settore hanno l'obiettivo di abilitare la connettività cosiddetta nomadica per servizi tipici della rete Internet (vedi Box 1), come ad esempio la posta elettronica, la navigazione web e la trasmissione della fonia su protocollo IP nota come VoIP (*Voice over Internet Protocol*).

### BOX 1 - Qualche “semplice” definizione

Quando si parla di tecnologie wireless ci si imbatte immancabilmente in alcuni semplici concetti: fisso, ubiquo, nomadico e mobile. Sono tanto “semplici” le definizioni di questi quattro termini che ... la confusione spesso è massima, anche tra gli esperti! Cerchiamo, allora, di fare un po' d'ordine, senza sperare di mettere tutti d'accordo.

- “*Fisso*”: nelle telecomunicazioni un corrispondente, o il suo terminale, è fisso se è collocato in posizione stazionaria e nota, se non proprio all'altro corrispondente, almeno alla rete che deve realizzare la connessione. Evidentemente un servizio che viene erogato tra coppie di corrispondenti fissi viene detto servizio fisso. La più classica delle comunicazioni tra punti fissi è quella che viene instaurata tra due apparecchi telefonici tradizionali dal servizio telefonico tradizionale, POTS (*plain old telephone service*).
- “*Ubiquo*”: un servizio di telecomunicazioni è detto ubiquo se l'utente provvisto di terminale personale può essere in posizione arbitraria e non nota ma deve mantenersi stazionario nell'area di servizio, o tutt'al più muoversi a velocità pedonale. Deriva dal latino *ubique*, “che è ovunque, in ogni luogo”.
- “*Nomadico*”: un servizio è detto nomadico se è in grado di raggiungere l'utente indipendentemente dalla sua collocazione e persino dalla disponibilità di terminale personale. In altri termini il nomadismo è una funzionalità di una rete di telecomunicazioni intelligente che richiede di disporre di numerazione personale universale.
- “*Mobile*”: All'estremo opposto del servizio fisso, è pienamente mobile un servizio in grado di raggiungere l'utente indipendentemente dalla posizione e dalla velocità di movimento all'interno di un'area (o volume) prefissata e nota, detta perciò area di servizio.

Gli standard WLAN oggi disponibili sul mercato sono essenzialmente due:

- IEEE 802.11, anche noto con la denominazione commerciale Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), in grado di connettere terminali che si trovano a distanza massima tipica di circa 200 m dall'antenna dell'*access point* (AP) con velocità massima di connessione pari a 54 Mbit/s lordi;
- HiperLAN/2 dell'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) oggi utilizzato non tanto per l'accesso quanto piuttosto, in certi casi, per il trasporto dei dati su brevi collegamenti.

Per realizzare l'accesso agli hot-spot pubblici, una soluzione molto impiegata si basa sui sistemi Wireless LAN di famiglia Wi-Fi (a standard IEEE 802.11b/g). Sia in questo caso che nell'accesso wireless all'utenza residenziale, sia domestica che affari, la connessione è realizzata per mezzo di uno o più AP cui l'utente si collega in virtù di un'interfaccia wireless posta nel proprio computer. L'accesso residenziale può essere fornito con una connessione cablata ovvero, se questa non è disponibile, mediante l'utilizzo di una rete wireless per il trasporto dei dati, ad esempio con un sistema a standard ETSI HiperLAN/2 (oppure a standard IEEE 802.11a) per collegare i nodi di rete radio ai nodi raggiunti in fibra ottica.

#### 2.1.4. RETI DI AREA PERSONALE

Le reti di area personale, o PAN, talvolta anche dette "Wireless PAN" (WPAN) per enfatizzare il ruolo essenziale che in esse svolgono le tecnologie wireless, sono caratterizzate da una distanza fino a pochi metri tra il punto di accesso e l'utente. In questo ambito le tecnologie wireless abilitanti impiegano standard sovente concepiti per il semplice rimpiazzo dei cavetti (funzione di "*cable replacement*") nei dispositivi personali, dai telefoni cellulari ai PDA (*personal digital assistant*) ai personal computer.

Le tecnologie impiegate in questo segmento applicativo hanno la caratteristica dei ridotti consumi di potenza, in virtù del corto raggio di copertura e della media capacità di trasmissione (tipicamente qualche centinaio di kbit/s). Lo standard che si è affermato per implementare la funzione di rimpiazzo dei cavetti è il Bluetooth (accolto come standard IEEE 802.15.1).

Le applicazioni di rete tra molteplici dispositivi personali, pur essendo tra gli obiettivi di questi sistemi, hanno finora suscitato un interesse commerciale più limitato. In futuro le reti WPAN potranno trovare impiego nella realizzazione di piccole reti tra apparati locali (quali PDA, laptop computer, stampanti, lettori DVD, etc.), ovvero più in generale per le cosiddette applicazioni macchina-macchina, M2M (*machine-to-machine*). La piccola rete può essere utilizzata per consentire scambio di informazioni tra i dispositivi e/o per la connessione a reti di più alto livello, come per esempio ad Internet. Alcune delle tecnologie abilitanti questo tipo di servizi fanno capo alla categoria delle reti di sensori tra cui lo standard Zig Bee (anche noto come IEEE 802.15.4) e i sistemi automatici di identificazione via radio basati su tecnologie RFID (*Radio Frequency IDentification*).

### 2.1.5. RETI DI AREA FISICA

Allo stato attuale dello sviluppo delle tecnologie ICT, le reti d'area fisica, o BAN, sono ancora prevalentemente oggetto di studio, con impieghi commerciali limitati ma rapidamente crescenti, a partire da alcune applicazioni industriali speciali (ad esempio in certe fasi di test nell'industria aeronautica), con iniziale diffusione oggi anche in ambiti ospedalieri. È dunque opportuno porre attenzione anche a queste tecnologie di sicuro interesse applicativo in prospettiva.

Con l'aumentare del numero di prodotti elettronici di uso comune (telefoni portatili, palm-top computer, sistemi hi-fi personali, etc.) rivestirà interesse via via crescente il tema, noto come "*wearable computing*" o più in generale "*on-body computing*", dell'integrazione dei sistemi di calcolo, comunicazione e sensoristica negli abiti di tutti i giorni. Con l'integrazione di funzionalità elettroniche nei vestiti, si desidera ottenere una nuova generazione di sistemi distribuiti sul corpo, che interagiscono permanentemente con l'utente senza risultare invasivi, realizzando nel complesso una piattaforma informativa personalizzata e flessibile.

Le reti BAN combineranno variamente componenti cablate e senza filo e potrebbero anche non richiedere una infrastruttura locale di comunicazione, impiegando più semplicemente la conducibilità del corpo umano per le connessioni tra i dispositivi indossati. Le applicazioni che potranno sorgere consentiranno fra l'altro la gestione automatica di certe funzioni di interfaccia dell'individuo con l'ambiente, dette applicazioni persona-macchina, P2M (*person-to-machine*).

Infine un'altra categoria di reti miste wireless e cablate che si stanno già affacciando, e che meritano di essere ricordate, sono le reti veicolari o VAN (*vehicular area network*).

## 2.2. TECNOLOGIE WIRELESS DI COMUNICAZIONE

Rivestono oggi particolare interesse i sistemi BWA (*Broadband Wireless Access*), tramite i quali si intende supportare servizi quali la TV ad alta definizione (HDTV), la TV su IP (IPTV), Servizi su IP (SoIP) e l'accesso a Internet veloce, in maniera più efficace, efficiente ed economica di quanto attualmente consentito dalle tecnologie di accesso su portante fisico (xDSL, FTTH, etc.). L'impiego della soluzione wireless permette di graduare gli investimenti in relazione all'effettiva crescita dell'utenza e di sviluppare i servizi in risposta all'effettiva domanda del mercato. La realizzazione di una rete wireless, che affianchi, integri o sostituisca la rete fissa cablata appare di evidente interesse in contesti in cui il costo del cablaggio capillare renderebbe non attuabile la soluzione su portante fisico, ossia in zone rurali in cui le distanze tra gli edifici abitati sono, a volte, dell'ordine di qualche chilometro, ma anche spesso nelle aree urbane ove il gestore di telecomunicazioni incontra vincoli e difficoltà di ordine pratico talvolta insormontabili e che comunque rallentano la diffusione capillare dei servizi e inseriscono inaccettabili elementi di incertezza nei piani di business.

### 2.2.1. IL SISTEMA WI-MAX

Tra i sistemi BWA, lo standard IEEE 802.16, commercialmente noto come Wi-MAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), si sta affermando su scala mondiale, sia per le reti rurali in aree ove siano carenti le infrastrutture cablate che nelle zone urbane come soluzione per l'accesso wireless a larga banda per l'“ultimo miglio” WLL (*wireless local loop*).

I principali vantaggi che si riconoscono alla tecnologia Wi-MAX sono i ridotti costi delle infrastrutture rispetto a quelli tipici dei sistemi WLL tradizionali, la rapidità nell'allestimento della rete wireless anche su aree vaste, la flessibilità nell'erogazione del servizio per mezzo di una banda che, a seconda delle esigenze, può essere condivisa o dedicata e di larghezza variabile su domanda.

#### **2.2.1.1. Il processo di standardizzazione**

La prima versione dello standard IEEE 802.16, approvata nell'ottobre 2001 dall'apposito gruppo di lavoro della IEEE costituito nell'ambito del cosiddetto “IEEE Project 802”, [20] si riferiva a sistemi operanti nelle bande soggette a licenza da 10 GHz a 66 GHz. Negli emendamenti successivi lo standard è stato esteso alle bande di frequenza tra 2 GHz e 11 GHz.

Nel giugno 2001 è stato istituito il Wi-MAX Forum, che oggi conta quasi 450 membri tra aziende manifatturiere e dei servizi, con il mandato di promuovere e certificare la compatibilità e l'interoperabilità dei prodotti a standard IEEE 802.16, anche allo scopo di accelerarne l'introduzione nel mercato.

Sono oggi disponibili specifiche per due versioni dello standard IEEE 802.16, relative rispettivamente a servizi fissi e “nomadici”, da un lato, e a servizi mobili, dall'altro. Più precisamente, gli standard nelle due versioni previste sono i seguenti:

- IEEE 802.16-2004 (precedentemente denominato IEEE 802.16 versione “d”), che è lo standard per applicazioni residenziali (in breve detto “WiMax fisso”) [18];
- IEEE 802.16-2005 (precedentemente IEEE 802.16 versione “e”), che prevede diversi cambiamenti tecnici rispetto al precedente, oltre a consentire la mobilità (il “Wi-MAX mobile”) [19].

Il “Wi-MAX fisso” e il “Wi-MAX mobile”, tuttavia, sono nei fatti due standard diversi, tra loro non compatibili: di conseguenza una rete Wi-MAX di tipo fisso, ossia del tipo oggi commercialmente già disponibile, non potrà essere utilizzata nel prossimo futuro per il Wi-MAX mobile. Quindi, la loro incompatibilità potrebbe rappresentare un freno all'introduzione dell'uno o dell'altro standard che di certo avrebbero potuto trarre beneficio da condizioni di mercato unificate, e quindi più ampie. Ad esempio, una causa di incompatibilità discende dall'adozione nell'interfaccia radio della tecnica di modulazione multiportante OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) secondo due “varianti” differenti. Nello standard per uso fisso si adotta l'OFDM con 256 portanti, mentre nella versione mobile si usa la soluzione denomi-

nata OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) con 512 o con 1024 portanti, scalabili a seconda della banda del canale e utilizzate in maniera più flessibile per ragioni di accesso multiplo. Per un approfondimento sulle tecniche multiportante OFDM e sull'accesso multiplo OFDMA si rinvia rispettivamente all'Appendice B e all'Appendice C.

Inoltre, nel percorso di standardizzazione del Wi-MAX mobile si è inserito il sistema con caratteristiche simili definito in Corea e denominato WiBro (*Wireless Broadband*). Nel febbraio 2002 infatti il Governo coreano ha allocato la banda tra 2,3 GHz e 2,4 GHz e alla fine del 2004 l'organismo di standardizzazione, la TTA (*Telecommunications Technology Association*), ha emanato lo standard denominato "WiBro Phase 1". Il Ministero coreano dell'informazione e della comunicazione ha poi attribuito tre licenze rispettivamente a Korea Telecom, SK Telecom e Hanaro Telecom per l'offerta di servizi WiBro a partire dalla metà del 2006.

A seguito della standardizzazione del sistema WiBro, Wi-MAX Forum e TTA hanno sottoscritto un accordo, in virtù del quale WiBro è oggi considerato compatibile con lo standard IEEE 802.16-2005 di cui rappresenta il primo "profilo" implementativo.

Il WiBro opera con il valore considerevole di ritmo binario massimo pari a 50 Mbit/s, consente un raggio di cella di circa 1 km per accesso a larga banda offerto anche ad utenti in movimento a velocità massima di 60 km/h. Tuttavia in vari luoghi (tra cui l'Europa) la banda 2,3-2,4 GHz non è destinata ai servizi mobili e quindi ben difficilmente potrà essere allocata al WiBro.

### **2.2.1.2. Caratteristiche dello standard**

Lo standard IEEE 802.16-2004 definisce l'architettura di un sistema WMAN da utilizzare per la fornitura di servizi a banda larga. Tale standard prevede che la rete possa essere configurata secondo due differenti modalità:

- Modalità di tipo punto-multipunto (PMP) in cui, analogamente ai sistemi cellulari, una stazione radio base (SRB) assicura la copertura su una data area e gli utenti possono comunicare tra loro e con le reti esterne unicamente attraverso la SRB.
- Modalità di tipo magliato o Wireless Mesh (WM), che è più flessibile e consente di realizzare una rete nella quale i nodi fungono simultaneamente da ricevitori, trasmettitori e ripetitori.

Di seguito vengono riassunte le principali caratteristiche dell'architettura protocollare IEEE 802.16 relative alla sola modalità PMP.

Un sistema Wi-MAX comprende soltanto alcuni dei profili definiti dalle specifiche IEEE 802.16. Come accade ogni sistema definito nell'ambito del IEEE Project 802, le specifiche sono relative soltanto ai due livelli inferiori della pila protocollare, ossia allo strato fisico PHY (*physical layer*) e allo strato MAC (*medium access control*). L'architettura protocollare di un sistema 802.16 è schematicamente mostrata in *Figura 2.3*.

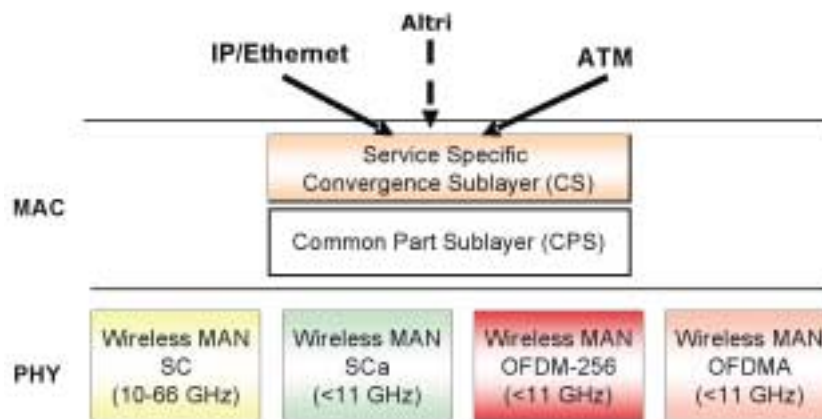


Figura 2.3 – Rappresentazione schematica dell'architettura protocollare di un sistema IEEE 802.16.

Lo strato MAC include le funzionalità necessarie a regolare l'accesso al mezzo radio da parte degli utenti da servire. Nella parte superiore il sottostrato MAC-CS (*convergence sublayer*) specifica le funzionalità necessarie per connettere in modo trasparente un apparato IEEE 802.16 ad altre reti tra le quali quelle basate sui protocolli IP, Ethernet e ATM. Nella parte inferiore il sottostrato MAC-CPS (*common part sublayer*) contiene invece le funzionalità di base, sia statiche che dinamiche, necessarie per la gestione dell'accesso al sistema da parte dei terminali di utente e per l'allocazione della risorsa radio, l'instaurazione, il mantenimento e l'abbattimento della singola connessione.

La parte dello standard dedicata allo strato PHY specifica fino a quattro tipi differenti di interfacce radio per la trasmissione, a ciascuna delle quali corrisponde un diverso formato di modulazione. Un sistema conforme allo standard IEEE 802.16 deve includere almeno una delle quattro interfacce radio: le prime due utilizzano segnali modulati a portante singola, SC (*single carrier*); le rimanenti adoperano invece schemi di tipo multiporante basati sulla tecnica OFDM oppure sulla variante OFDMA. L'interfaccia radio di tipo SC è utilizzata per operare nella banda da 10 GHz a 66 GHz; le altre interfacce sono impiegate per comunicazioni nella banda che va da 2 GHz a 11 GHz.

È bene chiarire che per il corretto funzionamento dei sistemi radio operanti nella parte inferiore di quest'ultima banda non sono sempre richieste condizioni di propagazione LOS (*line of sight*), cioè in linea di vista, e ciò può consentire l'erogazione di servizi di connettività anche in mobilità. Inoltre, l'operatività in condizioni NLOS (*non line of sight*), ovvero quando sono presenti ostacoli tra il trasmettitore e il ricevitore tali da determinare ostruzione del cammino radioelettrico, è una prerogativa utile anche nelle applicazioni residenziali, in quanto offre il fondamentale vantaggio di rendere meno stringenti i requisiti di accuratezza nell'installazione e nel puntamento delle antenne dei terminali.

Nell'ambito dello standard IEEE 802.16-2004 le tecniche utilizzate di moltiplicazione/accesso multiplo<sup>4</sup> utilizzate sono di tipo OFDM/OFDM-TDMA, mentre nel IEEE 802.16-2005

<sup>4</sup> In un'architettura PMP la trasmissione nella tratta in discesa (*downlink*) dalla SRB all'insieme dei terminali serviti richiede tecniche di moltiplicazione alla SRB; la trasmissione nella tratta in salita (*uplink*) verso la SRB implica che i terminali attuino una tecnica di accesso multiplo che può richiedere la sincronizzazione delle trasmissioni.

sono usate tecniche OFDM/OFDMA. I formati di modulazione adottati su ciascuna sottoportante OFDM/OFDMA sono il QPSK (*quaternary phase shift keying*), il 16-QAM (16-*quadrature amplitude modulation*) e il 64-QAM.

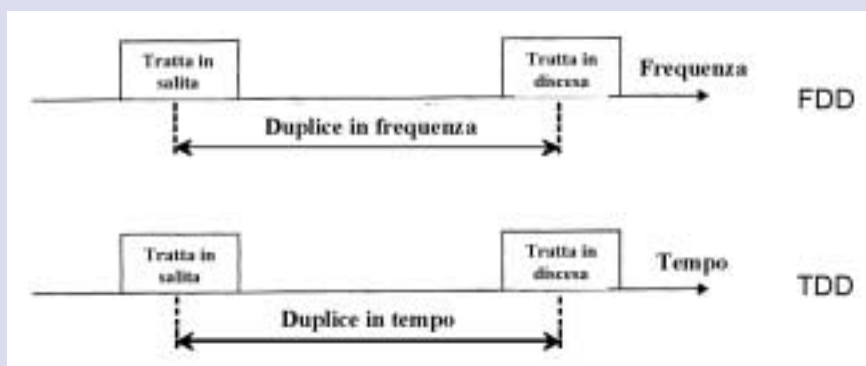
Per la gestione di collegamenti bidirezionali con terminali full-duplex è previsto l'impiego di tecniche basate sia sulla divisione di frequenza (FDD) che sulla divisione di tempo (vedi Box 2).

### BOX 2 - Tecniche duplex FDD e TDD

Se non si prendono adatti provvedimenti un terminale radio in grado di trasmettere e ricevere simultaneamente (full-duplex) potrebbe oscurare il proprio ricevitore a causa dell'enorme sbilanciamento tra la potenza emessa e la piccolissima potenza ricevuta. Per la realizzazione dell'accesso in full-duplex evitando questa forma di auto-interferenza, si possono, quindi, seguire due approcci:

- FDD (*frequency division duplex*): parte dello spettro è impiegata nella tratta in salita, parte nella tratta in discesa; il terminale si connette alla rete impiegando per le due tratte frequenze collocate su bande distinte e separate di un intervallo costante, detto "duplice in frequenza"; considerata la possibile simultaneità delle trasmissioni, l'apparato FDD richiede la presenza di un filtro a radiofrequenza (*diplexer*) per separare i segnali nei due sensi.
- TDD (*time division duplex*): lo spettro è condiviso tra le trasmissioni sulla tratta in salita e in discesa, ossia il terminale si connette alla rete impiegando un'unica frequenza per i due collegamenti ma in tempi differenti separati di un intervallo costante, detto "duplice in tempo"; in virtù della separazione temporale delle trasmissioni, l'apparato TDD richiede la presenza di un interruttore a radiofrequenza in luogo del *diplexer*.

Talvolta per evitare l'uso del costoso diplexer, pur adottando la disciplina FDD si impone al terminale di trasmettere comunque in tempi distinti da quelli di ricezione; tale modalità operativa talvolta viene indicata con il nome di *Half-duplex FDD* (H-FDD).



Per migliorare la qualità delle trasmissioni e consentire l'adattamento dinamico alle condizioni mutevoli della propagazione nel canale radio, il sistema Wi-MAX adotta molti degli accorgimenti tecnici previsti dallo standard IEEE 802.16, i più importanti dei quali sono i seguenti:

- modulazione e codifica adattative, AMC (*adaptive modulation and coding*);
- antenne adattative con caratteristiche di formazione dinamica del fascio radiante;
- antenne multiple sia in trasmissione che in ricezione, MIMO (*multiple-input multiple-output*).

L'impiego della tecnica AMC consente di regolare la qualità del collegamento radio selezionando dinamicamente la coppia modulazione e codifica di volta in volta più adatta in un insieme di scelte possibili. Modulazioni più robuste (come ad esempio il QPSK) pur offrendo una bassa efficienza spettrale possono essere usate per la buona resistenza al rumore; altre modulazioni (come il 64-QAM) a più elevata efficienza spettrale ma più sensibili ai disturbi trovano applicazione in condizioni di propagazione favorevoli, consentendo valori più elevati di velocità di trasmissione. Di conseguenza, all'aumentare della distanza dalla SRB, il *throughput* della trasmissione generalmente diminuisce ma il collegamento può mantenersi operativo: l'impiego della tecnica AMC dunque è utile per fornire un compromesso tra un'ampia copertura radio e un'accresciuta velocità di trasmissione in prossimità della SRB.

Le antenne adattative a formazione dinamica del fascio che può orientarsi in una direzione o in un insieme di specifiche direzioni, oltre a rivelarsi utili per catturare i segnali desiderati e, reciprocamente, per irradiare nella direzione richiesta, possono sopprimere l'interferenza isocanale che proviene da altri siti trasmittenti. Le antenne adattative sono previste per futuri sviluppi in modo da migliorare il riuso di frequenza e, quindi, la capacità di traffico delle reti Wi-MAX.

Infine, l'uso delle tecniche MIMO (*multiple input multiple output*) sia in trasmissione che in ricezione mira a conseguire un riuso della risorsa di spazio e dunque un aumento dell'efficienza spettrale. Queste tecniche, che promettono di migliorare sensibilmente le prestazioni radio, includono numerose alternative implementative tra cui sono particolarmente importanti la codifica spazio-tempo, STC (*space time-coding*), e la multiplazione spaziale (*spatial multiplexing*). La codifica spazio-tempo prevede che un segnale sia trasmesso in tempi diversi da una coppia di antenne (e ricevuto da un'altra coppia di antenne), consentendo così di sfruttare congiuntamente la diversità di spazio e la codifica per ripetizione. In alternativa allo STC, la multiplazione spaziale invia flussi di dati, indipendenti e codificati separatamente, che sono trasmessi mediante antenne diverse; se il ricevitore è dotato di più antenne, esso può separare i differenti flussi trasmessi, mediante elaborazione intelligente dei segnali. Per un approfondimento sulle caratteristiche delle tecniche impiegate nei moderni sistemi wireless per migliorare le prestazioni nel radiocollegamento si rinvia all'Appendice B.

Queste tecniche influenzano in modo significativo sia il *throughput* che il raggio di copertura della singola SRB e, oggi, oltre che nel Wi-MAX vengono impiegate sempre di più in tutti i sistemi wireless e cellulari.

Da numerosi studi e sperimentazioni svolti in tutto il mondo è emerso che il sistema Wi-MAX può offrire valori medi di velocità di connessione compresi tra 8 Mbit/s e 20 Mbit/s; le aree di copertura sono molto variabili in funzione del tipo di ambiente della propagazione e possono estendersi fino a un raggio di circa 50 km; infine, viene riportato il valore massimo teorico di velocità di trasmissione di 75 Mbit/s, conseguibile però solo per piccole distanze e in modalità SC. La Tabella 2.3 riporta alcune tra le principali caratteristiche del Wi-MAX fisso e del Wi-MAX mobile.

Per effetto delle condizioni dell'ambiente in cui opera e delle numerose tecniche adattative che impiega, le prestazioni del sistema Wi-MAX variano in modo complesso e non risulta agevole indicare per il sistema i valori limite di prestazione. Ad esempio la frequenza di trasmissione è determinante per le caratteristiche di copertura: evidentemente ci si può attendere maggiore copertura a 2,5 GHz che a 3,5 GHz a causa delle migliori proprietà di attraversamento degli ostacoli alle frequenze più basse. Un altro fattore che determina le prestazioni della trasmissione è la larghezza di banda: ad esempio, il sistema generalmente si comporta meglio se opera con la banda di 7 MHz piuttosto che con la banda di 3,5 MHz per i ben noti vantaggi dalla trasmissione a banda larga che rappresenta una versione particolarmente efficace della trasmissione in diversità.<sup>5</sup>

Dalle numerose campagne di sperimentazione effettuate nel mondo è stato verificato che in condizioni di visibilità diretta (LOS), a distanza di 5-6 km, con modulazione 16-QAM e con codifica FEC (*forward error correction*) pari a 1/2 (che significa introdurre un bit di ridondanza per la protezione della trasmissione ogni bit di informazione utile) si ha nella tratta in discesa dalla SRB al terminale un valore tipico di *throughput* di circa 4 Mbit/s. Invece, in ambiente urbano con condizione di propagazione NLOS e copertura assicurata per mezzo di sole antenne esterne agli edifici, la copertura si estende soltanto fino a circa 1 km con un *throughput* non superiore a 1 Mbit/s. Valori teorici più elevati, anche dell'ordine di 20 Mbit/s, si possono ottenere in condizioni più favorevoli, ad esempio in condizioni di propagazione LOS e con canalizzazione di 10 MHz.

L'architettura tipica prevista per una rete Wi-MAX è mostrata nella Figura 2.4 [21] nella quale ogni SRB è connessa ad una rete di backbone per fornire servizi broadband a tutti gli utenti collocati all'interno dell'area di copertura attraverso dispositivi d'utente sia di tipo indoor sia di tipo outdoor.

<sup>5</sup> Questa caratteristica di forte dipendenza dalle condizioni di funzionamento e dall'insieme delle scelte di sistema d'altra parte accomuna la gran parte dei moderni sistemi, sia wireless che cellulari, per i quali occorre sempre notevole cautela nell'esprimere valutazioni sulle prestazioni e, a maggior ragione, nell'effettuare confronti per non incorrere in grossolani errori di giudizio.

Wi-MAX	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2005
Numero di profili	5	1
Bande di frequenza	Numerose bande "licensed" da 2 GHz a 11 GHz (principale "banda 3,5 GHz" da 3,4 a 3,6 GHz estendibile in alcuni paesi CEPT con la "banda 3,7 GHz" da 3,6 a 3,8 GHz)	Bande "licensed" da 2 GHz a 6 GHz (2,3 GHz; 2,5 GHz; 3,3 GHz; 3,5 GHz e 5,8 GHz)
Larghezza del canale (MHz)	1,75; 3,5; 7,0; 10,0; 20,0	1,25; 5,0; 10,0; 20,0
Duplex	FDD/TDD	FDD/TDD
Accesso multiplo	Divisione di tempo (TDMA), Ortogonale in freq. (OFDMA)	TDMA, OFDMA Scalabile (SOFDMA)
Tecnica di trasmissione	OFDM (256 sottoportanti)	SOFDMA (512 o 1024 sottoportanti)
Modulazione/codifica	Modulazione/codifica adattativa, AMC (Mod.: QPSK, 16-QAM, 64-QAM / Cod.: diversi rate $n/k$ )	AMC
Qualità di servizio	Sì	Sì
Mobilità	No	Sì
Copertura radio	Fino a 10 km	Fino a 10 km
Throughput	Max teorico: 20 Mbit/s (propagazione LOS e canale di 10 MHz)	Fino a 50 Mbit/s (Fino a circa 1 km, velocità max 60 km/h)
	4 Mbit/s fino a 5-6 km (propagazione LOS e canale di 3,5 MHz)	
	1 Mbit/s fino a 1 km (propagazione NLOS)	

Tabella 2.3 - Caratteristiche principali del Wi-MAX.

Come si è visto, per ottenere il vantaggio della mobilità, nel percorso evolutivo dello standard si è deciso di introdurre una nuova versione (IEEE 802.16-2005) che però ha perso il vantaggio della compatibilità all'indietro, pur introducendo significativi benefici in termini di flessibilità e scalabilità. Le principali innovazioni che il Wi-MAX mobile ha introdotto rispetto al Wi-MAX fisso sono:

- *Tecnica S-OFDMA (ove S indica scalable)*: variante dell'OFDMA che consente l'uso dinamico delle sottoportanti in uplink da parte dei terminali e quindi migliora sensibilmente l'efficienza spettrale nella gestione dell'accesso multiplo.
- *Macrodiversità di sito* per servizi broadcast e multicast: consente a gruppi di SRB di sincronizzarsi tra loro per trasmettere lo stesso messaggio con gli stessi parametri di trasmissione migliorando la qualità del collegamento.
- *Protocolli per la gestione delle procedure di handover*, indispensabili per assicurare la mobilità.
- *Funzionalità di "sleep mode" e di "idle mode"*: riducono il consumo di potenza nei terminali, consentendo così l'allungamento dei tempi tra le ricariche della batteria.

- *Nuove classi di servizio*: ad esempio quella denominata ERT-VR (*extended real-time variable rate service*) che consente di supportare applicazioni in tempo reale con ritmo binario variabile che richiedono la garanzia di un tempo di ritardo massimo.

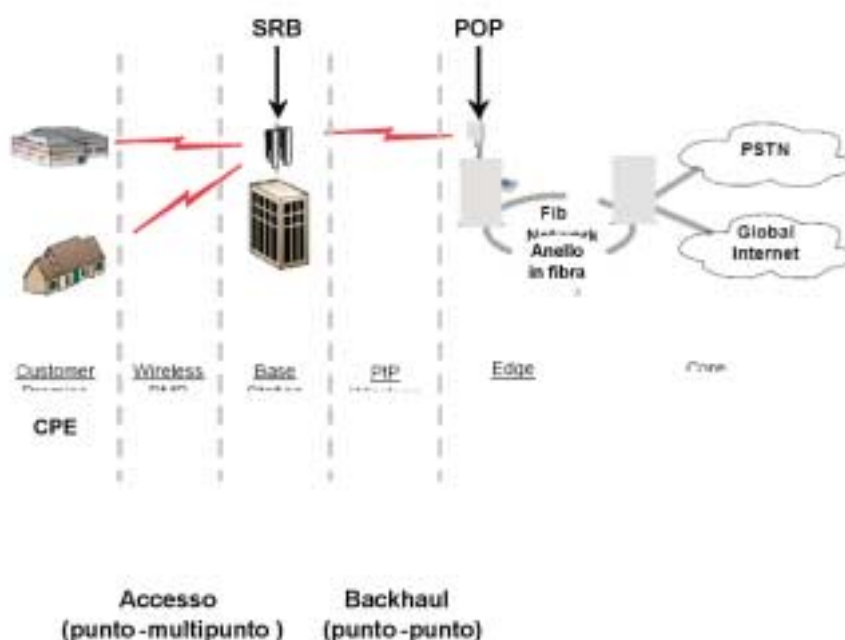


Figura 2.4 – Architettura di base di una rete Wi-MAX.

## 2.2.2. IL SISTEMA WI-FI

Lo standard IEEE 802.11, commercialmente noto come Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), è stato introdotto in origine allo scopo di realizzare un prolungamento wireless della LAN di ufficio e poi si è rapidamente affermato per offrire all'utenza business servizi di accesso a larga banda anche in alcuni tra i più frequentati luoghi pubblici. Oggi esso rappresenta la soluzione largamente più impiegata per i servizi di connettività WLAN; lo standard, che in tutto il mondo è stato accolto con grande favore in ogni strato sociale può considerarsi l'indicatore di un diffuso bisogno di accessi a banda larga da parte della comunità sia professionale che residenziale.

Oggi il Wi-Fi è estremamente vitale e mostra di essere adatto a progredire in funzionalità e prestazioni ben oltre gli obiettivi iniziali, implementando un paradigma evolutivo tipico di Internet. Viene anche percepito da molti come un modello per la diffusione spontanea "dal basso" della connettività a larga banda che si contrappone a quello tipico dell'evoluzione pianificata "dall'alto" delle generazioni radiomobili: sebbene ciò sia solo in parte vero, va tenuto presente come uno dei più forti elementi sociologici che ne determinano il successo commerciale.

### 2.2.2.1. Il processo di standardizzazione

Lo standard Wi-Fi (IEEE 802.11), avviato nell'ambito del IEEE Project 802 nella seconda

metà degli anni '90 in una forma oggi nota come "802.11 legacy" ed ormai obsoleta, utilizzava i collegamenti all'infrarosso e le radiotrasmissioni alle frequenze di 2,4 GHz. Solo intorno al 2000, con l'avvento della nuova versione dello standard denominata IEEE 802.11b, il Wi-Fi ha cominciato ad affermarsi ovunque molto rapidamente. Questo standard opera nella banda in tutto il mondo non soggetta a vincoli di licenza, detta ISM (*Instrument Scientific Medical*), da 2,4 GHz a 2,483 GHz (banda lorda di 83 MHz). La velocità di trasmissione, con valori di ritmo binario lordi fino a 11 Mbit/s cui corrisponde un valore netto globalmente a disposizione degli utenti serviti di circa 6 Mbit/s, ha rappresentato un balzo in avanti delle tecnologie wireless di ben due ordini di grandezza rispetto alle contemporanee tecnologie mobili, attestandosi su prestazioni quasi comparabili con quelle che potevano essere conseguite con le tecnologie cablate.

Anche a seguito di questo successo, accolto entusiasticamente dal pubblico, già nei primi anni 2000 si è manifestata l'esigenza di utilizzare questa tecnologia per fornire all'utenza business servizi di accesso a larga banda nei cosiddetti "hot-spot" pubblici che hanno cominciato ad essere allestiti in aeroporti, alberghi, caffè e così via. Questa esigenza applicativa ha destato interesse nelle aziende manifatturiere del settore e ha indotto, di conseguenza, i gruppi di lavoro IEEE a migliorare alcuni aspetti dello standard IEEE 802.11b che, dati gli obiettivi iniziali di estensione indoor della rete Ethernet e di copertura in ambiti esclusivamente privati, aveva privilegiato il basso costo e la semplicità di installazione trascurando di assicurare i requisiti di sicurezza e di qualità di servizio necessari per un sistema da adibire ad accesso nei luoghi pubblici. Sono quindi stati avviati gli standard 802.11i e 802.11e dedicati a coprire rispettivamente gli aspetti di sicurezza e di qualità di servizio.

Nel frattempo veniva sottolineata l'esigenza di aumentare la velocità della connessione per consentire una migliore esperienza nella navigazione web e, principalmente, il più rapido download di documenti di grandi dimensioni, come messo in luce dagli scenari di servizio considerati trainanti (primo fra tutti quello del *businessman* che scarica la propria posta nell'attesa tra un aereo e quello successivo). Queste considerazioni hanno suggerito l'introduzione di versioni dello standard a ritmo binario cinque volte superiore (54 Mbit/s lordi), ben presto approntate attraverso lo standard IEEE 802.11g, che utilizza la stessa banda di 802.11b (ossia 2,4 GHz), e lo standard IEEE 802.11a che però ha riscosso limitati consensi per varie ragioni riconducibili alla scelta della banda di frequenza (5 GHz).

Gli standard 802.11 b/g e 802.11a, sebbene diversi per banda utilizzata e per potenza trasmessa, sono tuttavia simili per tipo di applicazioni [28], [29], [30]. Ambedue oggi sono utilizzati per consentire l'accesso wireless a utenti dotati di Personal Computer con interfaccia wireless (esterna o interna) e anche per la realizzazione di dorsali di trasporto wireless sia di tipo punto-punto che di tipo punto-multipunto.

Il successo dello standard IEEE 802.11b/g ha perciò sospinto l'industria, che si coordina fin dal 1999 attraverso l'organizzazione senza scopo di lucro "Wi-Fi Alliance", a definire una vera e propria famiglia di standard (*Tabella 2.4*) che si occupa di una serie di aspetti tecnici, dalle funzionalità legate al roaming tra reti e all'handover tra hot-spot, a quelle della gestione delle risorse, dalle nuove architetture riconfigurabili, ai problemi della mobilità, e a molti altri aspetti ancora.

Il mercato della tecnologia Wi-Fi è oggi decisamente maturo, sia in virtù di un consolidamento nel tempo dei prodotti commerciali, sia grazie alla larga diffusione avuta a partire dai primi anni 2000. Attualmente i prodotti sul mercato europeo, ed in particolare italiano, sono prevalentemente a standard IEEE 802.11b/g.

Standard	Status	Commenti
<b>802.11 "legacy"</b>	<b>Approvato</b> (1997) -obsoleto-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La prima versione dello standard 802.11 (anche chiamato "802.1y")</li> <li>• Specificava valori di ritmo binario tra 1 e 2 Mbit/s</li> <li>• Utilizzava trasmissioni all'infrarosso e le onde radio a 2,4 GHz</li> </ul>
<b>802.11b</b>	Approvato (1999, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opera nella banda non soggetta a licenza dei 2,4 GHz (ISM)</li> <li>• Ritmo binario massimo teorico: 11 Mbit/s</li> <li>• Massimo ritmo binario pratico: 5,9 Mbit/s in TCP e 7,1 Mbit/s in UDP</li> <li>• Fino a pochi anni fa unica versione disponibile in Italia</li> </ul>
<b>802.11a</b>	Approvato (1999)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opera in banda a 5 GHz</li> <li>• Ritmo binario nominale 54 Mbit/s, praticamente disponibile circa 20 Mbit/s</li> </ul>
<b>802.11g</b>	Approvato (2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuova modulazione per raggiungere valori nominali di ritmo binario di 54 Mbit/s a 2,4 GHz, mantenendo la compatibilità con i dispositivi 802.11b</li> </ul>
<b>802.11f</b> (è una raccomandazione)	Approvato (2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per la gestione della connessione WLAN tra apparati di diversi costruttori</li> <li>• Implementa il protocollo IAPP (<i>Inter Access Point Protocol</i>)</li> </ul>
<b>802.11i</b>	Approvato (2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meccanismi di sicurezza per autenticazione, controllo dell'accesso e cifratura dei dati nel canale radio</li> <li>• Usa 802.1X come architettura di autenticazione, la gestione dinamica delle chiavi di cifratura, e supporta AES come algoritmo di cifratura</li> </ul>
<b>802.11e</b>	Approvato (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduce il supporto alla Qualità del Servizio (QoS) a livello MAC [25], [26]</li> <li>• Permette di differenziare il servizio offerto alle applicazioni voce, dati e multimediali</li> </ul>
<b>802.11k</b>	In corso (previsto nel 2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornisce informazioni per scoprire il migliore AP disponibile per migliorare la distribuzione del traffico nella rete (Radio Resource Management)</li> </ul>
<b>802.11n</b>	In corso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estensioni a PHY e MAC per reti wireless metropolitane.</li> <li>• Throughput d'utente circa 250 Mbit/s (ritmo binario effettivo 100 Mbit/s)</li> <li>• Include la tecnologia MIMO (<i>multiple-input multiple-output</i>)</li> </ul>
<b>802.11r</b>	In corso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per consentire la connettività a bordo di veicoli con handover veloce tra una stazione radio base e un'altra (necessario prevalentemente per il VoIP)</li> </ul>
<b>802.11s</b>	In corso (previsto nel 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per un'architettura mesh che supporta comunicazioni broadcast, multicast e unicast in una rete cooperativa di access point autoconfiguranti (<i>Extended Service Set Mesh Networking</i>)</li> </ul>
<b>802.11p</b>	In corso (previsto nel 2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard WAVE (<i>Wireless Access for the Vehicular Environment</i>) per il supporto dei sistemi di trasporto intelligenti (scambio dati tra veicoli ad alta velocità e tra questi e le infrastrutture stradali)</li> </ul>

Tabella 2.4 - Famiglia di standard 802.11 (lista parziale).

### 2.2.2.2. Caratteristiche dello standard

Come ogni standard originato nell'ambito del IEEE Project 802, anche la famiglia di standard IEEE 802.11 si limita a definire gli strati protocollari inferiori, ovvero lo strato fisico, che si occupa di modulazione, codifica e delle altre funzionalità necessarie per l'impiego corretto del mezzo trasmissivo, e lo strato MAC che fornisce i servizi di accesso al mezzo, di autenticazione ed associazione alla rete e di frammentazione e ricostruzione dei pacchetti.

Lo standard 802.11 prevede due possibili modalità di configurazione:

- *modalità ad hoc*, in cui viene connesso in rete un certo numero di terminali di pari livello gerarchico, normalmente distribuiti su una zona di estensione tale da permettere la trasmissione diretta senza necessità di ricorrere ad alcuna infrastruttura di supporto;
- *modalità infrastrutturata*, che realizza una rete, anche vasta, connessa a un sistema di distribuzione, DS (*distribution system*), che può essere *wireless* o cablato e al quale i terminali accedono mediante apposite stazioni fisse, dette AP (*access point*).

L'architettura elementare di una rete IEEE 802.11 è indicata nello standard come BSS (*Basic Service Set*) e, nella configurazione minima, è costituita da due soli terminali in connessione ad hoc. Essa si realizza quando i terminali sono in grado di comunicare direttamente tra loro e non esiste una pianificazione della rete.

Quando non sia possibile realizzare collegamenti entro un solo BSS, per le limitazioni dovute alla radiopropagazione, al traffico o per altri motivi, e quando si voglia, quindi, interconnettere più BSS si ricorre all'architettura di sistema di distribuzione riportata in *Figura 2.5*. Il DS ha il compito di gestire l'inoltro dei dati dalla sorgente al destinatario, anche nel caso di terminali portatili, e, al tempo stesso, di operare l'integrazione trasparente di più BSS indipendenti.

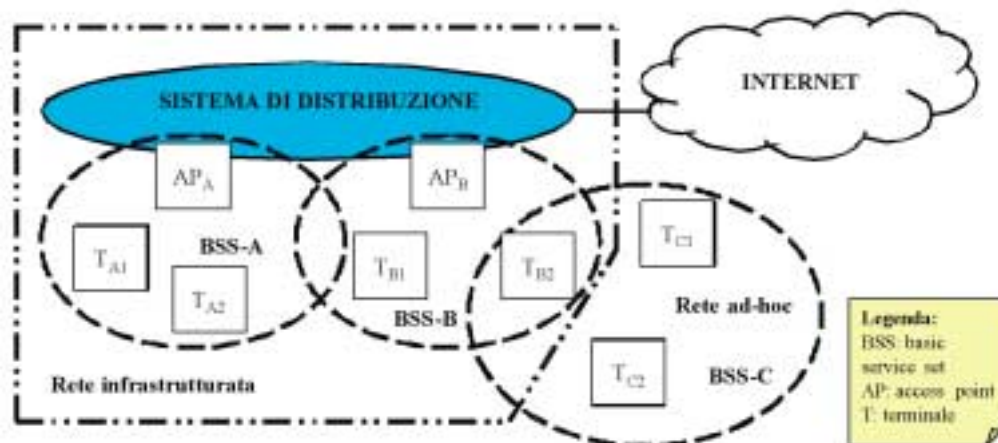


Figura 2.5 - Architettura di sistema di distribuzione IEEE 802.11.

L'uso di DS e BSS consente di realizzare reti IEEE 802.11 di dimensione arbitraria e diversa complessità: una rete di questo tipo viene detta ESS (*Extended Service Set*).

L'integrazione di un'architettura di rete basata su IEEE 802.11 con una rete LAN cablata di tipo IEEE 802.x avviene attraverso un'architettura logica basata sull'impiego di un'interfaccia detta "Portale". Tutti i dati che provengono dalla rete cablata transitano verso la rete IEEE 802.11 attraverso il Portale, e viceversa.

Un dispositivo generico può offrire servizi per realizzare sia l'AP che il Portale: ciò si verifica, ad esempio, quando il DS è in realtà esso stesso una rete LAN cablata a standard IEEE 802.x. L'architettura di *Figura 2.5* consente anche di realizzare un accesso alla rete Internet.

Lo strato fisico del Wi-Fi è basato sulle tecniche a spettro espanso o *spread spectrum* (SS): si utilizza sia la tecnica con impiego diretto di una sequenza di espansione spettrale, DS-SS (*direct sequence-SS*) che la tecnica del salto di frequenza FH-SS (*frequency hopping-SS*). Sono usate numerose tecniche di modulazione e i sistemi più moderni prevedono l'impiego di tecniche adattative di modulazione e codifica (AMC) con le quali si adatta la velocità di trasmissione per garantire la qualità di trasmissione richiesta. Lo strato fisico definisce le caratteristiche combinate di modulazione e generazione del segnale per la trasmissione dati. Il metodo più diffuso è sicuramente il DS-SS, che opera su canali di 25 MHz nella banda di 83 MHz disponibile da 2,4 GHz a 2,483 GHz.

Le tecniche a spettro espanso presentano alcuni vantaggi rispetto ai sistemi a banda stretta, tra cui la migliore ricezione dei segnali ricevuti con bassa densità spettrale di potenza, la forte immunità ai disturbi e alle interferenze (comprendendo sia quelle causate da rumori a banda stretta con valori di picco elevati della densità spettrale di potenza, che quelle che lo stesso segnale utile produce sulle altre comunicazioni in corso) e, infine, la buona resistenza alle intercettazioni, grazie al fatto che le proprietà statistiche del segnale sono assimilabili a quelle del rumore termico di fondo.

Lo standard IEEE 802.11a può essere utilizzato in Europa solo se conforme alle disposizioni in ambito ETSI, ovvero se dotato di un sistema di selezione automatica del canale (DFS) e di controllo automatico della potenza trasmessa (TPC). La *Tabella 2.5* riporta le caratteristiche principali del Wi-Fi secondo gli standard IEEE 802.11 b/g e IEEE 802.11a.

Particolarmente importante è la scelta della tecnica di accesso multiplo che si basa su una variante del protocollo di accesso a contesa CSMA (*carrier sense multiple access*) adottato da Ethernet. La soluzione impiegata nel Wi-Fi, chiamata CSMA/CA (ove il suffisso CA significa "*collision avoidance*"), affronta una serie di problemi insiti nelle proprietà del mezzo wireless che sono alla base dei potenziali conflitti tra i terminali nell'accesso alla risorsa spettrale condivisa. A dispetto del nome adottato, le collisioni possono essere solo in parte evitate e ciò determina la necessità di ritrasmissioni che, a loro volta, possono collidere; questo fenomeno non consente in realtà di garantire né il valore di effettiva velocità di trasmissione nel canale, né un ritardo massimo di consegna dei pacchetti dati. Su questi aspetti il lettore interessato potrà trovare alcuni utili approfondimenti nell'Appendice B.

Wi-Fi	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.11a
<b>Banda di frequenza (GHz)</b>	2,4 – 2,4835	5,150-5,250 e 5,470-5,725
<b>Larghezza del canale</b>	20 MHz (parz. sovrapposti)	20 MHz (non sovrapposti)
<b>Numero di canali</b>	13	19
<b>Duplex</b>	TDD	
<b>Accesso multiplo</b>	CSMA/CA	
<b>Modulazione</b>	DSSS/OFDM	OFDM
<b>Qualità di servizio</b>	No	
<b>Mobilità</b>	No	
<b>Copertura radio (indoor)</b>	Fino a 100 m	
<b>Potenza max (dBm)</b>	20	30
<b>Ritmo binario (Mbit/s)</b>	11 (std. "b") / 54 (std. "g")	54

Tabella 2.5 - Caratteristiche principali del Wi-Fi.

### 2.2.3. GLI STANDARD WIRELESS IN AMBITO ETSI

Mentre si redigevano gli standard americani della IEEE, anche in ambito europeo è stata sviluppata dall'ETSI una famiglia di standard finalizzata ad assicurare la connettività wireless a larga banda. Obiettivo principale dell'ETSI è stato definire HiperLAN (sigla per "*high performance radio local area network*") che è una famiglia di standard Wireless LAN, o Radio LAN (RLAN) nel linguaggio ETSI, nelle intenzioni molto simile alla famiglia di standard IEEE 802.11. I lavori di standardizzazione sono stati portati avanti in principio da un comitato tecnico chiamato RES10, che ha emesso nel 1996 lo standard HiperLAN/1, e successivamente dal comitato BRAN (*Broadband Radio Access Networks*) che ha messo a punto la standardizzazione di HiperLAN/2, e di altri standard quali HiperACCESS e HiperMAN [23], [27]. L'obiettivo del BRAN è la predisposizione di standard wireless che consentano la realizzazione di collegamenti radio a velocità superiori a 25 Mbit/s sia in banda licenziata che in banda esente da licenza. Tali sistemi sono destinati ad utenze residenziali e aziendali che necessitino di collegamenti ad alta velocità di rapida installazione e alternativi alle soluzioni cablate.

Come per altre tecnologie simili, anche gli standard sviluppati dal BRAN si limitano a definire gli aspetti relativi allo strato fisico ed a livello di accesso al mezzo. Inoltre in essi sono approntate alcune specifiche destinate a definire l'interoperabilità con soluzioni cablate basate su ATM e TCP/IP e con le reti mobili 3G.

Allo stato attuale le soluzioni per le quali sono attivi i gruppi di lavoro ETSI sono le seguenti:

- HiperLAN/2, destinato a fornire accesso a corto raggio via radio a reti locali cablate Ethernet, ai protocolli IP e ATM, e al sistema radiomobile UMTS; lo standard è operativo a 5 GHz con valore massimo di ritmo binario di 54 Mbit/s;

- HiperACCESS, finalizzato a consentire interconnessioni fisse PMP; esso è operativo a frequenze superiori a 11 GHz con velocità di trasmissione fino a 120 Mbit/s;
- HiperMAN, progettato per consentire l'accesso a larga banda ad utenza fissa mediante soluzioni wireless è compatibile con lo standard Wi-MAX per le applicazioni in reti MAN; è operativo a frequenze inferiori a 11 GHz.

### **2.2.3.1. Il processo di standardizzazione**

Il processo di standardizzazione in ambito ETSI è stato avviato agli inizi negli anni '90 quando il RES10 ha iniziato i lavori per la definizione di un sistema wireless che consentisse di stabilire collegamenti fino a velocità di trasmissione di 20 Mbit/s. La prima versione stabile dello standard, chiamata "HiperLAN Type 1", è stata emessa nel 1996 [3], [4].

I lavori successivi in ambito ETSI hanno portato allo sviluppo dello standard HiperLAN/2 [5] che, emesso nel 2000, consente la trasmissione fino alla velocità di 54 Mbit/s e assicura l'interoperabilità con altre tecnologie di rete come Ethernet e ATM. Le attività in corso attualmente stanno portando alla definizione di specifiche di interfaccia con i sistemi 3G [6]. Il BRAN si è anche occupato di sviluppare le specifiche di test di conformità per lo standard HiperLAN/2 in modo da assicurare l'interoperabilità di prodotti realizzati da aziende manifatturiere differenti. Le specifiche di test includono sia test radio che protocollari. Nel definire le specifiche di test ETSI è supportata dal consorzio di manifatturiere denominato "HiperLAN/2 Global Forum" (H2GF), che ha anche lo scopo di promuovere HiperLAN/2 a livello mondiale.

Parallelamente ai nuovi sviluppi per HiperLAN/2, in ambito ETSI sono in corso anche le attività per la definizione della variante HiperACCESS finalizzata all'accesso PMP ad alta velocità la cui prima versione è stata emessa nel 2001 [7]. Una delle applicazioni principali è il servizio di backhaul per reti GSM e UMTS. Altre applicazioni sono finalizzate all'accesso a larga banda per utenti residenziali e per aziende di piccole dimensioni in maniera alternativa alle soluzioni cablate.

Un'altra variante dello standard è HiperMAN la cui prima versione è stata emessa nel 2003. Esso è finalizzato a definire il livello fisico [8] e di controllo del collegamento dati DLC (*data link control*) [9] e a specificare gli aspetti relativi alla convergenza [10].

Infine è prevista anche la definizione di una variante dello standard chiamata HiperLINK finalizzata a ponti radio in grado di realizzare collegamenti dati punto-punto a larga banda tra due siti remoti a velocità di trasmissione fino a 155 Mbit/s che potranno operare alle frequenze dei 17 GHz. Allo stato attuale tuttavia non è stata ancora emessa alcuna raccomandazione specifica.

### **2.2.3.2. Le caratteristiche della famiglia di standard**

Le differenti varianti che derivano dallo standard HiperLAN/1 sono orientate ad offrire servizi wireless con caratteristiche specifiche. Di seguito sono presentate le caratteristiche peculiari di ciascuno degli standard ETSI nell'ambito delle quali sono state evidenziate le principali similitudini e differenze esistenti con gli omologhi standard emessi dalla IEEE.

- a) **HiperLAN/1.** Lo standard “HiperLAN Type 1” è stato concepito per fornire comunicazioni alla velocità di 20 Mbit/s tra terminali portatili nella banda dei 5 GHz. Tra gli obiettivi si ha sia la creazione di reti wireless flessibili senza necessità di disporre di una struttura cablata preesistente che l'estensione di reti LAN cablate. Analogamente alle soluzioni della famiglia IEEE 802.11, lo standard definisce solo lo strato fisico e lo strato MAC all'interno del quale è previsto un sottostrato, denominato CAC (*channel access and control*), dedicato alla gestione delle richieste di accesso al canale. Il sottostrato CAC garantisce l'indipendenza gerarchica per mezzo di un protocollo, detto EY-NPMA (*elimination-yield non-preemptive multiple access*), che codifica le priorità e altre funzioni in un impulso radio a lunghezza variabile che precede il pacchetto dati. EY-NPMA consente alla rete di operare con poche collisioni anche in presenza di numerosi utenti i quali, anche grazie a questo meccanismo, sono in grado di fruire di servizi multimediali. A livello MAC sono definiti i protocolli di instradamento, sicurezza e controllo del consumo energetico. Lo strato fisico utilizza modulazioni FSK e GMSK. La *Tabella 2.6* riporta alcune delle caratteristiche fondamentali di HiperLAN/1.
- b) **HiperLAN/2.** Lo standard “HiperLAN Type 2” è stato progettato per fornire accesso fino a 54 Mbit/s e l'utilizzo di una serie di servizi, voce dati e multimediali, con garanzia di Qualità di servizio (QoS). I sistemi di comunicazione basati su HiperLAN/2 possono essere installati in uffici, scuole, case, aziende industriali o in aree “hot-spot”, come centri congressi o aeroporti, con l'obiettivo di fornire prestazioni confrontabili con quelle delle reti cablate. Essi operano nella banda dei 5 GHz già riservata a livello mondiale alle WLAN e si limitano a definire il livello fisico, il livello MAC e le funzionalità per la convergenza con altre tecnologie di rete. Lo strato di convergenza comprende le funzionalità di integrazione tra il livello MAC e lo strato di rete ed esistono sottostrati specifici per l'interconnessione con reti IP, ATM, UMTS. Questa particolare caratteristica rende HiperLAN/2 adatto alla interconnessione di varie reti wireless. Lo strato fisico è molto simile a quello dello standard IEEE 802.11a mentre, a livello MAC, l'utilizzo delle risorse di comunicazione è regolato mediante la tecnica di accesso TDMA dinamica (a differenza dello standard IEEE 802.11a nel quale, come si è visto, si utilizza il protocollo CSMA/CA) che in ogni trama ripartisce dinamicamente un numero variabile di intervalli temporali (*time-slot*) in funzione della richiesta di banda da parte degli utenti. Le modulazioni utilizzate dallo strato fisico sono, al solito, BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM. Sono assicurate anche alcune soluzioni per garantire la sicurezza mediante algoritmi DES (*Data Encryption Standard*) o Triple DES.
- c) **HiperACCESS.** La variante HiperACCESS è concepita per accesso PMP ad alta velocità (120 Mbit/s) [7] a grande distanza, da parte di utenti residenziali e utenti affari di piccole dimensioni, verso un'ampia varietà di reti, ivi incluso UMTS, le reti ATM e le reti basate sul protocollo IP. Uno scenario tipico nel quale HiperACCESS può essere usato, ad esempio, è per distribuire il traffico tra edifici della stessa azienda. I lavori di standardizzazione per HiperACCESS sono stati finalizzati alla realizzazione di

soluzioni wireless operanti a frequenze oltre 11 GHz (ossia a 26, 28, 32 e 42 GHz) con elevata efficienza spettrale in condizioni LOS [8], [9]. Per canali di 28 MHz sono supportate modalità di condivisione del mezzo fisico sia in TDD che in FDD e in H-FDD. L'obiettivo è consentire all'operatore di installare rapidamente su vaste aree una rete d'accesso a banda larga. Per questo motivo HiperACCESS è ritenuto un'alternativa all'accesso cablato (xDSL, cable modem) specialmente per operatori che sviluppino unicamente i servizi mobili e non siano dotati di infrastrutture fisse. Le caratteristiche fondamentali di HiperACCESS sono:

- gestione efficiente delle differenti categorie di servizio e supporto della QoS;
- adozione di meccanismi di sicurezza;
- rapida adattabilità di potenza, modulazione e codifica alle condizioni dell'interferenza e della propagazione;
- robustezza per contrastare le perdite di traffico e di informazioni di controllo.

d) **HiperMAN**. Lo standard HiperMAN è finalizzato a definire un sistema di accesso wireless a larga banda per utenza fissa operante tra 2 ed 11 GHz (principalmente a 3,5 GHz) [10]. Esso è progettato per la fornitura di servizi di connettività wireless per utenze aziendali e residenziali mediante l'utilizzo delle specifiche MAC dello standard IEEE 802.16-2001. In particolare esso è stato sviluppato proprio in cooperazione con il gruppo che si sta occupando dello standard IEEE 802.16 al punto che HiperMAN ed alcuni profili di IEEE 802.16a-2003 possono interoperare trasparentemente. Come gli altri standard definiti dall'ETSI anche HiperMAN è in grado di operare con reti ATM e IP. Lo standard prevede numerose categorie di servizio, offre la piena qualità di servizio, meccanismi di sicurezza, meccanismi adattativi per potenza, modulazione e codifica, la possibilità di collegamenti NLOS e meccanismi per la realizzazione di configurazioni Wireless Mesh [17]. L'allocazione di frequenza può essere disciplinata sia in TDD che in FDD e i terminali hanno anche la possibilità di utilizzare la variante realizzativa H-FDD. Come per gli altri standard della famiglia ETSI le raccomandazioni si limitano a definire lo strato fisico [11] e lo strato DLC [12]. Nell'ambito delle attività di standardizzazione condotte in collaborazione con l'analogo gruppo IEEE, alcune parti dello standard ETSI HiperMAN sono state utilizzate in relazione alle caratteristiche della tecnica OFDM. Inoltre tra IEEE e ETSI sono in corso numerose attività congiunte di test, in particolare per lo strato fisico.

Parametro	Valore		
Distanza di copertura	50 m		
Velocità max di funzionamento	1,4 m/s		
Tipologia di traffico	Voce	Video	Dati
Bit rate	32 kbit/s	2 Mbit/s	10 Mbit/s
Latenza	10 ns	100 ns	n.a.

Tabella 2.6 - Caratteristiche di HiperLAN/1.

#### 2.2.4. L'EVOLUZIONE DEL SISTEMA UMTS

Avviata nell'anno 2001 la cosiddetta "Terza generazione" (3G) radiomobile con il lancio nell'isola britannica di Man della prima rete UMTS sulla base della prima versione (detta *Release 99*) delle specifiche elaborate dal 3GPP (*3rd generation partnership project*), ben presto ci si rese conto che le ridotte prestazioni di ritmo binario del sistema avrebbero determinato serie limitazioni alla penetrazione dei servizi Internet negli ambiti mobili. Pertanto, già nel corso dello stesso 2001 il 3GPP decise di definire un percorso di evoluzione dello standard che consentisse di superare i limiti delle soluzioni tecnologiche adottate nelle reti UMTS.

Nell'evoluzione del sistema UMTS si è da poco giunti alla fase, detta "3,5G", caratterizzata dall'introduzione nelle reti di tecnologie HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), per l'accesso veloce a pacchetti nel downlink, ossia dalla Stazione radio base al terminale mobile. Queste tecnologie consentono di aumentare il throughput fino a raggiungere la velocità massima aggregata in download di 5,4 Mbit/s, con valori di bit rate per il singolo utente compresi tra 800 kbit/s e poco più di 3 Mbit/s: ciò rappresenta un indubbio salto di qualità rispetto ai valori di qualche centinaio di kbit/s consentiti sulla base dell'originaria Release 99 dello standard.

Secondo un'indagine della GSA (*Global mobile Suppliers Association*) all'inizio del 2007 il numero di reti commerciali HSDPA [24] nel mondo era già pari a circa cento in oltre cinquanta paesi. Nell'evoluzione dell'UMTS l'utilizzo di HSDPA è considerato il primo passo necessario al fine di consentire realmente l'accesso a banda larga da parte dei terminali mobili: gli operatori di telefonia mobile europei dispongono di offerte commerciali basate su HSDPA ed è già previsto il rapido ampliamento delle aree di copertura. Il passo successivo, naturalmente, dovrà essere l'erogazione nelle reti UMTS di servizi a banda larga bidirezionali in real-time che richiedono il bilanciamento del bit rate nei due sensi del collegamento, ossia in uplink dal terminale alla SRB oltre che in downlink.

Tra breve, pertanto, con il cosiddetto "3,75G", si diffonderà anche la tecnologia HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), di cui è stata già annunciata la prima rete commerciale in Austria che supporta 1,4 Mbit/s di picco. HSUPA è la richiesta tecnologia che consentirà di aggiungere funzionalità per la trasmissione dei dati in uplink, fino a 5,76 Mbit/s.

##### 2.2.4.1. Architettura di rete UMTS

L'architettura della rete UMTS si articola in rete d'accesso (*access network*) e nucleo di rete (*core network*) [1], [2]. La rete d'accesso, denominata UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*), è largamente innovativa rispetto al sistema di seconda generazione GSM e si basa su un'interfaccia radio che si richiama ai principi dell'accesso multiplo a divisione di codice CDMA (*Code Division Multiple Access*). La *core network* UMTS invece risulta sostanzialmente dall'evoluzione del sistema GSM-GPRS con cui si integra.

Nello standard UTRAN in linea di principio convivono due differenti modalità di funzionamento basate sulla componente FDD e sulla componente TDD, sebbene solo la prima

a tutt'oggi abbia avuto sviluppo commerciale. La soluzione tecnologica adottata dal sistema UMTS nella sua componente FDD prevede l'uso della tecnica nota come WCDMA (*Wideband – CDMA*).

Con la tecnica WCDMA del sistema UMTS nelle varie applicazioni il valore di bit-rate è di volta in volta dipendente da vari fattori, ivi inclusa la richiesta dell'utente, lo stato della rete e dell'ambiente in cui si viene a operare e, naturalmente, il tipo di terminale a disposizione. In linea di principio si può operare da poche decine di kbit/s (specialmente in ambiente veicolare con alta mobilità del terminale) fino a qualche centinaio di kbit/s (specialmente in ambiente indoor a bassa o nulla mobilità).

L'architettura di rete UMTS si compone degli elementi fondamentali riportati nella *Figura 2.6* e elencati di seguito con le rispettive funzioni principali:

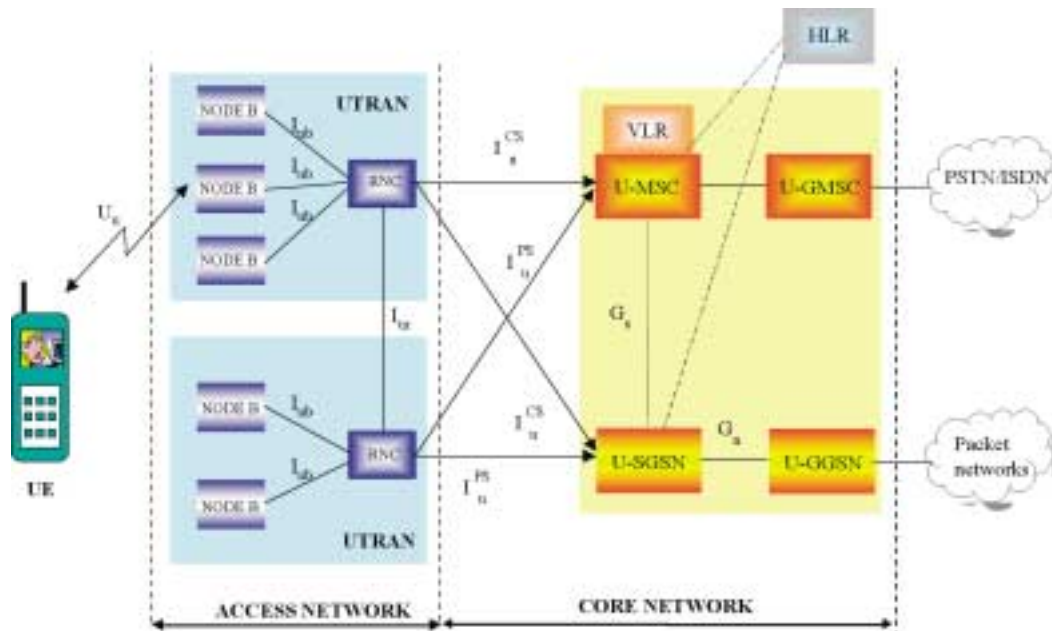


Figura 2.6 - Architettura di rete UMTS.

- *Stazione radio base (o Nodo B)*: con funzioni trasmissive e alcune limitate funzioni di controllo della risorsa radio (logicamente simile alla BTS del GSM);
- *Radio network controller (RNC)*: destinato a gestire il controllo della risorsa radio dell'UTRAN ad essa connessa (logicamente simile alla BSC del GSM) oltre alla funzionalità di *soft-handover* che non ha equivalente nel GSM;
- *UMTS Mobile switching center (U-MSC)*, con associato registro di collocazione dei visitatori o *Visitor location register (VLR)*: organo di rete con funzioni di instradamento del traffico a commutazione di circuito (simile al MSC/VLR del GSM);
- *UMTS Gateway mobile switching center (U-GMSC)*: organo di rete con funzioni di instradamento del traffico verso reti differenti (come il GMSC del GSM);

- *Home location register (HLR)*: registro di collocazione domiciliare (equivalente all'omonimo database del GSM);
- *UMTS Serving GPRS support node (U-SGSN)*: organo di rete con funzioni di interfaccia verso la rete d'accesso per l'instradamento del traffico a commutazione di pacchetto (equivalente al SGSN del GPRS);
- *UMTS Gateway GPRS support node (U-GGSN)*: organo di rete con funzioni di *gateway* verso le reti esterne per l'instradamento del traffico a commutazione di pacchetto (equivalente al GGSN del GPRS).

Il fondamentale servizio offerto dalla rete d'accesso UMTS è il cosiddetto servizio portante radio o RAB (*radio bearer service*) con il compito di realizzare la connessione tra il terminale e il nucleo di rete. Le caratteristiche di un RAB sono differenti in funzione del tipo di servizio e delle caratteristiche del flusso informativo da trasportare. Il 3GPP ha stabilito quattro differenti classi di RAB, in dipendenza delle specifiche di Qualità di Servizio (QoS):

- *Conversazionale (conversational)*: trasporto di conversazioni in tempo reale (fonia, videoconferenza, etc.) con basso ritardo e preciso ordinamento dei flussi dei dati;
- *Monodiffusiva (streaming)*: trasporto di flussi video o audio in tempo reale con ritardo generalmente moderato;
- *Interattiva (interactive)*: richiesta di dati interattiva, tra cui navigazione in rete, interrogazione di banche dati, etc., con requisito di ritardo moderato, ma di norma non in tempo reale;
- *Subordinata (background)*: trasmissione di e-mail e messaggi brevi, senza alcun requisito di ritardo (*best effort*).

Un RAB è caratterizzato dai suoi parametri di QoS, tra cui il bit-rate e il ritardo: la *core network* UMTS sceglie il RAB con il QoS adatto sulla base delle specifiche di servizio richieste dal cliente durante la fase di negoziazione e ne richiede l'attuazione al RNC.

#### **2.2.4.2. Accesso veloce nella tratta in discesa**

La tecnologia HSDPA è stata inserita nello standard come evoluzione dell'interfaccia radio WCDMA al fine di abilitare nella tratta di downlink nuovi servizi di trasmissione dati a pacchetto asimmetrici tra cui i servizi di streaming audio/video, i servizi interattivi e i servizi FTP/email. L'insieme di funzionalità radio che compongono l'HSDPA sono quindi finalizzate alla gestione di flussi dati intermittenti con elevata velocità di picco, ad incrementare (se possibile, raddoppiare) l'efficienza spettrale rispetto a quella propria della Release 99 dell'UMTS e, infine, a ridurre i tempi di latenza in rete. Nel 2003, con la Release 05, il 3GPP ha finalizzato le specifiche per il servizio commerciale HSDPA cui è seguito, durante il 2005, il rilascio da parte dei costruttori di apparati e terminali e poi, a partire dalla primavera del 2006, i gestori di rete hanno avviato il graduale aggiornamento delle proprie reti UMTS con l'introduzione delle nuove funzionalità.

I principali vantaggi nell'introduzione di HSDPA si possono sintetizzare nell'aumento

della larghezza di banda a disposizione nel downlink e nella riduzione dei tempi di latenza. I servizi che possono trarre beneficio dai valori di ritmo binario più elevati sono quelli per il download di file e ludici. Inoltre anche l'accesso a servizi Internet trae vantaggio dai tempi di latenza bassa che permettono di ridurre il tempo di instaurazione delle sessioni.

In sintesi la maturazione della tecnologia HSDPA dovrebbe comportare i seguenti vantaggi:

- migliore esperienza di servizio nel download di file di grandi dimensioni (oltre 10 MByte), grazie all'accresciuto valore di bit rate nella tratta in discesa;
- contenuto tempo di instaurazione delle sessioni, grazie alla ridotta latenza in rete;
- migliorato accesso ad alcuni servizi real-time per effetto dell'introduzione del livello conversazionale di qualità di servizio (QoS) oltre che della ridotta latenza;
- migliorata fruizione di servizi multiterminale mediante introduzione di multi-RAB HSDPA.

Al fine di migliorare le prestazioni, con HSDPA è stato introdotto un nuovo canale dati nel collegamento di chiamata, detto HSDSCH (*high-speed downlink shared channel*), che consente la condivisione di alcuni codici di canale tra gli utenti nei domini del tempo e del codice come mostrato in *Figura 2.7*.

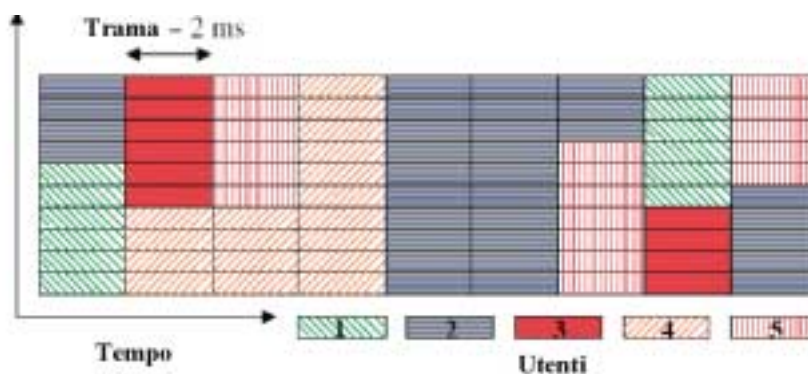


Figura 2.7 - Organizzazione del canale HSDSCH.

L'utilizzo di tale strategia determina un uso più efficiente sia dei codici disponibili che della potenza rispetto al classico WCDMA. Il canale HSDSCH consente di condividere fino a 15 canali, anche se il numero effettivo dipende da una serie di fattori tra cui il numero di codici supportati, le impostazioni del gestore di rete e il valore desiderato di capacità di sistema. Il fattore di allargamento spettrale, SF (*spreading factor*) è fissato al valore 16 e la durata della trama è di soli 2 ms, in luogo dei 10 ms del sistema Release 99. Gli schemi di modulazione usati sono il QPSK e il 16-QAM; i valori supportati di ritmo binario con appropriati valori di ritmo di codifica (*coding rate*) ed il numero di codici sono mostrati in Tabella 2.7: come si vede, nel downlink è supportato un valore di picco di 14,4 Mbit/s con 15 codici di allargamento spettrale.

Modulazione	Ritmo di codifica	Data rate (con 5 codici)	Data rate (con 10 codici)	Data rate (con 15 codici)
QPSK	1/4	600 kbit/s	1,2 Mbit/s	1,8 Mbit/s
	1/2	1,2 Mbit/s	2,4 Mbit/s	4,8 Mbit/s
	3/4	1,8 Mbit/s	3,6 Mbit/s	5,4 Mbit/s
16-QAM	1/2	2,4 Mbit/s	4,8 Mbit/s	7,2 Mbit/s
	3/4	3,6 Mbit/s	7,2 Mbit/s	10,7 Mbit/s
	1	4,8 Mbit/s	9,6 Mbit/s	14,4 Mbit/s

Tabella 2.7– Valori di ritmo binario supportati dal UMTS con tecnologia HSDPA.

### 2.2.4.3. Accesso veloce nella tratta in salita

Le prime classi di servizio coinvolte nello sviluppo dell'UMTS, inclusa la fase dell'utilizzo della tecnologia HSDPA per la tratta in discesa, sono le classi *Interactive* e *Background* perché assai tolleranti ai tempi di ritardo e adatte al traffico *best effort*. Affinché la rete UMTS possa garantire le classi *Conversational* e *Streaming* bisogna, però, che essa sia in grado di fornire servizi con requisiti *real time*. In questa ottica il 3GPP già con la Release 06 ha contemplato un insieme di potenziamenti per la tratta in salita sviluppando la tecnica HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) conosciuta anche come *FDD Enhanced Uplink*. Il fine è realizzare una copertura in uplink con elevati ritmi binari di picco (anche 5,8 Mbit/s a livello fisico ma nella fase di avvio intorno a 1,45 Mbit/s) e ridurre la latenza nelle trasmissioni a pacchetto così da rendere praticabile il supporto di servizi in *real time* a pacchetto. Ciò si è conseguito introducendo dei miglioramenti nei canali dedicati in uplink *E-DCH (Enhanced-Dedicated CHannel)* con funzionalità atte a gestire efficacemente servizi multimediali e incrementando la capacità globale del sistema UMTS. HSUPA è perciò la controparte non speculare della tecnica HSDPA per la tratta in salita. Essa si inquadra nella cornice HSPA (*High Speed Packet Access*) della rete UMTS quale fase intermedia attendendo la quarta generazione delle reti mobili cellulari LTE (*Long Term Evolution*). Le caratteristiche della tecnologia HSUPA sono:

- uso di un nuovo canale dedicato (E-DHC) più nuovi canali fisici di segnalazione per entrambe le tratte di comunicazione;
- nuovi protocolli MAC dedicati alle funzionalità specifiche dei meccanismi di Scheduling degli utenti (di tipo punto-multipunto e gestiti dal Nodo B) e di ritrasmissione H-ARQ (*Hybrid ARQ*) ossia di tipo ibrido (vedi Box 3); quest'ultimi avvengono nel nodo B riducendo i ritardi (differentemente al caso del sistema di Release 99 in cui sono attuati nel RNC);
- utilizzo di modulazioni a bassa efficienza spettrale (BPSK, QPSK) per la limitata potenza disponibile nei terminali mobili;
- uso del controllo in potenza per il canale DCH (sulla base di quanto previsto nella Release 99) per contenere il problema del "near-far" (se i terminali prossimi alla

stazione radio base non potessero ridurre la potenza in trasmissione, potrebbero impedire la ricezione agli utenti lontani il cui segnale è più attenuato) poiché i codici di scrambling dei vari terminali non sono ortogonali;

- impiego del *Soft Handover* per la trasmissione in parallelo verso più nodi B (uplink) ottenendo un guadagno di “macro-diversità” (cfr. 2.2.1.2) ed una diminuzione dell’interferenza intracella e intercella grazie al controllo della potenza tra più celle. Il controllo dell’interferenza complessiva nella rete è un fine strategico del RRM (Radio Resource Management) così che ogni cella non superi il valore pianificato per il suo carico (*uplink load*); si tenga presente che il carico totale per una cella UMTS in uplink è esprimibile dalla somma delle potenze ricevute al nodo B da tutti i terminali presenti nel sistema;
- possibilità di sfruttare, come nel HSDPA, un TTI (Transmission Time Interval) da 2ms (nel sistema di Release 99 è di 10ms) per ridurre ulteriormente i ritardi di trasmissione per H-ARQ nella tratta in salita.

### BOX 3 - Codifica ARQ e H-ARQ

La codifica per ritrasmissione ARQ (*Automatic Retransmission reQuest*) è molto impiegata nella trasmissione a pacchetti; essa si basa su un meccanismo che prevede la trasmissione in risposta di un breve pacchetto di riscontro ACK (*acknowledgement*) che deve essere ricevuto dal trasmettitore a seguito della trasmissione del pacchetto utile. Di regola, se il trasmettitore non riceve l’ACK entro un tempo prefissato esegue nuovamente la trasmissione del pacchetto utile, ritenuto perso o in errore. Il ricevitore è in grado di rivelare l’errore nel pacchetto ricevuto (e quindi di decidere se inviare l’ACK oppure no) grazie ad uno speciale bit di parità ottenuto come combinazione lineare dei bit utili del pacchetto: se questa semplice elaborazione sui valori dei bit del pacchetto non fornisce il valore del bit di parità ricevuto, allora si deve dedurre che il pacchetto è affetto da errori e quindi deve essere scartato.

L’approccio tradizionale alla codifica distingue le tecniche ARQ da quelle denominate FEC (*forward error correction*) di codifica diretta che non richiede l’uso dei segnali di riscontro e di ritrasmissioni. Nel caso del FEC il pacchetto codificato è dotato di ridondanza tale da consentire non solo la semplice rivelazione dell’errore (come nel caso del bit di parità) ma la correzione (fino a un certo grado) dell’intero pacchetto. Questo sistema non richiede la ritrasmissione e ha quindi il vantaggio di non introdurre ritardi di trasmissione spesso indesiderati.

La tecnica H-ARQ (*Hybrid ARQ*) è una variante del classico ARQ che prevede in trasmissione la codifica del pacchetto come avviene per la codifica FEC (ad esempio con i codici di Reed-Solomon, oppure con i codici Turbo). Combinando ARQ e FEC, specialmente nei canali wireless, si ricava un grande beneficio di prestazioni al prezzo di un incremento di complessità. Si parla di “H-ARQ di I tipo” se il ricevitore,

quando non è in grado di correggere tutti gli errori in virtù del FEC, scarta il pacchetto e richiede la ritrasmissione come per il classico ARQ.

In pratica, tuttavia, si può memorizzare il pacchetto parzialmente errato che può essere utilizzato per migliorare la decodifica quando sarà ricevuto il pacchetto ritrasmesso che, a sua volta, potrebbe essere parzialmente errato in un canale particolarmente cattivo (si parla di “*chase combining*” cioè di combinazione con inseguimento). Per migliorare le prestazioni nel caso in cui i pacchetti non siano scartati, sono state proposte varie tecniche di H-ARQ a ridondanza incrementale: si hanno quindi le tecniche HARQ di II tipo e di III tipo a seconda che i pacchetti siano rispettivamente decodificati congiuntamente o separatamente.

Nel sistema HSDPA si usa un tipo di HARQ a ridondanza incrementale in cui il pacchetto dati è prima codificato con un codice Turbo “punturato” (con qualche bit eliminato) e poi in ogni ritrasmissione l'eliminazione di bit viene a crescere via via: così facendo ogni volta si trasmettono parole di codice differenti.

### 2.2.5. BLUETOOTH

Con il proliferare delle tecnologie wireless e cellulari, nella seconda metà degli anni '90 cominciò a sorgere l'esigenza di consentire il collegamento locale senza fili di una crescente gamma di dispositivi portatili in modo semplice e flessibile. Un gruppo di aziende leader nel settore ICT, in particolare le aziende manifatturiere del Nord Europa che operano nel settore radiomobile, ha quindi deciso di sviluppare la tecnologia nota come Bluetooth<sup>6</sup> che, successivamente, è anche stata accolta nella famiglia degli standard IEEE 802 con la denominazione IEEE 802.15.1. Oggi la specifica Bluetooth è arrivata alla versione 2.0.

Le reti wireless tra dispositivi Bluetooth sono generalmente denominate *piconet* (o piconeti). Una piconet è una rete ad hoc che può contenere fino a otto dispositivi attivi e più piconet possono interconnettersi tra loro, formando così una *scatternet*.

La flessibilità è garantita dalla presenza del protocollo di scoperta del servizio (*Service Discovery Protocol*) che permette a un dispositivo Bluetooth di determinare quali sono i servizi che gli altri dispositivi presenti nella picorete rendono disponibili. Tale protocollo permette a un dispositivo di fungere sia da server (ossia può essere interrogato da un altro dispositivo e rispondere con i propri servizi) che da client (interrogando gli altri dispositivi) e permette ad ogni apparecchio di disporre delle informazioni relative ai servizi e ai protocolli che può supportare.

<sup>6</sup> Il nome, adottato come simbolo per una tecnologia wireless che ha la proprietà di unire differenti dispositivi in un'unica rete *ad hoc*, è stato ripreso dal soprannome del re vichingo Harald, vissuto tra il 940 e il 981 d.C., che unì Danimarca e Norvegia, mettendo così insieme una arcipelago di piccole isole che, nell'analogia con la moderna tecnologia, sono “i nodi della rete”.

### 2.2.5.1. Il processo di standardizzazione

Il processo di standardizzazione è stato portato avanti da numerose aziende manifatturiere: nel 1998 Ericsson, IBM, Intel, Toshiba e Nokia hanno formato il primo consorzio al quale nel 1999 si sono aggiunte 3Com, Lucent, Microsoft e Motorola. Nel corso degli anni sono seguite numerose versioni che hanno introdotto successivamente diversi miglioramenti allo standard iniziale.

Le versioni 1.0 e 1.0B sono risultate afflitte da molti problemi e spesso i prodotti di differenti costruttori hanno avuto difficoltà nell'interoperare. Tra lo standard 1.0 e 1.0B vi sono state delle modifiche nel processo di verifica dell'indirizzo fisico associato a ogni dispositivo Bluetooth e nella gestione dell'interoperabilità. La versione 1.1 ha risolto le deficienze delle versioni precedenti e ha permesso la comunicazione su canali non cifrati. Fra le altre innovazioni, la successiva versione 1.2 ha aggiunto le seguenti:

- il salto di frequenza adattativo AFH (*Adaptive Frequency Hopping*) per fornire maggiore resistenza alle interferenze, provvedendo ad evitare di utilizzare i canali soggetti a forti disturbi;
- una modalità di trasmissione ad alta velocità;
- una modalità di trasmissione audio ad alta qualità eSCO (*extended Synchronous Connection*);
- un rilevatore della qualità del segnale;
- un'interfaccia per gestire fino a tre UART (*Universal Synchronous Receiver/Transmitter*).

La versione *Bluetooth 2.0* è compatibile all'indietro con tutte le precedenti versioni e offre i seguenti miglioramenti:

- utilizza la *crittografia* per garantire l'anonimato, evitando cioè di ricorrere al salto di frequenza tra i canali per ragioni di sicurezza;
- supporta le trasmissioni *multicast/broadcast*, e consente la trasmissione di elevati flussi di dati senza controllo degli errori a più dispositivi simultaneamente;
- include l'*Enhanced Data Rate* (EDR) che porta la velocità di trasmissione a 2,1 Mbit/s;
- include una gestione della qualità del servizio;
- adotta un opportuno protocollo per l'accesso a dispositivi condivisi;
- permette tempi di risposta notevolmente ridotti;
- dimezza la potenza utilizzata grazie all'utilizzo di segnali radio di minore potenza.

### 2.2.5.2. Le caratteristiche dello standard

Il Bluetooth prevede tre classi (*Tabella 2.8*), a seconda della potenza in grado di erogare; la massima potenza prevista dallo standard (IEEE 802.15.1) equivale a 20 dBm con i quali solitamente si riescono a coprire distanze fino a circa 100 m in un ambiente chiuso.

Classe di potenza	Max potenza di uscita	Potenza di uscita nominale	Min potenza di uscita	Distanza approssimativa
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	~ 100 metri
2	2,5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0,25 mW (-6 dBm)	~ 10 metri
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	~ 1 metro

Tabella 2.8 - Classi di potenza del Bluetooth.

Il Bluetooth utilizza canali da 1 MHz, all'interno della banda 2,4-2,483 GHz, impiegando la tecnica FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), che consiste nel cambiare automaticamente la frequenza di trasmissione fino a 1600 volte al secondo, al fine di ottenere una maggiore stabilità di connessione e una riduzione delle interferenze tra canali di trasmissione. I dispositivi tra loro collegati condividono la stessa sequenza di hopping. La tecnologia Bluetooth consente due principali modalità di collegamento tra unità master e slave, l'ACL (*Asynchronous Connection-Less*) e lo SCO (*Synchronous Connection Oriented*). Il collegamento ACL consente la trasmissione dei dati con velocità di trasmissione massima pari a 723 kbit/s (link asimmetrico). Il collegamento SCO è utilizzato per le comunicazioni vocali e la velocità di trasmissione è di 64 kbit/s (collegamento simmetrico o bilanciato).

### 2.2.6. IL SISTEMA DECT

Il DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunication*) è una tecnologia wireless per la telefonia cordless digitale, standardizzata in Europa dall'ETSI e diffusa ora in tutto il mondo. Esso è una tecnologia di accesso radio e non una completa architettura di sistema a differenza della maggior parte degli standard ETSI (come il GSM e il TETRA). Pertanto, nello standard DECT molta enfasi è data proprio all'interlavoro con le altre reti di telecomunicazioni, quali la rete telefonica commutata, la rete ISDN e la rete GSM.

Lo standard DECT è stato definito allo scopo di offrire una tecnologia di accesso radio a basso costo e a bassa potenza: queste due caratteristiche lo hanno reso adatto a numerose applicazioni oltre alla classica telefonia cordless.

I documenti alla base dello standard definiscono la CI (*Common Interface*) e il GAP (*Generic Access Profile*) che descrivono le diverse componenti della tecnologia (livello fisico, livello MAC, livello di rete, sicurezza) e le modalità di realizzazione degli apparati. Su queste componenti di base sono state sviluppate un vasto numero di specifiche riguardanti il testing, l'interlavoro con le altre reti e i servizi dati. Fra le specifiche di interlavoro vanno segnalate quelle con le reti GSM e UMTS, consentendo ai terminali DECT di operare il roaming su tali reti.

Una specifica di interesse è denominata profilo di accesso CTM (*Cordless Terminal Mobility*), che permette ai terminali DECT di operare il roaming fra reti pubbliche e reti private.

Un'altra specifica importante è il DPRS (*DECT Packet Radio Service*) relativa ai servizi dati: questa specifica introduce la possibilità di operare a pacchetti sull'interfaccia radio DECT, aumentando la flessibilità del sistema ed ottimizzandone le risorse. L'attuale versione del DPRS supporta trasmissioni dati fino a valori elevati di bit-rate (oltre 4 Mbit/s netti per l'utente). In questo quadro di supporto della trasmissione dati va segnalata una specifica di interlavoro con Ethernet, finalizzata a promuovere l'integrazione del DECT con le reti LAN. Inoltre il DECT specifica i requisiti aggiuntivi per il supporto di applicazioni IP includendo gli aspetti di VoIP, IPv6, qualità del servizio e mobilità.

L'attuale impegno di standardizzazione del DECT mira ad aumentarne la capacità di trasporto oltre i 20 Mbit/s al fine di supportare le applicazioni multimediali.

La *Tabella 2.9* riporta le principali caratteristiche dell'interfaccia radio DECT riferita al profilo GAP/CI.

Parametro	DECT profilo CI/GAP
Banda di frequenza	1,880 – 1,900 GHz
Larghezza del canale	10 MHz
Numero canali	12
Duplex	TDD
Accesso multiplo	MC/TDMA
Modulazione	GFSK
Qualità di servizio	Sì
Mobilità	Sì
Copertura radio (indoor)	Fino a 300 m
Potenza max (dBm)	24
Ritmo binario (kbit/s)	32

*Tabella 2.9 - Caratteristiche principali del DECT.*

### 2.3. TECNOLOGIE WIRELESS DI SORVEGLIANZA E CONTROLLO

Le tecnologie esaminate finora, pur nella varietà delle funzionalità e caratteristiche, hanno come prevalente finalità la connettività. Ciò non ne esclude evidentemente l'impiego per fini diversi, ad esempio di sorveglianza e controllo, che però risultano spesso accessori o complementari. Un sistema cellulare che impiega la messaggistica SMS per comunicazione può utilizzare lo stesso mezzo anche per controllare a distanza un impianto (ad esempio, l'accensione e lo spegnimento di una caldaia domestica); un impianto Wi-Fi, oltre che per comunicazioni indoor, può essere impiegato per monitorare gli accessi a supporto del sistema d'allarme, e così via.

Le tecnologie che esamineremo di seguito, viceversa, pur contemplando un'importante componente orientata alle comunicazioni, hanno come obiettivo primario l'esecuzione di funzioni di monitoraggio e controllo.

Numerose sono le applicazioni di monitoraggio e controllo realizzate per mezzo di tecnologie wireless, sia in ambito industriale che domestico. Per tali applicazioni, è di fondamentale importanza che il funzionamento dei dispositivi della rete e dunque la durata delle batterie sia assicurata per lunghi periodi, da alcuni mesi a molti anni. I dispositivi, di limitata complessità, operano a basso ritmo binario, su porzioni di spettro, in genere, non soggette a licenza a livello internazionale. Tra le possibili applicazioni sono particolarmente rilevanti quelle nei settori dell'automazione domestica, della sensoristica ambientale, dei giochi interattivi, dei badge intelligenti e dei sistemi di controllo remoto. In questi casi, le aziende manifatturiere preferiscono adottare approcci progettuali a singolo chip e, generalmente, la tecnologia preferita è la tecnologia CMOS per integrare in modo efficiente componenti analogici a RF e porte digitali veloci. Per sistemi ottimizzati per le comunicazioni wireless a corto raggio come quelli qui presentati, infine, un altro elemento chiave, al di sopra degli strati PHY e MAC, è rappresentato dagli strati di rete e di sicurezza.

### 2.3.1. LE RETI DI SENSORI

Una rete *wireless* di sensori o WSN (*wireless sensor network*) è una rete senza fili che contiene un insieme anche molto grande di nodi (centinaia, migliaia o persino di più), realizzati attraverso piccoli dispositivi autonomi che solitamente vengono alimentati per mezzo di batterie. In virtù della cooperazione tra nodi-sensore, una WSN è in grado di controllare in una data regione di interesse, anche vasta, le condizioni ambientali o fisiche quali la temperatura, l'umidità, la vibrazione, la pressione, il movimento o, ancora, la presenza di sostanze chimiche o inquinanti. Le WSN possono essere utilizzate per applicazioni civili, come il controllo dell'habitat e dell'ambiente, le applicazioni per l'automazione domestica e per la gestione del traffico.

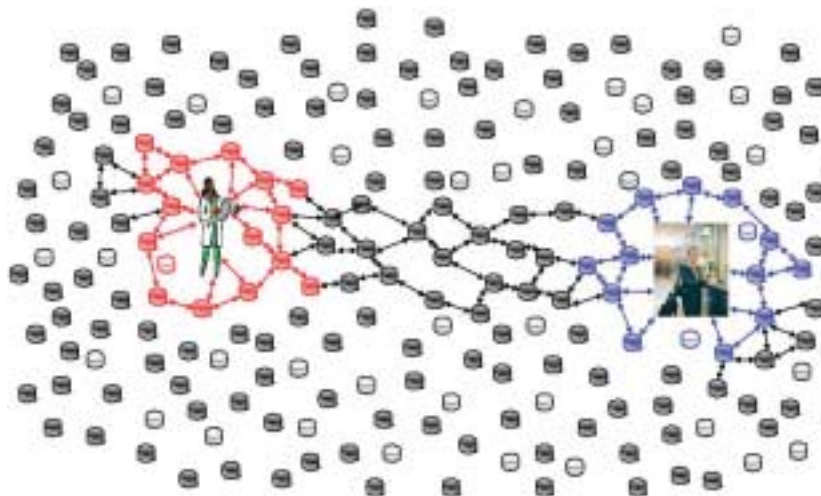


Figura 2.8 - Rappresentazione di una rete di sensori.

In **Figura 2.9** è rappresentata una tipica rete di sensori. I nodi trasmettono i dati relativi ai fenomeni o agli eventi di interesse verso un sito centrale, dove vengono eseguite l'elaborazione e la fusione delle informazioni. I nodi sono collegati tra loro via radio e la capacità di trasmissione di ciascuno di essi è spesso assai limitata e comunque dipendente dalla potenza elaborativa residente nel nodo, dalla distanza rispetto alla componente infrastrutturata della rete e dunque dal numero di ritrasmissioni da parte di altri nodi della rete necessarie per raggiungere la destinazione. In **Figura 2.9** sono evidenziati i principali componenti di un nodo-sensore, cui sono delegate le funzionalità che possono essere fornite dalla rete wireless: la rivelazione dell'evento, l'elaborazione locale del dato, la trasmissione del dato.

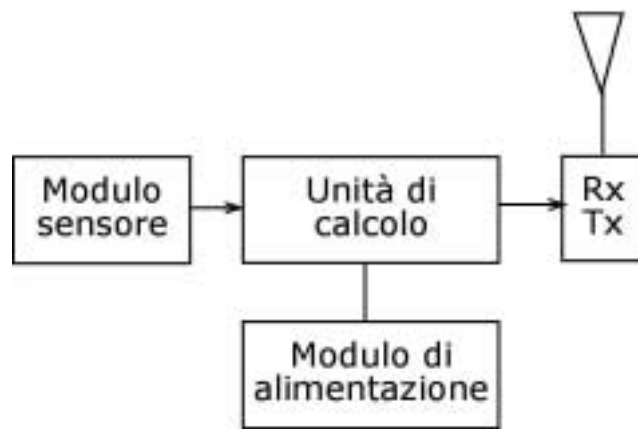


Figura 2.9 - Componenti principali di un nodo-sensore.

In alcuni casi, il sensore potrà essere in grado di localizzarsi autonomamente.

Per i dispositivi operanti intorno ai 400 MHz, la quantità di informazione trasmessa è, tipicamente, dell'ordine del centinaio di Byte, mentre dispositivi operanti a frequenze maggiori hanno capacità più elevate.

Gli attuali dispositivi hanno dimensioni dell'ordine del  $\text{cm}^3$  e contengono: un processore, una memoria non volatile (max 512 kByte), uno o più sensori ed un ricetrasmittitore. Valori tipici di velocità di trasmissione dei dati e copertura sono: 50 kbit/s per 200 m (generico nodo radio), o 1 Mbit/s per 10 m (nodo Bluetooth). In relazione alla tecnica di gestione della potenza, la batteria può attualmente avere vita utile fino a qualche mese.

### 2.3.2. APPLICAZIONI E STATO DELL'ARTE DELLE WSN

Esistono numerose tipologie di sensori (sismici, magnetici, termici, ottici, ad infrarossi, acustici, radar, ecc.) che sono in grado di monitorare un'ampia varietà di condizioni ambientali tra cui: temperatura, umidità, movimento di veicoli, condizioni di illuminazione, pressione, livelli di rumore, presenza/assenza di taluni tipi di oggetti o sostanze, dimensioni di un oggetto, condizioni di stress meccanico, condizioni cinematiche del moto (direzione, velocità, accelerazione) e così via.

Di seguito riportiamo solo alcune delle molteplici applicazioni previste per le reti *wireless* di sensori:

- monitoraggio ambientale per esigenze di prevenzione e di rivelazione (ad esempio in caso di incendi, inondazioni, disastri naturali);
- agricoltura di precisione;
- monitoraggio di strutture;
- monitoraggio e automazione della casa e dell'ufficio;
- controllo di inventario;
- telemonitoraggio di dati fisiologici umani;
- interazione persona-ambiente e assistenza per individui con speciali esigenze;
- utilizzazione nell'industria per la difesa, per l'antiterrorismo, etc.

Numerose sono le strategie di notifica degli eventi al centro di controllo che le WSN possono attuare, in dipendenza dalla natura dell'applicazione:

- notifica periodica dei dati: tale modalità prevede il monitoraggio continuo del fenomeno o evento e l'emissione periodica di rapporti;
- rapporto dei dati stimolato da uno specifico evento (*event-driven*): in tal caso l'ambiente è monitorato con continuità ma il rapporto viene trasmesso solo quando è necessario;
- notifica eseguita sulla base di una specifica richiesta del centro di controllo, cui fa seguito la trasmissione del dato misurato (*query-based*).

Per le reti di sensori, che rappresentano un componente essenziale del paradigma di comunicazione "*Ubiquitous Computing and Communication*", si prevedono rapidi sviluppi nei prossimi anni. La ricerca si concentra attualmente sull'obiettivo di ridurre le dimensioni del nodo-sensore; i dispositivi del prossimo futuro (~ 2010) avranno dimensioni dell'ordine del mm<sup>3</sup>; le attuali reti di sensori contengono tra i 100 ed i 1000 dispositivi (nel prossimo futuro: 10000). Un altro obiettivo è la riduzione del consumo di energia (attualmente il tempo di vita è dell'ordine dei mesi, in futuro sarà dell'ordine degli anni). Le sfide da affrontare nell'hardware dei dispositivi riguardano, dunque, la miniaturizzazione, l'integrazione e il management dell'energia. Le reti devono risultare prive di struttura e altamente dinamiche. L'elaborazione dei dati deve essere cooperativa ed autonoma<sup>7</sup>, e deve essere garantita anche in presenza di guasti.

<sup>7</sup> Con il termine "autonomico" si intende la capacità del singolo nodo-sensore di autoconfigurarsi ed auto-mantenersi senza bisogno di intervento umano. Il termine è mutuato, per via analogica, dalla fisiologia umana; il sistema nervoso, infatti, è distinto in sistema somatico, che agisce sugli organi sotto il controllo della volontà, e sistema autonomico, che regola il funzionamento di alcuni organi e le funzioni vitali attraverso impulsi che provengono inconsciamente dal sistema nervoso centrale.

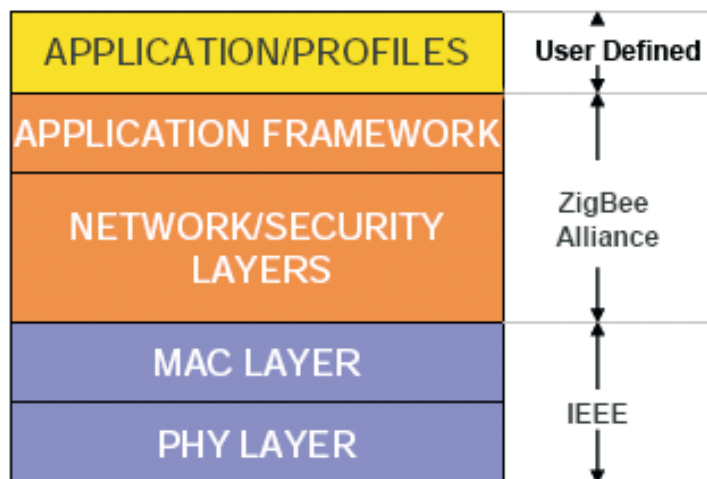
Alcuni esempi di tecnologie per WSN, su cui si tornerà più avanti, sono:

- Lo standard ZigBee (IEEE 802.15.4)
- RFID (Radio Frequency Identifier).

### 2.3.3. LO STANDARD ZIGBEE

ZigBee è uno standard per comunicazioni tra nodi-sensore a corto raggio, già affermato sul mercato come IEEE 802.15.4. Lo standard definisce i soli strati fisico (PHY) e MAC. Nel 2004 la ZigBee Alliance ha inoltre definito il livello di rete (che supporta topologie di rete a stella, mesh e cluster tree), protocolli *multi-hop* ed alcuni profili applicativi. ZigBee è stato concepito per applicazioni di tipo “embedded” che richiedono bassi valori di ritmo di trasmissione e basso consumo di potenza. I nodi ZigBee sono in grado di formare reti autoconfigurabili.

La *Figura 2.10* mostra la pila protocollare Zigbee, in cui sono evidenziati gli strati definiti dall'IEEE 802.15.4, e quelli di rete definiti dalla ZigBee Alliance.



*Figura 2.10 - La pila protocollare ZigBee.*

ZigBee opera su frequenze in banda UHF (868 e 915 MHz) e ISM (2,4 GHz) e definisce un meccanismo di comunicazione senza fili con velocità di trasmissione dei dati di soli 250 kbit/s; opera su una distanza teorica massima tra i dieci e i settantacinque metri. La copertura si estende fino ad alcuni km, sfruttando la possibilità di rilanciare l'informazione (modalità *multi-hop*) tra i nodi della rete fino a raggiungere il nodo di destinazione.

Lo standard IEEE 802.15.4, in modo particolare, definisce due tipi di PHY nelle tre bande d'impiego che includono 16 canali a 2,4 GHz, 10 canali a 902 – 928 GHz ed un canale a 868 - 870 MHz. Il massimo valore di ritmo binario in ciascuna banda è rispettivamente di 250 kbit/s, 40 kbit/s e 20 kbit/s. La banda dei 2.4 GHz è operativa a livello

mondiale, mentre le bande inferiori a 1 GHz sono operative in Nord America, Europa e Oceania.

Entrambi gli strati fisici previsti da Zigbee usano il DS-SS (Direct Sequence Spread Spectrum). La modulazione a 2,4 GHz è O-QPSK con lunghezza 32 del codice pseudocasuale e banda a RF di 2 MHz. Al di sotto di 1 GHz in Europa la banda a RF è 600 kHz (Tabella 2.10).

Strato fisico	Banda di Frequenza	Parametri di spreading		Parametri dei dati	
		Chip rate	Modulazione	Bit rate	Modulazione
868/915 MHz	868-870 MHz	300	BPSK	20	BPSK
	902-928 MHz	600	BPSK	40	BPSK
2,4 GHz	2,4-2,4835 GHz	2000	OQPSK	250	Ortagonale 16 liv.

Tabella 2.10 – Caratteristiche dello strato PHY dello standard ZigBee.

A livello MAC si possono distinguere due principali profili:

- Il primo prevede l'accesso al canale tramite tecnica CSMA/CA; in questo tipo di rete i ricevitori dei router ZigBee sono sempre attivi con notevole dispendio di energia.
- Nel secondo profilo i router trasmettono periodicamente per confermare la loro presenza agli altri nodi della rete; in questa modalità di funzionamento i nodi possono avere un ciclo di riposo, riducendo così il consumo energetico e prolungando la durata della batteria.

Al fine di fornire varianti implementative, lo standard ha previsto due diversi tipi di hardware, per dispositivi di tipo RFD (*Reduced Function Device*) ed FFD (*Full Function Device*). La tabella 2.11 illustra le caratteristiche dei due tipi di hardware.

Dispositivo con funzioni ridotte (RFD)	Dispositivo con funzioni complete (FFD)
• Limitato a uso in topologie a stella	• Supporta ogni tipo di topologia
• Non assume funzioni di coordinatore	• Può essere il coordinatore della rete
• Interagisce solo con nodi FFD	• Interagisce sia con altri FFD che con RFD
• Semplice hardware – min RAM e ROM.	• Hardware più costoso
• Alimentazione a batteria	• Alimentazione esterna

Tabella 2.11 - Tipi di nodi ZigBee.

Per tali motivi, questo tipo di nodo è meno costoso rispetto al nodo FFD. Al fine di risparmiare energia, i nodi RFD possono usufruire della modalità “sleep”, che consente al nodo un notevole risparmio di energia quando non deve assolvere ai compiti di ricezione o invio di pacchetti nella rete. Diversamente, il nodo FFD è più costoso poiché detiene funzionalità più complete, ma anche più complesse, che richiedono, ad esempio, l'utilizzo di memorie più grandi. Una rete di sensori realizzata secondo lo standard ZigBee deve implementare almeno un nodo FFD agente come nodo coordinatore della rete.

Dal punto di vista logico, si distinguono tre tipi differenti di dispositivi ZigBee:

- Coordinatore di ZigBee (ZC): in ogni rete vi è un dispositivo coordinatore di ZigBee, che memorizza le informazioni relative alla rete e funge da deposito per le chiavi di sicurezza.
- Router di ZigBee (ZR): si tratta di un tipo di nodo che può fungere da router intermedio per gli altri nodi.
- ZigBee End Device (ZED): possiede soltanto la funzionalità per comunicare con il relativo nodo genitore (coordinatore o router); non può trasmettere i dati ad altri dispositivi.

La tecnologia ZigBee è stata concepita per essere semplice ed economica. Il tipico nodo ZigBee ha una capacità che richiede soltanto il 10% circa del software di un tipico dispositivo wireless, mentre per i nodi più semplici è richiesto circa il 2%.

Una rete ZigBee accoglie diversi tipi di traffico, tra cui:

- dati periodici: la cui natura e frequenza sono definiti dall'applicazione (ad es. un sensore o un misuratore wireless); il sensore, normalmente inattivo, si risveglia in un prefissato istante di tempo. L'operazione di risveglio avviene cercando di leggere un *beacon* dal nodo coordinatore e, se ricevuto, l'RFD richiede di entrare in rete.
- dati intermittenti: l'applicazione o uno stimolo esterno definito analogamente ad un interruttore comandato da un segnale wireless, fanno iniziare il risveglio del RFD.
- dati ripetitivi a bassa latenza: usa time slot allocate, ad esempio di tipo garantito o GTS (guaranteed time slot). GTS è un metodo per assicurare la QoS che mette a disposizione di ciascun dispositivo uno specifico intervallo di tempo definito dal coordinatore della PAN in una supertrama.

La tecnologia ZigBee è principalmente pensata per reti di sensori a basso impiego. Un nuovo nodo di rete può essere riconosciuto e autorizzato ad entrare in rete in circa 30 ms. I tempi di attivazione (wake up) e disattivazione (sleep) sono di circa 15 ms. Le applicazioni ZigBee traggono beneficio dalla possibilità di rendere disponibile il pacchetto di informazione in poco tempo, di disattivare il nodo o indurlo ad entrare in modalità “sleep” o “deep sleep”, con i già descritti benefici per ciò che riguarda il consumo di potenza e il risparmio della batteria.

### 2.3.4. SISTEMI RFID

RFID (*Radio-Frequency Identification*) è un sistema di identificazione automatico di prossimità, ossia che non richiede contatto fisico, ed è considerato un'importante tecnologia abilitante per molti settori industriali e dei servizi. Il principale obiettivo del sistema è il trasferimento dell'identificativo (ID) da un'etichetta (il "tag") apposta su un oggetto a un apparecchio fisso o portatile (il "lettore" o "interrogatore"), per ragioni di elaborazione immediata o anche successiva da parte di un computer, in relazione alle effettive esigenze della specifica applicazione. In altri termini, come mostra la *Figura 2.11*, il sistema RFID si compone essenzialmente di:

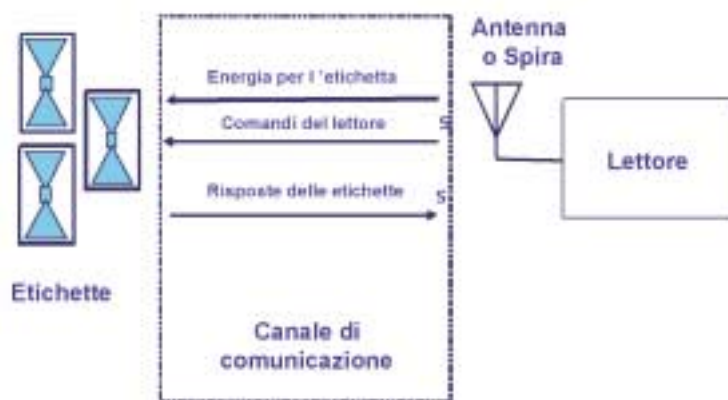


Figura 2.11 - Componenti fondamentali del sistema RFID.

- "lettore": la parte deputata alla lettura dei dati, che include una antenna (o una spira), un ricetrasmittente ed un decodificatore;
- "tag" o "etichetta": il dispositivo, un traspositore (transponder) a radiofrequenza, programmato elettronicamente con un'informazione che lo identifica univocamente.

I tag possono essere attivi, semiattivi o passivi. I tag attivi sono sempre alimentati da batteria. I tag semiattivi, invece, sono alimentati solo quando sono operativi, ossia utilizzano l'alimentazione per trasmettere i dati e rimangono in "stand by" finché non vengono interrogati dal lettore: in questo modo essi riducono di molto il consumo. Nella maggioranza dei casi, tuttavia, il tag è passivo, ossia privo di batteria di alimentazione; esso estrae l'energia necessaria al proprio funzionamento dalla stessa onda radio ricevuta dal lettore nell'interrogazione. Questa caratteristica è molto importante in quanto consente l'impiego del tag per un tempo indefinito (e virtualmente infinito).

L'etichetta è un circuito integrato di dimensioni assai contenute, composto da un chip elettronico e da un'antenna, stampati su un unico substrato di materiale flessibile. Essa è in grado di trasmettere un numero di serie univoco, appunto l'identificativo (ID) dell'etichetta, al lettore che la ha interrogata, il quale è collocato a pochi metri di distanza per-

ché la trasmissione possa avere luogo correttamente. L'ID normalmente si compone di un numero di bit compreso tra 64 e 128; solo i tag più sofisticati contengono fino a 1 kbit di dati accessibili all'utente. Ad oggi non sono ancora state installate funzioni di crittografia e le chiavi di lettura e scrittura nelle etichette sono di tipo statico.

I tag RFID possono essere letti nonostante l'eventuale presenza di sostanze sulla loro superficie, quali neve, nebbia, ghiaccio, vernice, colla e altro ancora; ciò ne consente, se necessario, l'installazione nascosta alla vista. Sono oggetti di piccole dimensioni, anche soltanto  $0,4 \sim 0,4 \text{ mm}^2$ , sottili a sufficienza per essere inseriti nella carta; presto saranno realizzati di dimensioni ancora più ridotte. Il basso costo e le piccole dimensioni sono considerati le caratteristiche chiave al fine di consentire la rapida proliferazione dei tag RFID in moltissime applicazioni commerciali. Per questo motivo essi sono ritenuti la più valida alternativa ai "codici a barre" ottici che svolgono oggi il ruolo di identificativo dei prodotti al consumo. Infatti, essendo programmabili e riprogrammabili, i tag possono svolgere funzioni che i codici a barre, che trasportano un'informazione non modificabile, non si prestano a svolgere. In aggiunta all'ID unico, denominato EPC (*electronic product code*), il tag può inviare al lettore informazioni aggiuntive fra cui: nome del produttore e tipo di prodotto, caratteristiche specifiche dell'oggetto (prezzo, colore, data di produzione o scadenza, etc.), sua collocazione fisica attuale o di provenienza, oltre a qualsiasi informazione sia ritenuta utile o pertinente.

In altre parole, mentre il codice a barre può solo specificare il tipo di oggetto, il tag RFID è molto più flessibile e può ospitare informazioni inerenti alle caratteristiche proprie di ciascun oggetto. Tali informazioni possono essere:

- costanti (descrizione dell'oggetto e sua provenienza),
- dinamiche (temperatura, stato dell'oggetto),
- variabili (collocazione dell'oggetto).

Per i sistemi RFID, può essere facilmente indicata un'ampia gamma di possibili applicazioni, tra cui ad esempio:

- identificazione automatica delle merci,
- protezione di oggetti di valore contro il furto,
- tracciamento automatico di buste e pacchi nel sistema postale,
- gestione delle code,
- associazione del passeggero e del bagaglio nei viaggi aerei,
- accesso controllato alle aree riservate,
- sistemi per il pagamento automatico del pedaggio,
- sistemi antifurto e immobilizzatori degli autoveicoli.

Per realizzare sistemi RFID sono state allocate numerose bande di frequenza: la Tabella 2.14 mostra le principali frequenze impiegate, nonché le relative caratteristiche d'uso e le applicazioni tipicamente attuate.

Bande di frequenza	Caratteristiche	Applicazioni tipiche
BASSA (100-500 kHz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanza di lettura da piccola a media</li> <li>• Poco costosi</li> <li>• Bassa velocità di lettura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controllo accessi</li> <li>• Identificazione degli animali</li> <li>• Controllo degli inventari</li> </ul>
ALTA (10-15 MHz. 850-950 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanza di lettura da piccola a media</li> <li>• Potenzialmente poco costosi</li> <li>• Media velocità di lettura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controllo accessi</li> <li>• Smart card</li> </ul>
MOLTO ALTA (2,4-5,8 GHz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanza di lettura grande</li> <li>• Costosi</li> <li>• Alta velocità di lettura</li> <li>• Richiedono propagazione in vista</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoraggio degli autoveicoli e dei treni</li> <li>• Sistemi di pagamento pedaggio</li> <li>• Identificazione dei veicoli</li> </ul>

Tabella 2.12 - Frequenze e applicazioni per i sistemi RFID.

L'interesse suscitato dalle tecnologie RFID è crescente e le previsioni di mercato indicano una vera e propria esplosione di ambiti applicativi nei prossimi anni, come mostrato dalla *Figura 2.12*, vista anche l'esistenza di una precisa direttiva CEE 178/2002, entrata in vigore l'1/1/2005, che impone la rintracciabilità di filiera: tutti gli oggetti avranno un indirizzo o un sottoindirizzo IP. Tutti gli oggetti saranno associati ad informazioni e il tag RFID è destinato a svolgere la funzione di puntatore all'insieme di informazioni connesse agli oggetti fisici, di qualsiasi dimensione essi siano. Secondo le previsioni elaborate da IDC, nel 2012,  $17 \times 10^9$  oggetti saranno collegati in rete e saranno impiegati circa mille miliardi ( $10^{12}$ ) tra RFID e sensori (*Figura 2.12*).

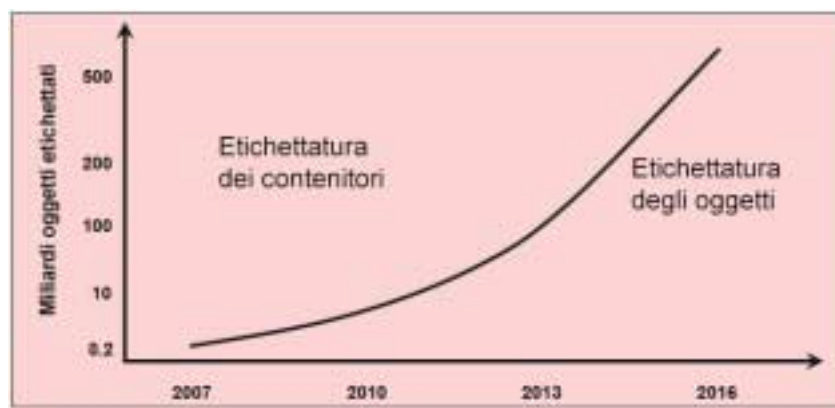
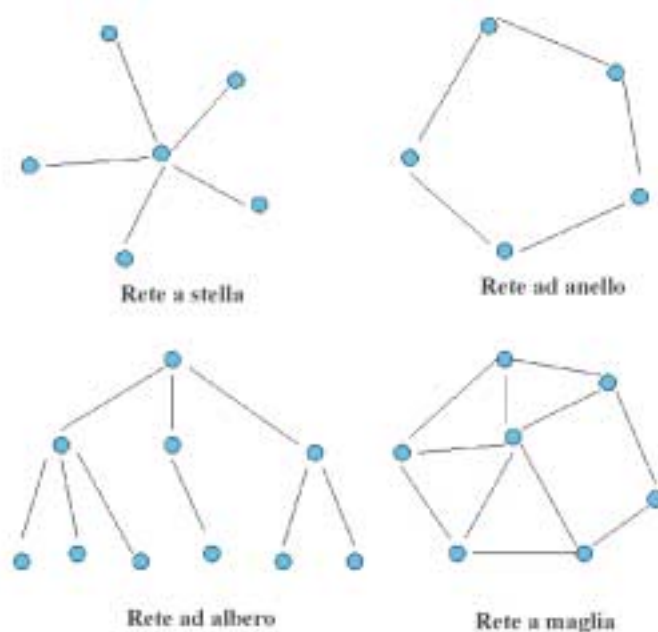


Figura 2.12 - Previsioni sull'incremento di tag RFID (Fonte: presentazione "RFID: stato dell'arte e prospettive", Ing. Tiziana Tambosso, Università degli studi di Roma Tor Vergata, Roma, 30 gennaio 2007).

## 3. Architetture di rete: stato dell'arte e prospettive

### 3.1 TOPOLOGIE DI RETE

Nella tradizione delle reti fisse l'interconnessione diretta tra due nodi, detta collegamento punto-punto, PTP (*point-to-point*), si attua con un collegamento dedicato a singolo salto (*single-hop*) che può realizzarsi con filo o senza filo. Se occorre, poi, interconnettere più di due nodi si possono adottare numerose topologie di rete, alcune delle quali sono mostrate in *Figura 3.1*; le topologie rappresentate si possono realizzare in tecnica cablata, wireless, o mista [31].



*Figura 3.1 - Topologie di rete.*

In queste configurazioni di rete per transitare dal nodo sorgente al nodo destinazione il segnale, in ragione dello schema adottato, può anche attraversare più nodi intermedi. L'instradamento dei dati viene effettuato mediante regole definite attraverso i cosiddetti protocolli di *routing*. Nelle reti fisse, in cui i nodi sono stabili sia in numero che in posizione e le variazioni di configurazione della rete sono preordinate, l'instrada-

mento, da precisarsi caso per caso nelle diverse topologie, è caratterizzato da sostanziale predicibilità.

Tra le topologie di interesse prioritario, specialmente per le reti wireless, si hanno le seguenti:

- **Rete a stella** (*star*), caratterizzata dalla presenza di un nodo centrale, detto centro-stella, al quale sono collegati tutti i nodi della rete mediante collegamenti punto-punto. Il vantaggio principale consiste nella particolare facilità con cui si effettua l'instradamento, che avviene a singolo salto tra centro-stella e qualsiasi nodo periferico o a doppio salto (*double-hop*) attraverso il centro-stella tra nodi periferici: quindi, con l'uso di non più di due collegamenti nella rete a stella un segnale è trasferito da qualsiasi nodo sorgente a qualsiasi nodo destinatario.
- **Rete a maglia** (*mesh*): i nodi sono collegati arbitrariamente, nel rispetto dell'ovvia condizione di raggiungibilità di ogni nodo da qualsiasi altro, eventualmente per mezzo di salti multipli (*multi-hop*). Se ciascun nodo è connesso a ciascun altro nodo per mezzo di un salto singolo, per definizione si parla di **rete a maglia completa** (*full mesh*) altrimenti si ha una **rete a maglia parziale** (*partial mesh*). Una rete mesh, anche parziale, presenta di norma un certo grado di ridondanza nei collegamenti che possono essere anche attivati in modo dinamico; questa è una proprietà particolarmente utile sia per ragioni di affidabilità di rete che per assicurare vantaggi nell'instradamento del traffico.

Per realizzare le suddette configurazioni di rete fissa i collegamenti wireless operano spesso alle lunghezze d'onda delle microonde (oltre 1 GHz) e usano antenne direttive per collimare il fascio irradiato e, quindi, aumentare la lunghezza del collegamento e ridurre la potenza irradiata e le interferenze. A seconda delle frequenze impiegate, questi collegamenti possono coprire distanze che vanno da poche centinaia di metri (tipicamente alle frequenze oltre 10 GHz) fino ad alcune decine di chilometri (alle frequenze dell'ordine del GHz o inferiori); considerato l'attuale stato della tecnologia, la capacità di traffico del singolo collegamento wireless può anche raggiungere il Gbit/s.

### 3.2. ARCHITETTURE WIRELESS

Rispetto a quelle cablate, le reti wireless godono dell'importante proprietà di consentire, se il servizio lo richiede, la mobilità dei nodi e ciò ha effetto anche sulle architetture di rete<sup>8</sup>. Sovente si fa riferimento alla seguente classificazione delle architetture di rete wireless:

<sup>8</sup> Quando si parla di architettura solitamente ci si riferisce ad un sistema che risponde ad un determinato standard (o insieme di standard), mentre la topologia rappresenta soltanto la configurazione astratta delle possibili connessioni.

- Reti dotate di infrastruttura
  - Architetture a singolo salto
  - Architetture a salti multipli
    - di tipo “relay”
    - di tipo “mesh”
- Reti prive di infrastruttura (o “ad hoc”)
  - Architetture per reti fisse di sensori
  - Architetture per reti mobili.

Una rete dotata di infrastruttura (o “infrastrutturata”) classifica i nodi in due tipologie: le Stazioni Radio Base (SRB), nodi fissi che offrono l'interfaccia con le altre reti di telecomunicazione, e i terminali d'utente, che possono essere fissi o mobili, e che chiameremo in seguito Terminali Radio d'Utente (TRU).

A differenza delle reti infrastrutturate, le reti “ad hoc” non presentano nodi speciali di interfaccia e, quindi, tutti i nodi (fissi e/o mobili) hanno lo stesso livello gerarchico. Nel seguito si offrono alcuni approfondimenti sulle architetture di rete wireless con e senza infrastruttura.

### 3.2.1. ARCHITETTURE A SINGOLO SALTO

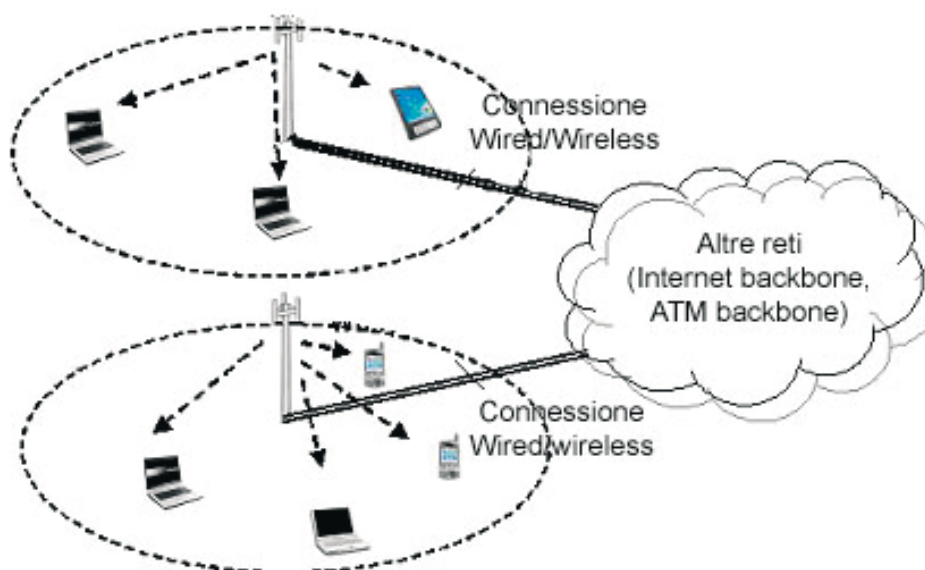
Nelle reti wireless infrastrutturate è molto impiegata la topologia a stella che, nel caso specifico, si attua con un'architettura punto-multipunto, PMP (*point multi-point*). La configurazione topologica cui si riferisce l'architettura PMP prevede, in un sito centrale, la SRB fissa che, per connettersi con tutti i nodi periferici, può usare un'unica antenna dotata di fascio molto largo (idealmente omnidirezionale nel piano orizzontale) oppure più antenne (tipicamente due o tre) che ne settorizzano l'area di competenza. I numerosi TRU possono essere fissi<sup>9</sup> presso l'abitazione o l'ufficio dell'utente e, tipicamente, le antenne relative sono poste in cima agli edifici; alternativamente, alcuni terminali, o anche tutti, possono essere dotati di mobilità nell'area di copertura della SRB. Mediante tale configurazione i nodi condividono il mezzo di propagazione e i segnali inviati dal nodo centrale possono essere ricevuti da tutti gli altri: a seconda del servizio, nel collegamento in discesa (*downlink*), ossia nel verso SRB-TRU, essi possono essere destinati ad un singolo nodo, oppure ad uno specifico gruppo di destinatari (*multicast*), o infine a tutti i nodi di rete (*broadcast*). Reciprocamente, nel collegamento in salita, nel verso TRU-SRB (*uplink*), il segnale inviato dal terminale è destinato unicamente alla SRB dedicata all'area di servizio ove esso è collocato.

Le configurazioni PMP possono ad esempio essere impiegate per erogare a nodi fissi servizi a larga banda (per diffusione TV, accesso ad Internet, etc.) in modalità sia unidirezionale che bidirezionale. In questi casi nel sito centrale i sistemi spesso trasmettono

<sup>9</sup> In tal caso prendono spesso il nome di CPE (*customer premises equipment*).

nel *downlink* su un unico canale di andata il segnale multiplo destinato all'insieme dei terminali remoti; questi ultimi, quando occorre il canale di ritorno, utilizzano l'*uplink* in compartecipazione mediante una delle numerose tecniche di accesso multiplo disponibili per le trasmissioni verso il sito centrale ove è collocata la SRB.

Nei sistemi radiomobili le architetture PMP di solito realizzano coperture d'area di tipo cellulare in cui la singola SRB ha il compito di servire numerosi terminali mobili, anche distanti molti chilometri e l'area di servizio è suddivisa in "celle" ciascuna delle quali viene servita da una data SRB. In *Figura 3.2* è rappresentata una semplice rete con due sole celle in cui i terminali sono serviti in configurazione PMP. Nelle configurazioni cellulari con reti punto-multipunto si deve effettuare la gestione dello spettro radio disponibile: sarà comunque necessario il controllo delle interferenze conseguenti all'aleatorietà della propagazione e alla necessità del riuso di frequenza in celle inevitabilmente tra loro non troppo lontane.



*Figura 3.2 - Architettura di rete PMP.*

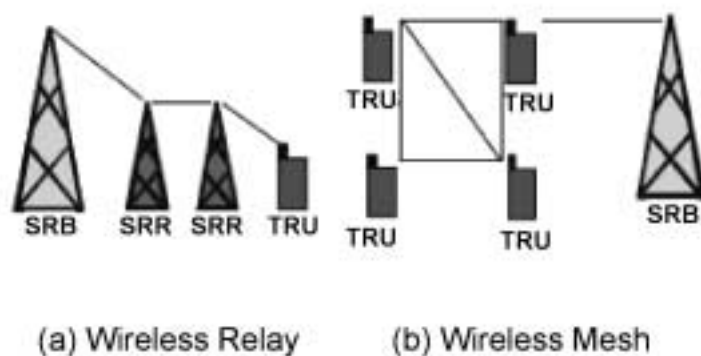
### 3.2.2. ARCHITETTURE A SALTII MULTIPLI

La comunicazione via radio a doppio salto consente di trasferire un messaggio dalla sorgente alla destinazione anche quando i due terminali interessati non sono in reciproca visibilità, grazie all'intervento di un terminale collocato in posizione intermedia. Generalizzando al caso dei salti multipli, ci si convince agevolmente che la portata dei collegamenti può anche essere potenziata in modo significativo e l'area di copertura radioelettrica della rete estesa senza necessità di aggiungere altre SRB. Occorre tuttavia considerare con attenzione il massimo numero di salti che possono essere attuati che determina il ritardo di trasmissione e quindi la latenza della rete: nella maggior parte dei casi più di due o tre salti non risultano in pratica accettabili.

Un altro vantaggio delle reti che usano le comunicazioni con salti multipli consiste nella possibilità di migliorare le prestazioni con tecniche cooperative di rilancio che consistono nel trasmettere simultaneamente il messaggio attraverso differenti percorsi e di combinarli o selezionarli in ricezione.

Un'architettura di rete a salti multipli può operare secondo due modalità: una prima modalità di comunicazione wireless tra terminali è realizzata dall'architettura a rilancio, ossia *Wireless Relay* (WR); la seconda soluzione è rappresentata da una rete di tipo a maglia, ovvero una rete *Wireless Mesh* (WM).<sup>10</sup>

La *Figura 3.3* illustra le basilari caratteristiche delle due architetture WR e WM [47]: entrambe includono sia le SRB per l'interfaccia con le reti cablate che i TRU, fissi o mobili. Nel caso delle reti a rilancio l'infrastruttura di rete include Stazioni Radio di Rilancio (SRR) che possono essere di proprietà dell'operatore di rete; a differenza della SRB, però una SRR non è direttamente connessa all'infrastruttura cablata ed è dotata solo delle funzionalità minime che sono strettamente necessarie per supportare le comunicazioni a salti multipli. L'aspetto importante di questa architettura di rete, che la distingue da quella WM, è che il traffico è sempre comunque diretto o proviene da una SRB: in altri termini, come nel caso delle reti a singolo salto, anche in questa configurazione di rete, che la generalizza, non sono ammessi percorsi da un TRU ad un altro che non includano almeno una SRB.



*Figura 3.3 - Architetture di rete: (a) a rilancio; (b) a maglia.*

### **3.2.2.1. Reti wireless a rilancio (relay)**

La struttura di rete WR prevede la presenza di unità SRR deputate alla memorizzazione ed al rilancio dei messaggi di utente verso la SRB che serve l'area (e a cui è demandata, eventualmente, la connessione con le altre reti di telecomunicazioni). Perciò tutti i percorsi di comunicazione nella rete WR si devono chiudere sull'unica Stazione radio base

<sup>10</sup> Mentre l'architettura WR è in corso di esame nell'ambito del gruppo di lavoro IEEE 802.16j per il Wi-MAX, l'architettura WM è alla base dell'estensione degli standard per il Wi-Fi (IEEE 802.11s) e per il Wi-MAX (IEEE 802.16-2004).

servente che gestisce le procedure che realizzano l'inoltro del traffico. Pertanto, le procedure che realizzano l'inoltro del traffico in tale rete richiedono di agire a livello protocollare MAC (*medium access control*), senza prevedere meccanismi di instradamento: in altri termini la connettività in una rete Wireless Relay è assicurata al solo livello protocollare di collegamento (*OSI layer 2*). Tra le caratteristiche principali di un'architettura di rete WR citiamo:

- la compatibilità all'indietro, ovvero la possibilità per un terminale fisso o mobile conforme ad uno standard preesistente di architettura PMP di operare senza modifiche nella nuova struttura di rete con rilancio dei pacchetti;
- l'inammissibilità di percorsi diretti per la comunicazione tra terminali (come per le reti PMP convenzionali);
- la flessibilità operativa della SRR che può essere fissa, trasportabile o mobile, può essere completamente trasparente o può memorizzare i pacchetti degli utenti ad essa collegati per un successivo inoltro (*store & forward*).

La possibilità di inoltro simultaneo del pacchetto attraverso percorsi di comunicazione diversi a partire da SRR diverse che coprono lo stesso terminale (*Cooperative Relay*) consente inoltre di migliorare le prestazioni radio attraverso l'uso di tecniche di diversità in ricezione alla SRB (vedi Appendice B).

Una rete WR, pertanto, consente di estendere la copertura soprattutto in aree geografiche ampie, di migliorare il throughput e la qualità di servizio (QoS) anche per utenti collocati al bordo della cella, di aumentare la capacità di sistema, di assicurare l'adeguata durata delle batterie dei terminali e, infine, di ridurre complessità e costi del sistema soprattutto in fase di avvio della rete.

A fronte dei vantaggi, per questo tipo di reti esistono, però, anche limitazioni. In primo luogo, nell'ipotesi in cui tutti i collegamenti abbiano la stessa capacità di trasmissione e supponendo di ripartire in modo uguale le risorse tra i nodi, si ha un frazionamento della banda disponibile nel transito attraverso il singolo nodo: di conseguenza la banda offerta agli utenti serviti dalla generica SRR dipende dal numero di salti che il messaggio inviato da un utente verso la SRB deve compiere (di regola, non sono considerati attuabili più di tre salti). In secondo luogo, se una SRR va fuori servizio, parte dell'area di copertura di competenza della SRB potrebbe risultare non coperta e non è possibile modificare l'instradamento dei pacchetti verso altri nodi per la ritrasmissione.

### **3.2.2.2. Reti wireless a maglia**

Per ovviare, almeno in parte, ai due inconvenienti appena citati, da cui è affetta l'architettura Wireless Relay, si può considerare un'altra architettura di rete, detta *Wireless Mesh* (WM) [48], che opera a livello protocollare di rete (*OSI layer 3*): i nodi, in questo caso, realizzano funzioni di instradamento dei messaggi e non semplicemente funzioni di rilancio, come nel caso delle SRR delle architetture WR. Nelle reti WM tutti i terminali, o anche soltanto alcuni di essi, possono comportarsi come nodi in grado di ricevere,

instradare e ritrasmettere verso gli altri nodi i pacchetti ricevuti da qualunque terminale. Ciò consente ad ogni terminale sorgente di raggiungere il destinatario per mezzo di salti multipli anche al di fuori della propria zona di copertura radio.

In altre parole, nelle reti WM, alcuni o tutti i terminali sono in grado di comportarsi come nodi di rete di pari livello gerarchico in grado di ricevere, instradare e ritrasmettere verso gli altri nodi i messaggi ricevuti da qualunque altro terminale. Inoltre in una rete WM possono coesistere nodi che non possiedono questa funzionalità e che, pertanto, sono terminali più semplici ove inizia o termina la comunicazione. I nodi quindi si distinguono in “*Mesh router*” e “*Mesh client*”, a seconda che rispettivamente possiedano o non possiedano le funzionalità di instradamento. Pertanto nelle reti Wireless Mesh il processo di instradamento è controllato non solo dalle SRB ma anche dai TRU. Ciascun nodo può rimandare pacchetti in appoggio ad altri nodi che possono non trovarsi entro l'area di copertura del terminale di destinazione. Da un altro punto di vista si può chiamare *Mesh SRB* un terminale che presenta diretta connessione con le reti esterne alla rete WM; tutti gli altri terminali viceversa sono *Mesh TRU*.<sup>11</sup>

In generale la struttura di una rete WM non è pianificata: attraverso opportune procedure, i terminali in rete sono in grado di rilevare la presenza di altri nodi nell'area di propria copertura e di creare, di volta in volta, le necessarie interconnessioni, in base alle specifiche esigenze di comunicazione e di traffico. Solitamente in una rete WM i nodi si aggregano e si coordinano per realizzare una dorsale di comunicazione attraverso la quale fluiscono anche i segnali degli altri terminali, in particolare di quelli più semplici. Infine mentre, come si è visto, nell'architettura PMP la comunicazione avviene soltanto tra SRB e TRU, nel modo operativo WM due terminali qualsiasi in reciproca visibilità possono comunicare anche direttamente tra loro: la flessibilità di un'architettura WM consente di definire, ove desiderato, di volta in volta e dinamicamente, le SRB e, pertanto, da questo punto di vista l'architettura PMP può essere considerata un caso particolare di quella WM.

L'estensione di funzionalità dalla semplice operazione di rilancio a quella di instradamento determina però l'aumento della complessità realizzativa e dei costi. Per gestire al meglio la complessità di questa rete solitamente si richiede che i *Mesh router* che la compongono siano in grado di:

- autoconfigurarsi, soprattutto quando un nuovo apparato viene inserito all'interno della rete già operativa;
- reinstradare in modo ottimale i pacchetti degli utenti tenendo conto dello stato di occupazione dei singoli collegamenti al fine di garantire agli utenti la desiderata QoS;
- reinstradare i pacchetti anche in caso di guasto di uno o più nodi della rete.

<sup>11</sup> Nel linguaggio adottato nelle specifiche della famiglia IEEE 802, queste due tipologie vengono denominate rispettivamente “*Mesh BS*” (ossia Mesh Base Station) e “*Mesh SS*” (Mesh Subscriber Station).

### 3.2.3. ARCHITETTURE "AD HOC"

Come si è visto, una rete Wireless Mesh, pur essendo flessibile e autoconfigurabile, prevede comunque che i terminali di utente accedano alle reti di telecomunicazioni soltanto attraverso alcuni nodi della rete che sono fissi e predeterminati. Tuttavia, in alcuni scenari operativi è utile disporre di una rete di terminali, gerarchicamente uguali, che possa allestirsi spontaneamente sulla base delle esigenze specifiche della situazione. Tale rete, che può perfino essere autonoma da quella dell'operatore di telecomunicazioni che serve il territorio, deve in generale configurarsi come "rete ad hoc". In alcuni ambienti o situazioni operative, poi, non è neppure presente un'infrastruttura di telecomunicazioni a cui appoggiarsi: in queste situazioni è conveniente che ogni nodo della rete possa decidere in autonomia di instaurare il collegamento direttamente con il terminale, o i terminali, di interesse nel momento in cui ne ha bisogno e per la durata strettamente necessaria.

Le potenzialità di tali reti sono molto attraenti per un ampio numero di applicazioni sia commerciali che militari. Infatti, i vantaggi di una rete priva di infrastruttura sono i seguenti:

- rapido dispiegamento nello scenario operativo senza necessità di pianificazione;
- riconfigurazione autonoma da parte dei nodi, senza necessità di un nodo centrale che gestisca l'organizzazione della rete;
- tolleranza ai guasti, in quanto il malfunzionamento di qualunque nodo non danneggia il resto della rete.

Le azioni critiche necessarie alla formazione e al mantenimento di tale rete sono: la rivelazione dei nodi e dei loro servizi (ad esempio stampanti e proiettori in un ambiente di ufficio, oppure sensori di temperatura, pressione, umidità in un ambiente remoto); l'instradamento dei messaggi per mezzo di opportuni algoritmi robusti rispetto alle variazioni di configurazione. In una rete ad hoc, di regola i nodi non hanno alcuna conoscenza a priori della struttura della rete in cui si trovano, che devono scoprire almeno parzialmente comunicando direttamente con i nodi adiacenti (nodi che si trovano, per definizione, entro l'area di copertura del nodo in questione).

Le reti ad hoc si classificano in due categorie, che condividono i principi fondamentali ma che presentano specificità dovute ai problemi tecnici delle rispettive aree applicative:

- Reti fisse di sensori, o WSN (*wireless sensor network*);
- Reti mobili, o MANET (*mobile ad hoc network*).

Se i nodi presenti nella rete ad hoc sono dotati di sensori in grado di rivelare e trasmettere informazioni legate a oggetti fisici o a parametri fisico-chimici di una certa area, si parla di rete di sensori. Si tratta, in questi casi, di reti in cui i nodi possono anche trovarsi in posizione remota o arbitraria, ma comunque generalmente fissa. Queste reti sono previste per trasmettere dati a bassa velocità e sono sovente progettate sulla base dei requisiti della sopravvivenza e del basso consumo di energia.

All'opposto, le reti ad hoc con nodi mobili (MANET) sono caratterizzate dalla adattabilità, ossia dalla capacità di operare in ambienti fortemente dinamici, come ad esempio in caso di catastrofi naturali o in altre situazioni d'emergenza in cui occorre allestire la rete rapidamente, anche in assenza di altre infrastrutture di telecomunicazioni. Spesso le MANET devono trasmettere voce, video e dati ad alta velocità e perciò un requisito è rappresentato dalla capacità di trasmissione a larga banda.

### **3.2.3.1. Reti wireless di sensori**

In generale, una rete di sensori è composta da un numero, anche grande, di nodi-sensore di ridotte dimensioni e, su piccole distanze, tra loro direttamente comunicanti [49]. La rete possiede una serie di caratteristiche quali la capacità di autoconfigurarsi, di elaborare, almeno in parte, localmente i dati raccolti e di reinstradare il traffico, ma presenta anche una serie di vincoli quali l'energia limitata e la scarsa quantità di memoria residente nei nodi, insieme alla significativa probabilità di guasto e alla impossibilità in molte applicazioni di provvedere alla riparazione o alla sostituzione del nodo difettoso. Le configurazioni di una rete di sensori sono condizionate dalla tipologia dei suoi nodi-sensore ovvero dai vincoli imposti dal sistema di elaborazione, dalla memoria e dalla sorgente di energia.

A causa, infatti, delle ridotte capacità trasmissive, necessarie per salvaguardare le batterie (nella maggior parte dei casi non alimentabili localmente né ricaricabili), spesso i sensori devono ricorrere alle comunicazioni a pacchetto a salti multipli (*multi-hop*), a partire da un nodo vicino fino ad arrivare al nodo di destinazione. In *Figura 3.4* è riportato un esempio in cui il nodo A trasmette dati verso il destinatario utilizzando una serie di collegamenti intermedi con i nodi B, C, D, E fino al nodo di interfaccia (*Sink*) con una rete esterna. Le strategie di gestione del traffico nella rete di sensori possono essere molto differenti tra loro e dipendono sostanzialmente dalle caratteristiche e dai vincoli che ogni singolo nodo possiede. Non è insolito che, in reti di sensori organizzate a maglia, messaggi tra gli stessi due nodi compiano percorsi differenti in funzione di [46]:

- stato variabile di congestione della rete,
- frequenza con cui la rete si autoriconfigura,<sup>12</sup>
- quantità di memoria presente nel nodo per le tabelle di instradamento del traffico,
- potenza trasmissiva di cui il nodo dispone,
- eventualità di guasti, batterie scariche, etc.

<sup>12</sup> Nel caso di rete di sensori, la mobilità dei nodi è relativamente ridotta (a differenza delle MANET) ma la variabilità del numero di nodi nella rete è legata soprattutto all'attività dei singoli sensori.

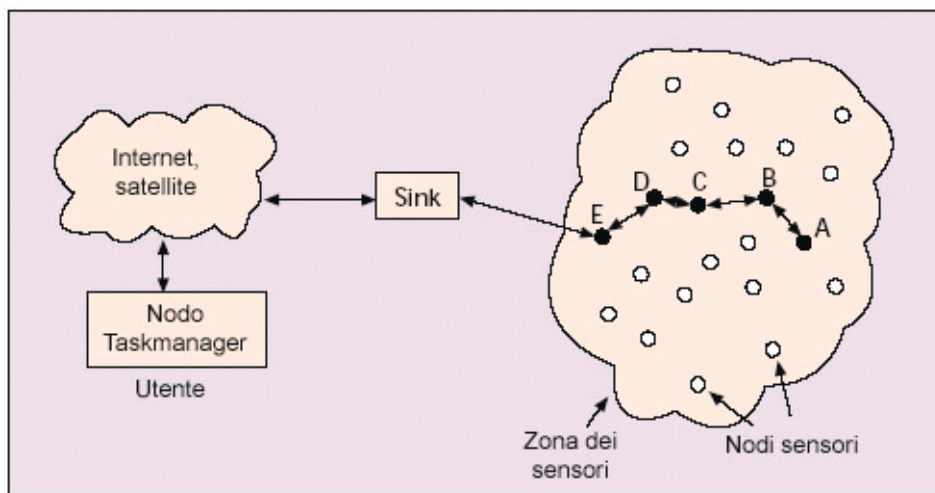


Figura 3.4 - Esempio di trasmissione ad hoc con salti multipli.

In *Figura 3.5* è riportato un esempio di applicazione con una architettura centralizzata (con topologia a stella) di una rete di sensori domestica [4.4]: in questo caso i sensori (di posizione, di temperatura, di luminosità, etc.) presenti in rete acquisiscono informazioni che sono gestite da un controllore centrale locale (*home controller*), mentre la rete può essere autonoma oppure connessa a Internet attraverso lo stesso controllore.

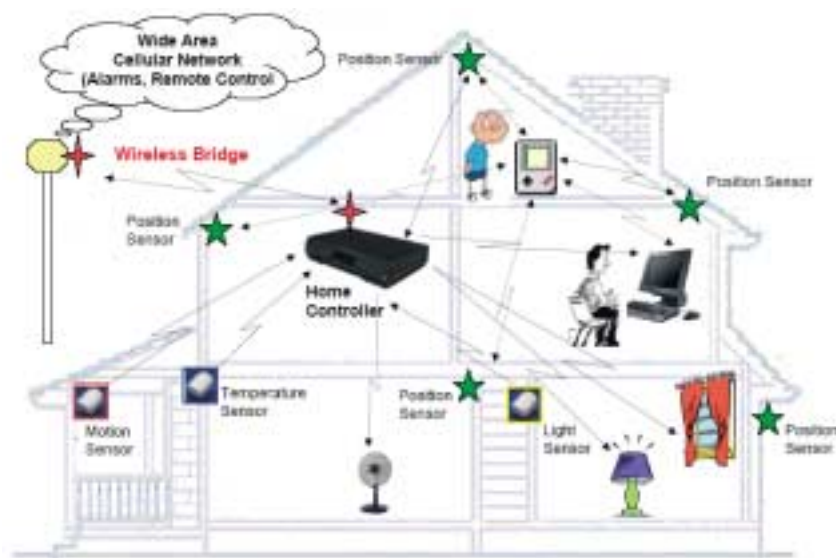


Figura 3.5 - Esempio di rete di sensori.

molti fattori, alcuni dei quali non sempre sono rilevanti nelle reti di telecomunicazioni [46]:

### **1) Tolleranza all'errore nella comunicazione**

Il fallimento nella comunicazione tra due nodi-sensore non deve inficiare le funzionalità della rete, ovvero la rete deve sempre essere in grado di svolgere i propri compiti senza alcuna interruzione del servizio dovuta al cattivo funzionamento di parte di uno o più dei suoi nodi.

### **2) Scalabilità**

La rete deve poter gestire da pochi sensori ad un numero anche molto elevato, a seconda dei requisiti operativi e dei differenti raggi di copertura dei singoli nodi-sensore.

### **3) Costi di produzione**

Il costo dei singoli nodi-sensore deve essere basso; se il costo della rete wireless è maggiore rispetto a quello di una rete di sensori tradizionali (in tecnologia cablata), questa in molti casi non si giustifica.

### **4) Limitazioni hardware**

Di solito il nodo-sensore wireless è composto da quattro unità (sensore, elaboratore, ricetrasmittitore e unità di alimentazione): può essere necessario integrare queste quattro unità in un modulo di dimensioni e peso ridotti che deve consumare poca potenza, essere adattabile all'ambiente, essere autonomo e richiedere poca manutenzione.

### **5) Organizzazione della rete**

In base alla tecnologia di trasmissione prescelta, i nodi-sensore devono essere posti in posizioni definite, o comunque con una certa logica, per ridurre ad esempio il rischio di atti di vandalismo o di sabotaggio della rete. Inoltre ogni aggiunta di ulteriori nodi-sensore oppure lo spostamento di quelli già presenti non deve limitare il corretto funzionamento della rete.

### **6) Ambiente operativo**

I nodi-sensore possono essere utilizzati negli ambienti più disparati: su aeromobili o piattaforme aerostatiche (in questi casi devono funzionare anche a molti chilometri di altezza dal livello del mare), su mezzi navali (devono funzionare in acqua), in spazi angusti oppure ampi, in condizioni estreme (ad alte temperature). Pertanto, non essendo a priori note le condizioni di impiego, essi devono essere progettati in modo da poter operare in condizioni ambientali anche molto differenti.

### **7) Spettro radio**

I nodi-sensore di una rete wireless basata sulle comunicazioni multi-hop utilizzano lo spettro radio per comunicare; la modalità di trasmissione (banda di frequenza, potenza di trasmissione, etc.) deve essere compatibile con la regolamentazione dell'uso dello spettro in tutto il mondo.

### **8) Risparmio energetico**

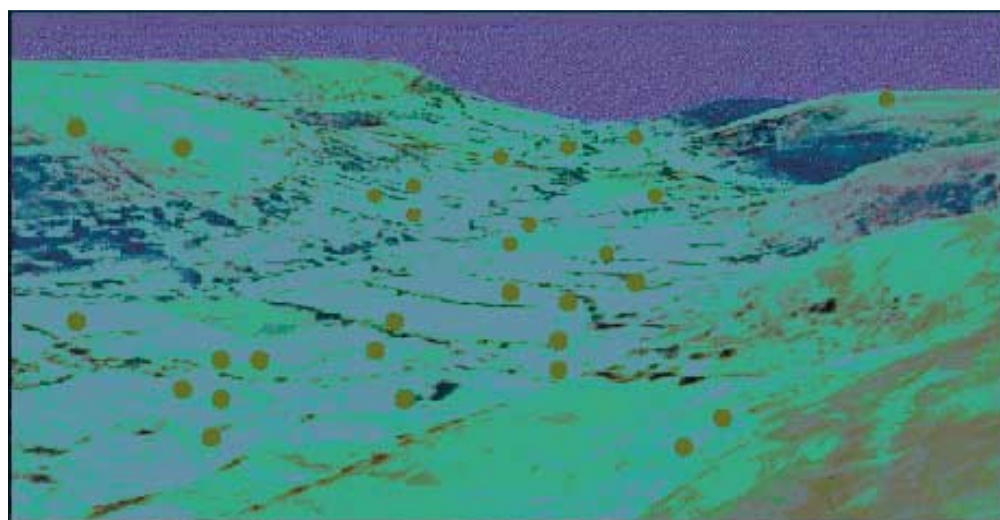
Essendo dispositivi microelettronici, i nodi-sensore wireless possono essere equipaggiati

soltanto con una sorgente di alimentazione limitata e, in alcuni scenari operativi, la ricarica può anche essere impossibile. Quindi, il tempo di vita di un sensore è generalmente strettamente dipendente dalla durata della sua batteria. Inoltre, in una rete di sensori basata sulle comunicazioni multi-hop, ogni nodo-sensore ha la duplice funzione di fornitore di dati (come sensore) e di “router” per i dati di altri nodi-sensore. Il malfunzionamento di una parte dei nodi-sensore genera inevitabilmente una riorganizzazione nei collegamenti disponibili e nelle strategie di reinstradamento dei flussi informativi. Quindi, il risparmio energetico e la gestione dell'alimentazione assumono un ruolo primario nel progetto della rete.

### **3.2.3.2. Reti mobili “ad hoc”**

Un tipo di architettura di rete ad hoc molto studiato negli ultimi anni è noto come MANET, sistema autonomo di nodi mobili connessi tra loro mediante collegamenti wireless. Ciascun nodo della rete può comunicare con ogni altro nodo realizzando una rete radio a pacchetto multi-hop che mantiene attive le connessioni secondo una strategia decentralizzata.

I pacchetti voce, video, dati scambiati tra i nodi possono seguire percorsi diversi. Ogni nodo della rete, infatti, è in grado di accettare pacchetti e di reinstrararli verso il nodo di destinazione. La principale peculiarità di una rete MANET risiede nella sua capacità di auto-riconfigurarsi, mantenendo comunque sempre attiva la connessione tra i nodi della rete.



*Figura 3.6 - Scenario di rete MANET.*

Le reti MANET (*Figura 3.6*) vengono allestite all'occorrenza ed utilizzate in ambienti fortemente dinamici, senza necessità di infrastruttura precostituita: tale soluzione risulta particolarmente adatta nelle comunicazioni di emergenza. Per le MANET di solito si assumono i seguenti requisiti operativi:

- Poiché i nodi sono mobili, la topologia della rete può cambiare rapidamente e in modo imprevisto. Essendo decentralizzata la configurazione di rete, tutte le sue funzionalità, inclusa la scoperta della topologia e l'instradamento dei messaggi, devono essere realizzate dagli stessi nodi: ciò implica la necessità di incorporare le funzionalità di instradamento in ogni nodo.
- La rete richiede di disporre di algoritmi distribuiti efficienti per determinare la propria organizzazione, la struttura dei collegamenti e le modalità di instradamento. Tuttavia la determinazione di percorsi di instradamento e la consegna dei messaggi in un ambiente decentralizzato, in cui la topologia di rete varia continuamente, è un problema ancora aperto. Mentre il percorso minimo (secondo una prefissata funzione costo) rappresenta la soluzione ottima in una rete statica, questo approccio non può essere facilmente esteso al caso delle MANET in cui fattori quali la qualità di trasmissione variabile, la perdita di percorso (*path loss*) variabile, gli effetti discorsivi dell'ambiente di propagazione (*fading*), l'interferenza multiutente, il consumo di potenza e i cambiamenti di topologia divengono aspetti importanti e la rete dovrebbe essere in grado di alterare la topologia in modo da alleviare le penalità derivanti da uno o più di questi aspetti.

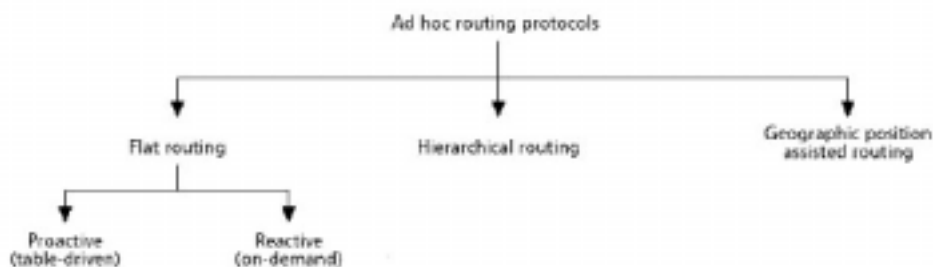
Gli attuali studi sulle MANET si concentrano sulla ricerca di efficienti protocolli di routing, tali da consentire di trarre il massimo vantaggio possibile dalla caratteristica dell'instradamento con salti multipli secondo necessità tra terminali autonomi della rete mobile. Un aspetto sfidante del progetto della rete consiste nel definire tecniche di segnalazione efficienti per realizzare il *routing* in modalità distribuita, senza aumentare inutilmente il sovraccarico di trasmissione nel canale. I protocolli di routing proposti sono basati sulle seguenti assunzioni:

- *Informazione di stato della rete.*  
Occorre chiedersi quanta sia l'informazione sulla topologia della rete che può effettivamente essere resa disponibile in ogni nodo. Si hanno perciò:
  - protocolli basati sullo stato del collegamento, in cui ogni nodo pubblica lo stato delle proprie connessioni con ciascuno dei nodi vicini e questa informazione si propaga entro la rete, in modo tale che ciascun nodo possa calcolare da solo i percorsi da un estremo all'altro sulla base della conoscenza della topologia di rete;
  - protocolli basati sul destinatario, in cui i nodi non tengono aggiornata l'informazione sulla topologia della rete completa ma soltanto un "vettore di distanza" che viene aggiornato per i soli percorsi attivi; il vettore indica le distanze in termini di numeri di salti verso altri nodi e il nodo successivo in un percorso efficiente verso ciascuna destinazione.
- *Pianificazione dell'instradamento.*  
Occorre anche domandarsi con quale frequenza l'informazione di instradamento può essere aggiornata in un nodo per ciascun destinatario. Ciò conduce a distinguere le strategie di routing gerarchiche da quelle non gerarchiche (*flat routing*). Il

routing gerarchico divide i router in aree di competenza e ogni router è in grado di instradare ovunque i pacchetti nella propria area ma non ha conoscenza dei nodi nelle altre regioni. Evidentemente si tratta di un approccio che poco si presta a situazioni fortemente dinamiche. Nel caso del flat routing invece si distinguono:

- protocolli proattivi (o tabellari), in cui i nodi si scambiano le informazioni di percorso periodicamente e/o in risposta a un cambiamento di topologia della rete; questi protocolli, che richiedono un notevole traffico di “overhead”, hanno un vettore di percorso o di distanza pronto per essere usato per qualsiasi nodo destinazione;
- protocolli reattivi (o su domanda), in cui i percorsi sono sviluppati soltanto quando è richiesto da un processo di scoperta, o “route discovery”, che introduce un elemento di ritardo ma minimizza il sovraccarico di traffico.

La *Figura 3.7* mostra una possibile tassonomia dei protocolli per reti MANET; la classificazione include per completezza la classe di protocolli di routing che fanno uso delle informazioni di posizione geografica del nodo. Sono stati proposti molti protocolli per instradamento nelle reti ad hoc con differenti livelli di complessità e di prestazione. Ogni famiglia di protocolli include numerosissimi elementi e l'argomento di ricerca è ancora aperto.



*Figura 3.7 - Possibile classificazione di protocolli di routing in reti ad hoc.*

### 3.3. CONVERGENZA DELLE TECNOLOGIE DI ACCESSO

Lo sviluppo di molteplici tecnologie d'accesso differenti apre per l'utente la possibilità di estensione del servizio per mezzo di reti wireless differenti, eventualmente anche gestite da diversi gestori wireless, i cosiddetti WISP (*Wireless Internet Service Provider*), a condizione che sia possibile assicurare la connettività trasparente mediante reti eterogenee. L'obiettivo più interessante è la continuità di servizio in mobilità con mantenimento della sessione attiva, indipendentemente dalla tecnologia d'accesso e dal gestore, ma ciò implica la realizzazione di soluzioni di “seamless handover” che consentano l'accesso ai servizi di rete senza discontinuità e quindi senza impatto sul cliente. Così facendo, si libera il cliente dalla gestione di molteplici profili di accesso, dalle operazioni di inizia-

lizzazione e, infine, dai disagi causati dal non poter mantenere stabilmente attiva la propria sessione.

L'integrazione trasparente dei servizi di connettività richiede la disponibilità di terminali "multimodali" delle dimensioni di un telefono cellulare, in grado di operare con tecnologie di accesso differenti, e richiede che i sistemi siano dotati di opportuni protocolli di handover.

### 3.3.1. STRUTTURA A STRATI DELLE ARCHITETTURE E MECCANISMI DI HANDOVER

La tendenza all'interoperabilità tra diverse tecnologie di accesso (cellulari, cordless, WLAN, di broadcasting, etc.) è favorita sia dalle aziende manifatturiere che dagli utenti i quali, già con il GSM hanno apprezzato attraverso il roaming i vantaggi della mobilità tra le reti e, con i terminali multibanda, quelli dell'estensione della copertura e della qualità del servizio. Inoltre, si prevede che in futuro gli utenti saranno dotati di un unico numero di identificazione utilizzabile in modo indipendente dalla tecnologia e ciò rappresenterà un altro elemento a favore della convergenza tecnologica.

Per realizzare la piena convergenza uno dei requisiti chiave è rappresentato dalla disponibilità di meccanismi di handover tra le differenti tecnologie di accesso. Si possono classificare le diverse tecnologie di accesso per strati come mostrato in *Figura 3.8*.

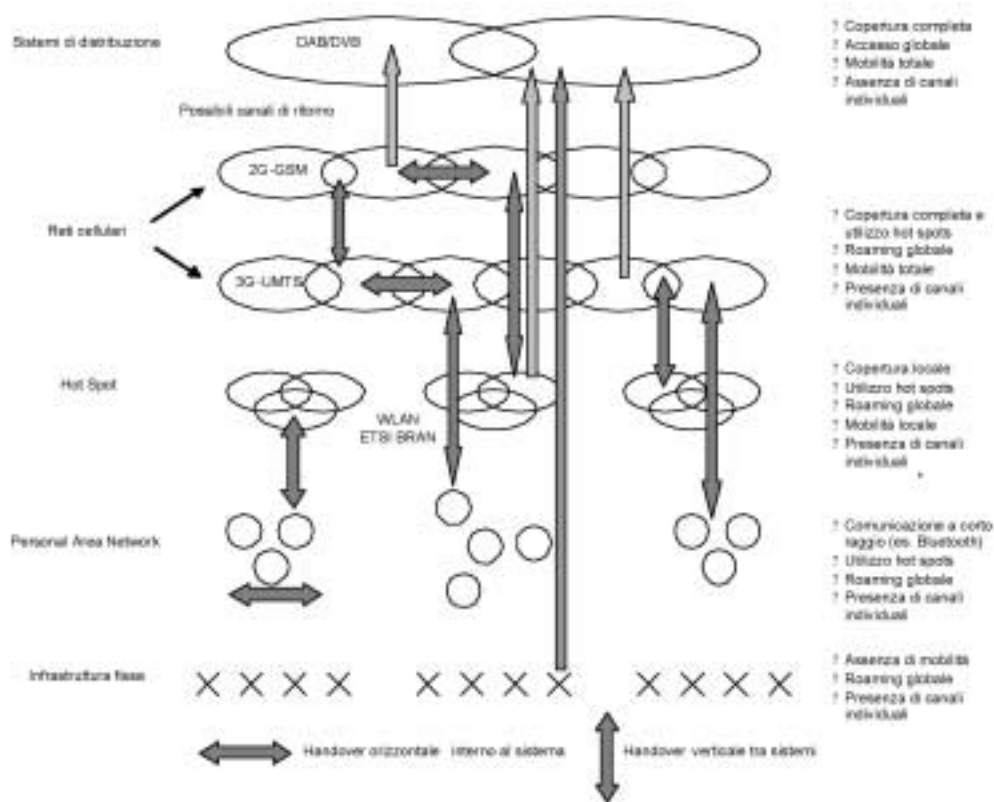


Figura 3.8 - Organizzazione a strati delle tecnologie di accesso mobili e fisse.

Gli strati illustrati in figura sono i seguenti:

- *Sistemi di distribuzione*: lo strato contiene le tecnologie radio utilizzate per servizi diffusivi tra i quali il DAB (*digital audio broadcasting*) e il *digital video broadcasting*, sia terrestre che via satellite (DVB-T, DVB-S) [36].
- *Reti cellulari*: esso raggruppa le tecnologie di accesso radio che adottano una copertura cellulare del territorio tra le quali il GSM e sue evoluzioni, l'UMTS [37], [38], il Wi-MAX [39], etc.
- *Reti di accesso con hot-spot*: lo strato include le tecnologie usate per i collegamenti tramite hot-spot, ossia WLAN [28], HiperLAN [7], etc.
- *Reti personali*: comprende tutte le tecnologie per collegamento a corto raggio tra le quali il Bluetooth [40], i telefoni cordless e le tecnologie per la realizzazione di reti di sensori (ZigBee [41], etc.)
- *Reti fisse*: contiene le tecnologie per l'accesso alla rete da postazioni fisse, tra le quali xDSL.

Le principali differenze tra le tecnologie wireless incluse nei vari strati consistono nella portata radio che può variare da pochi metri (tecnologie in area personale) fino a molte migliaia di km (satelliti). In una rete di accesso eterogenea globale, ossia basata su molteplici tecnologie, l'utente in un certo luogo deve poter accedere a servizi e applicazioni usando una o più tecnologie, a seconda di quali siano disponibili nell'area, effettuando in maniera automatica, tramite handover, una scelta tra queste e fruire così del servizio in modo ottimale.

Con il termine handover si indica il meccanismo che consente il mantenimento della sessione attiva transitando da un'area di copertura ad un'altra adiacente. Nei sistemi di telefonia mobile, come è noto, grazie all'handover il terminale può cambiare canale o stazione servente senza che la chiamata attiva venga abbattuta. Generalizzando questo concetto con l'aiuto della classificazione a strati delle tecnologie si definisce:<sup>13</sup>

- *Handover orizzontale*: il transito trasparente del terminale tra punti di accesso della stessa tecnologia o tra tecnologie appartenenti allo stesso strato, aventi caratteristiche simili per copertura e capacità come, ad esempio, gli standard Wi-Fi di tipo 802.11a e 802.11b;
- *Handover verticale*: il transito trasparente del terminale tra punti di accesso operanti con tecnologie differenti e collocati in differenti strati come, ad esempio, tra una rete Wi-Fi e una rete UMTS.

Le tecnologie classificate all'interno dello stesso strato generalmente offrono servizi di comunicazione con caratteristiche simili in termini di QoS, copertura, mobilità e sicurez-

<sup>13</sup> A questo proposito si osservi che i due termini "handover" e "roaming" assumono diversi significati. Il roaming ha il fine di assicurare la rintracciabilità dell'utente dalle reti radiomobili e si riferisce alle soluzioni che ne consentono la registrazione in reti differenti, ma senza assicurare la continuità della sessione attiva.

za. Tecnologie che appartengono a strati diversi possono avere requisiti e garantire prestazioni anche molto diverse.

Le strategie di esecuzione dell'handover orizzontale si possono suddividere in:

- *Hard handover*, quando il dispositivo termina la connessione con il punto di accesso attraverso il quale è servito e si collega con un nuovo punto di accesso.
- *Soft handover*, quando il dispositivo si collega simultaneamente a più punti di accesso (ovvero due siti differenti);
- *Softer handover*, quando il dispositivo si collega simultaneamente a più punti di accesso che fanno capo allo stesso sito.

Si può operare un'ulteriore suddivisione, valida sia per l'handover orizzontale che per quello verticale:

- *Handover reattivo*, che viene eseguito solo quando viene persa la connessione con il punto di accesso di servizio
- *Handover proattivo*, che prevede l'avvio della procedura prima che il segnale ricevuto dal punto di accesso di servizio venga perso con il vincolo che si trovi un nuovo punto di accesso con un segnale migliore.

Nel primo caso i tempi di handover sono più lunghi a causa della soluzione di continuità nel collegamento nella transizione tra punti di accesso; nel secondo caso i tempi diminuiscono ma aumenta il consumo di energia.

### 3.3.2. ARCHITETTURE DI RETE IBRIDE

Consideriamo, a titolo di esempio, un'architettura integrata Wi-Fi/Wi-MAX: il sistema Wi-Fi (IEEE 802.11) e il sistema Wi-MAX (IEEE 802.16) appartengono a due strati differenti nella classificazione delle tecnologie eseguita con la *Figura 3.8*. Si può pensare a due tipi di scenari di integrazione Wi-Fi/Wi-MAX.

Nel primo scenario, mostrato in *Figura 3.9*, il Wi-MAX è usato come connessione *backbone* tra diversi *access point* (AP) del Wi-Fi. La banda larga e la grande lunghezza del collegamento fanno del WIMAX una soluzione per il backbone flessibile e economicamente conveniente. Numerosi AP del Wi-Fi possono essere connessi alla rete di backbone per mezzo di molteplici Stazioni radio base del WIMAX. L'architettura di *Figura 3.9* è un'architettura ibrida gerarchica: in questo caso, infatti, il terminale presenta un'unica interfaccia radio (nell'esempio l'interfaccia è di tipo Wi-Fi) e il passaggio da un AP ad un altro presenta semplicemente un handover orizzontale.

Per assicurare un adeguato livello di QoS in questo contesto di rete le Stazioni radio base del Wi-MAX devono considerare il carico di traffico presente agli AP del Wi-Fi e allocare efficientemente le risorse radio sia in downlink che in uplink.

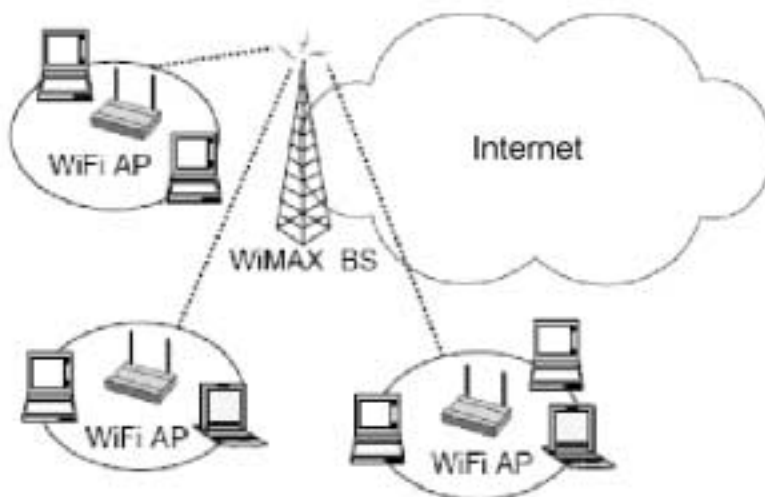


Figura 3.9 -Tecnologia Wi-MAX usata come backbone della rete Wi-Fi per l'accesso a Internet.

Nel caso della seconda architettura, mostrata in *Figura 3.10*, il Wi-Fi e il Wi-MAX forniscono accesso wireless complementare; in questo caso la rete è ancora di tipo ibrido, coinvolgendo due differenti tecnologie, ma in configurazione differente e parliamo di *rete ibrida non gerarchica*.

Gli utenti Wi-Fi/Wi-MAX devono impiegare terminali multimodali per poter transitare fra hot-spot Wi-Fi e celle Wi-MAX. Se si vuole che la sessione non sia abbattuta dovrà avvenirsi una forma di “seamless handover” del tipo del handover verticale fra Wi-Fi e Wi-MAX. Per assicurare la QoS in questa rete wireless integrata è necessario provvedere a mappare (e allocare durante l’handover) le diverse classi di QoS tra i servizi IEEE 802.11 e IEEE 802.16.

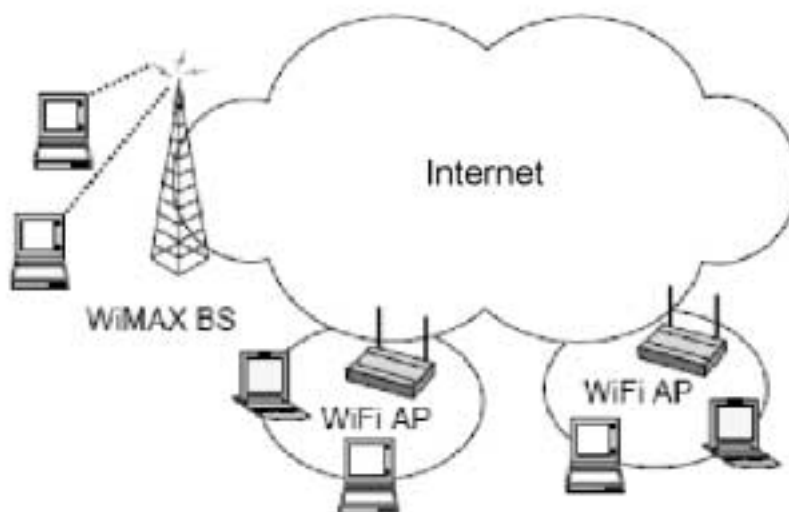
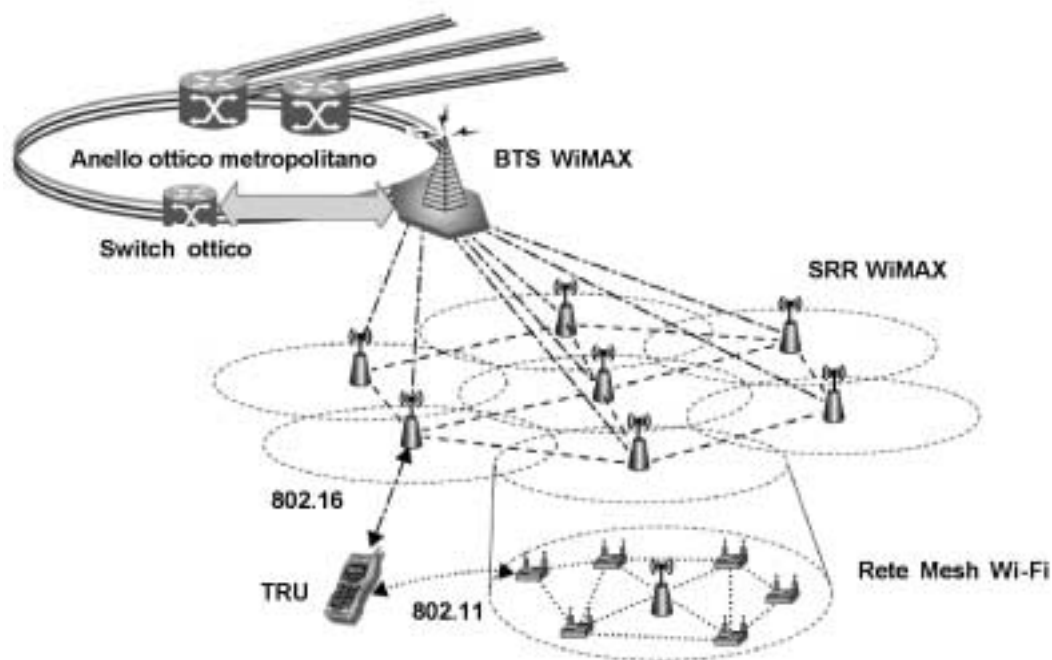


Figura 3.10 - Tecnologie Wi-MAX e Wi-Fi integrate per l'accesso alla rete Internet.

Una situazione più complessa combina reti cablate e reti wireless: un possibile candidato di questo tipo di rete ibrida consiste in una architettura composta da rete ottica, rete di trasporto Wi-MAX e rete Wi-Fi. Un esempio è mostrato in *Figura 3.11*. Al primo livello, un ring ottico in tecnologia WDM (*wavelength division multiplexing*) forma il nucleo fondamentale di una rete MAN; a livello intermedio, le Stazioni radio base del Wi-MAX (SRB) e le Stazioni di rilancio (SRR) formano la rete Wi-MAX (mobile multihop relay MMR) che rilancia il traffico tra il livello inferiore e la core network ottica. Il terzo livello consiste di una rete mesh Wi-Fi che fornisce le connessioni HDR (*high data rate*) direttamente all'utente finale.

Il traffico viene aggregato e distribuito attraverso punti di transizione che operano come "bridge" tra le diverse reti. In questa configurazione ibrida non gerarchica una speciale attenzione deve essere riservata ai nodi ottici che operano da switch della rete ottica WDM e, al contempo, come nodi d'accesso nella rete Wi-MAX, con il compito di trasferire il traffico tra la rete wireless e quella fissa.



*Figura 3.11 - Integrazione di rete ottica con Wi-MAX e Wi-Fi.*

### 3.3.3. "VOICE OVER WI-FI" E FUNZIONALITÀ DI HANDOVER ORIZZONTALE

Si può esaminare l'introduzione di nuove funzionalità nel Wi-Fi per rendersi conto delle prospettive e delle difficoltà di un approccio evolutivo all'interoperabilità tra i sistemi wireless.

Un obiettivo che ci si sta ponendo nell'ambito della tecnologia Wi-Fi è consentire l'handover orizzontale operando a livello MAC e adottando una strategia di tipo "hard handover". Una motivazione fondamentale per l'introduzione di questo servizio nel Wi-Fi è

offerta dalla sempre maggiore diffusione di applicativi VoIP che possono fornire il servizio di telefonia ormai anche in reti wireless, ossia le funzionalità “VoIP over Wi-Fi” (VoWi-Fi): pertanto VoWi-Fi è considerato una naturale evoluzione del VoIP. Nella *Figura 3.12* si mostra un tipico scenario aziendale per l'introduzione della telefonia “Voice over WLAN” [49] a fianco della più classica tecnologia VoIP cablata.

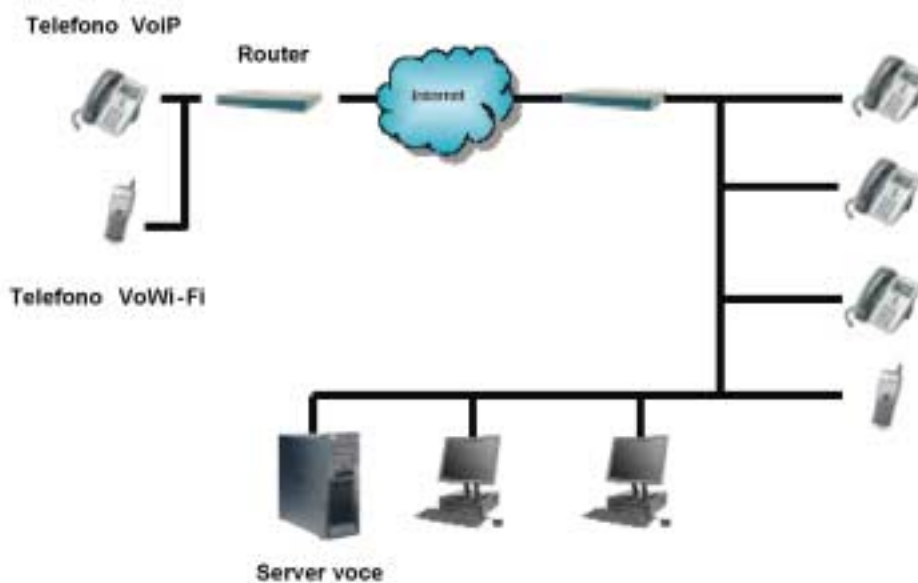


Figura 3.12 - Scenario aziendale con accesso “VoIP over Wi-Fi”.

Stante che le reti wireless basate su IEEE 802.11 non prevedono nativamente la mobilità, le problematiche da affrontare sono numerose, in parte già risolte dagli standard approvati ma in parte soltanto previste dagli standard in corso di redazione. Allo stato attuale è possibile una mobilità limitata alla funzionalità di *roaming*: l'utente che usa il proprio telefono VoWi-Fi a casa o in ufficio può portarlo con sé e usarlo in qualunque hot-spot Wi-Fi; il vantaggio per il viaggiatore d'affari consiste nella possibilità di effettuare telefonate via Internet a basso costo (e senza costi di roaming) ovunque possa trovare un hot-spot Wi-Fi (aeroporti, grandi alberghi, stazioni ferroviarie e esercizi pubblici, in ogni principale città nel mondo). Inoltre è già oggi possibile una limitata mobilità con funzionalità di handover, ma solo per la trasmissione dati.

Le difficoltà principali per l'introduzione di servizi VoWi-Fi in condizioni di piena mobilità per la voce e per gli altri servizi in real-time sono relative ai meccanismi di Qualità del Servizio (QoS) e ai problemi di sicurezza. Questo lo stato degli standard pertinenti e le problematiche che essi affrontano:

- *IEEE 802.11e* (approvato nel 2005) – Lo standard introduce il supporto alla QoS agendo a livello MAC e permettendo di differenziare il servizio offerto alle diverse applicazioni (servizi voce, dati e multimediali). Sulla sua base sono oggi già disponibili sul mercato prodotti VoWi-Fi.

- *IEEE 802.11f* (approvato nel 2003) – Questa raccomandazione (non è uno standard) migliora la gestione del roaming per mantenere stabile una connessione WLAN tra apparati diversi che afferiscono a segmenti di rete diversi per mezzo del protocollo IAPP (*Inter Access Point Protocol*). IEEE 802.11f, che consente le comunicazioni tra AP di differenti produttori, gestisce la registrazione in rete e lo scambio di informazioni quando l'utente è in roaming tra aree di copertura supportate da AP di produttori differenti.
- *IEEE 802.11k* (in corso, previsto per il 2Q-2007) – Con l'obiettivo di migliorare il Radio Resource Management, questo standard intende fornire informazioni per scoprire il migliore AP disponibile, al fine di migliorare la distribuzione del traffico nella rete.
- *IEEE 802.11r* (in corso) – Questo standard dovrà specificare le transizioni veloci nel BSS (*Basic Service Set*). Uno degli obiettivi principali dello standard consiste nell'eliminare la percezione della disconnessione durante gli handover attraverso la definizione di un "fast BSS" in modo, ad esempio, che gli utenti non debbano ri-autenticarsi ad ogni handover/roaming. Tale evoluzione consentirà la connettività a bordo di veicoli in movimento con handover veloci da una stazione all'altra, gestiti in modalità "seamless". Gli handover sono supportati nelle implementazioni 802.11a/b/g, ma soltanto per i dati (si veda la funzionalità IAPP del IEEE 802.11f), in quanto il ritardo di handover è ancora troppo lungo per supportare le applicazioni voce e video e rappresenta anche un problema per le connessioni sicure con WPA2 o WPA.

Una funzionalità richiesta ai telefoni VoWi-Fi in mobilità è l'abilità di disconnettersi da un AP e di associarsi rapidamente al successivo nella fase di handover. Lo standard IEEE 802.11f specifica le informazioni che è necessario scambiare tra gli AP per supportare le funzioni di interconnessione in ambito Wi-Fi, cercando di evitare casi di handover tra due AP che non supportano lo stesso standard. L'insieme delle informazioni scambiate è tale per cui tutti i produttori che aderiscono allo standard garantiscono la realizzazione di sistemi interoperanti. Al momento il lavoro di standardizzazione è stato completato e pubblicato. Esso definisce le procedure per le comunicazioni di segnalazione tra AP ovvero prevede, ad esempio, l'invio di due pacchetti nella rete di dorsale (rete di interconnessione degli AP). Uno dei due pacchetti comprende l'indirizzo di sorgente del *client* ed è utilizzato dagli *switch* per aggiornare le proprie tabelle di instradamento secondo la posizione attuale dell'utente. L'altro pacchetto serve per la notifica in broadcast dell'avvenuta associazione al nuovo AP e, con tale notifica, il vecchio AP rimuove dalle proprie tabelle la voce relativa all'utente migrato. Quindi il protocollo IAPP, usato in IEEE 802.11f, definisce il formato per le informazioni condivise tra gli AP. Tuttavia anche con l'utilizzo di tali protocolli ci possono essere dei ritardi che, nella maggior parte delle applicazioni come l'invio di email o la navigazione web, non sono percettibili (generalmente le applicazioni basate su TCP sono in grado di compensare l'eventuale andamento "a singhiozzo" del flusso dati). Invece le

applicazioni basate su UDP non sono in grado di compensare perdite o interruzioni e, sfortunatamente, queste sono percepite dall'utente che le interpreta come un malfunzionamento della rete.

Un ulteriore problema, affrontato dallo standard IEEE 802.11k, è che, con gli attuali standard della famiglia IEEE 802.11, un terminale mobile non può sapere se le risorse necessarie e la QoS verranno rese disponibili dal prossimo AP, almeno finché non si opera la transizione. Pertanto non è possibile sapere in anticipo se la transizione darà luogo a una prestazione soddisfacente dell'applicazione. Quando un utente abbandona l'area coperta da un AP è necessario trovare un adeguato "server" in termini di potenza del segnale e di congestione di banda. Se non esiste un sistema di management adeguato, nel momento in cui il "client" passa da un server all'altro, può essere necessario effettuare di nuovo le autenticazioni. Senza un'adeguata segnalazione, la rete deve riscoprire da quale AP l'utente è servito e modificare l'instradamento del flusso dei dati in un tempo tale che l'utente, o meglio le applicazioni attive, non si accorgano del cambiamento. Quindi, in mancanza delle funzionalità opportune, il terminale d'utente deve eseguire di nuovo le procedure di autenticazione che sono generalmente assistite mediante il protocollo RADIUS (o DIAMETER).

Lo standard IEEE 802.11k fornisce l'informazione necessaria per scoprire quale sia il migliore AP disponibile. Ha, quindi, lo scopo di migliorare il modo di distribuire il traffico nella rete. In una WLAN ciascun terminale di solito si connette all'AP che fornisce il segnale più forte. In funzione del numero e della posizione dei clienti la distribuzione degli accessi può dar luogo ad eccessiva domanda su un certo AP e alla sottoutilizzazione di altri, con il risultato che la prestazione complessiva della rete degrada. In una rete conforme al IEEE 802.11k, se l'AP che ha il segnale migliore è caricato al suo livello di capacità, il nuovo terminale viene connesso con un altro AP che risulti sottoutilizzato e, anche se il segnale può risultare più debole, il throughput complessivo nella rete è più grande perché si fa un uso più efficiente delle risorse disponibili.

Purtroppo, in attesa dello standard, le manifatturiere utilizzano soluzioni proprietarie che, in alcuni casi al fine di minimizzare la durata dell'handover, sfruttano meccanismi di sicurezza poco efficaci come il WEP. Strumenti di sicurezza migliori, come TKIP o AES, prevedono uno scambio di messaggi dopo l'associazione che, tipicamente, causano l'abbattimento della chiamata.

L'IEEE 802.11k e il successivo IEEE 802.11r sono gli standard chiave su cui puntano le manifatturiere per permettere un *seamless handover* in ambiente WLAN. Il ritardo che si ha durante l'handover non può superare circa 50 ms, che è l'intervallo di tempo minimo rilevabile dall'orecchio umano. D'altra parte gli attuali ritardi di handover nelle reti IEEE 802.11 si aggirano in media su diverse centinaia di millisecondi che provocano, nel caso in cui l'utente si muova, la ricezione a singhiozzo, la perdita della comunicazione ed il degrado della qualità della voce. Questo dà luogo a perdite della connessione e degradazione della QoS. Lo standard IEEE 802.11r ha proprio l'obiettivo di migliorare il processo di transizione di un terminale e di stabilire un adeguato livello di sicurezza e di

QoS al nuovo AP prima di eseguire la transizione, minimizzando il numero di connessioni perse e di casi di degradazione della prestazione dell'applicazione. Inoltre i cambiamenti al protocollo non devono determinare nuove vulnerabilità di sicurezza preservando il livello di prestazione degli AP.

### 3.4. EVOLUZIONE DELLE RETI VERSO SOLUZIONI CONVERGENTI FISSO-MOBILE

#### 3.4.1. IL CONCETTO DI RETE NGN

Nel passato le reti di telecomunicazioni si sono evolute in ambienti chiusi e integrati verticalmente: ad esempio il servizio telefonico ha fatto ricorso tradizionalmente a una rete d'accesso dedicata, ma anche a una rete di trasporto, a sistemi separati per il supporto alle operazioni e di tariffazione. In questo modo, ogni servizio finisce con l'avere una struttura verticale entro l'organizzazione dell'operatore che è costretto a replicare molte funzioni per ogni rete e servizio e ciò conduce a inefficienze di costo, oltre che a scarsa flessibilità organizzativa.

La migrazione già in corso verso architetture aperte, standardizzate e a strati orizzontali (Figura 3.13) determinerà impatti profondi sull'infrastruttura di rete e non solo. Questa classe di nuovi approcci all'organizzazione delle reti va sotto la denominazione onni-comprendensiva di "Next Generation Network" (NGN): sia le odierne reti fisse che quelle mobili stanno migrando verso architetture NGN, reti a pacchetto intelligenti destinate a supportare in modo semplice e flessibile applicazioni e servizi avanzati.



Figura 3.13 - Evoluzione nelle reti dal modello verticale al modello orizzontale.

L'integrazione di differenti tecnologie hardware e software nella NGN rientra nel più ampio scenario, presente nei piani strategici di quasi tutti i grandi gestori di telecomunicazioni, della cosiddetta *Convergenza Fisso-Mobile* (CFM), ossia dell'integrazione piena di organizzazione del business, di tecnologie e servizi sia fissi che mobili. Dall'introduzione di soluzioni di convergenza è attesa la semplificazione sia dello sviluppo che dell'erogazione dei servizi e la riduzione dei costi a tutti i livelli, grazie alle possibilità offer-

te dall'indipendenza dalla posizione fisica, dalle tecnologie di accesso e dai terminali d'utente. L'obiettivo dei gestori è l'uso di piattaforme di servizio (voce, dati, video e servizi multimediali) appoggiate su piattaforma di rete IP per realizzare una gestione integrata, superando così i vincoli e le inefficienze che derivano dalle odierne soluzioni basate su architetture ibride.

In estrema sintesi, la struttura ad integrazione orizzontale di una rete NGN può considerarsi organizzata su tre piani: il livello applicativo, il livello di controllo e il livello di connessione:

- Il *livello applicativo* ospita le logiche di servizio, assicurandone l'efficace esecuzione per mezzo di opportuni server. Le applicazioni multimediali, eventualmente integrate con applicazioni Internet e servizi convergenti fisso-mobili, sono sviluppate sui server del livello applicativo tramite interfacce standard di vario tipo dette API (*Application Programming Interface*).
- Il *livello di controllo* offre funzionalità legate al trattamento della segnalazione, propria dei servizi basati su logica di sessione. Questo livello comprende il server SIP (*Session Initiation Protocol*), (vedi Box 4), il Soft-switch e il server QoS. Il server SIP gestisce la registrazione degli utenti; il Soft-switch svolge le funzionalità di interlavoro e/o l'interconnessione con altre reti sia a circuito che a pacchetto; il server della Qualità di servizio, infine, decide le politiche di controllo di ammissione e per differenziare la qualità di servizio relativa alle diverse sessioni.
- Il *livello di connessione* (o di trasporto), condiviso da una moltitudine di flussi informativi, offre funzionalità di interlavoro e transcodifica del formato dei flussi trasportati. Questo livello comprende tra l'altro, i *Border gateway*, i *Media gateway* e gli *Edge node*. I Border gateway sono posti ai punti d'interconnessione tra reti IP per la garantire sicurezza ai servizi di sessione; nell'interconnessione tra domini IP distinti essi svolgono le funzionalità di filtro per il controllo dei flussi multimediali. I Media gateway sono controllati dal Soft-switch su base chiamata e svolgono la funzione di conversione del flusso informativo ("media") da un flusso voce sincro-no a un flusso a pacchetto, e viceversa, tramite opportuna codifica/decodifica. L'Edge node è l'entità posta tra le reti di accesso e la rete di trasporto IP che svolge le funzionalità di aggregazione degli accessi e di autenticazione verso il livello superiore.

#### **BOX 4 - Session Initiation Protocol (SIP)**

SIP è un protocollo di segnalazione usato per gestire una sessione in una rete IP. La sessione può essere una semplice chiamata telefonica oppure una teleconferenza multimediale collaborativa. La possibilità di stabilire questo genere di sessioni rende possibile l'attuazione di un insieme di servizi innovativi fra cui le sessioni di e-commerce arricchite, i servizi di localizzazione, quelli di tipo "*click-to-dial*" all'interno

delle pagine web, la messaggistica istantanea realizzata in Internet sulla base di liste di potenziali corrispondenti (le cosiddette “*buddy list*” di persone i cui identificativi, o “*nickname*”, non appena queste si collegano, si attivano nel computer dell'interessato che può istantaneamente iniziare a comunicare con loro) e tanti altri ancora.

Da quando SIP è stato adottato come protocollo preferito per la segnalazione VoIP (*Voice over IP*), l'industria dedica molta attenzione a questo standard emergente che attualmente è in avanzato grado di definizione da parte dell'organizzazione IETF (Internet Engineering Task Force) che ha il compito di sviluppare e di amministrare i meccanismi di funzionamento di Internet. Anche il 3GPP (*3rd Generation Partnership Program*) ha scelto SIP come protocollo per la segnalazione multimediale. SIP è ancora in evoluzione e sarà esteso via via che la tecnologia matura e che i prodotti relativi saranno disponibili sul mercato.

L'approccio della IETF alla produzione degli standard è basato sulla semplicità: in altre parole, viene specificato solo ciò che è ritenuto strettamente necessario e SIP non si discosta da questa filosofia. Essendo stato sviluppato essenzialmente come meccanismo di attivazione di una sessione, SIP non conosce alcun dettaglio della sessione ma si occupa solo di iniziarla, terminarla e modificarla; grazie alla sua semplicità, SIP è scalabile, estensibile e si inserisce senza difficoltà in architetture e in scenari operativi differenti.

SIP è un protocollo del tipo “risposta a richiesta” che assomiglia a due altri protocolli della suite di Internet: HTTP e SMTP, rispettivamente progettati per gestire il “world wide web” e la posta elettronica. Tramite SIP la telefonia diviene un'altra applicazione del web che si integra facilmente nel ventaglio dei servizi Internet: SIP, in conclusione, è oggi considerato uno strumento essenziale per realizzare la convergenza dei servizi voce e multimediali.

### 3.4.2. L'EVOLUZIONE VERSO SCENARI DI CONVERGENZA

Lo sviluppo di soluzioni CFM è in linea anche con un altro aspetto dell'evoluzione delle reti di telecomunicazioni che stanno migrando verso una rete basata solo su IP (il cosiddetto *paradigma “All IP”*), congiuntamente all'avvento di architetture aperte e di modalità di accesso trasparente mediante le quali l'utente potrà connettersi attraverso gestori differenti. Al fine di coniugare tutte le esigenze della migrazione i gestori di telecomunicazioni, sia fissi che mobili, stanno modificando gradualmente le proprie reti con la prospettiva di adottare architetture NGN.

Una prima soluzione NGN che merita di essere menzionata è IMS (*IP Multimedia Sub System*), sviluppata in ambito 3GPP in origine per consentire ai sistemi di comunicazioni mobili (3G e successivi) di evolvere per poter fornire servizi integrati, voce e dati, esclusivamente mediante rete a commutazione di pacchetto. L'obiettivo di base è consentire agli utenti di utilizzare una data applicazione, come ad esempio il VoIP, indifferentemen-

te per mezzo di terminali telefonici mobili, fissi, o personal computer, garantendo anche la piena interoperabilità tra gestori differenti. Gli utenti IMS devono quindi avere facoltà di avviare qualsiasi applicazione di comunicazione (messaggistica, voce, condivisione di file, videoconferenza, etc.) da un portale presente su una qualsiasi interfaccia, senza doversi preoccupare di selezionare preventivamente la tecnologia di accesso sottostante. Se IMS pone l'accento sull'evoluzione delle reti verso lo scenario IP, un'ulteriore accelerazione al processo di convergenza è fornita dall'iniziativa FMCA (*Fixed-Mobile Convergence Alliance*), alleanza globale tra gestori di telecomunicazioni con la missione di abolire, nella percezione dell'utente, la distinzione tra servizi fissi e mobili. Secondo il punto di vista di FMCA, infatti, per favorire la convergenza delle reti è richiesta particolare attenzione alla convergenza dei terminali e dei servizi. Negli scenari previsti, perciò, i terminali incorporano modalità di accesso multiple (terminali multimodo) da utilizzare per selezionare la tecnologia che offre la qualità di servizio migliore e per assicurare la continuità del servizio mediante apposite procedure. Un obiettivo è realizzare un handover globale, sia orizzontale che verticale, che consenta in maniera adattativa e continuativa la fruizione del servizio in modalità indipendente rispetto alle tecnologie sottostanti e alla rete servente.

#### **3.4.2.1. Standard IMS**

Lo IP Multimedia Subsystem è un'architettura per l'erogazione di servizi multimediali basata su protocolli della "suite" IP che intende integrare i mondi di Internet e delle comunicazioni cellulari. IMS consente a molteplici applicazioni anche in *real-time* di operare attraverso una sola rete, garantendo l'integrazione con le pre-esistenti reti attraverso molteplici reti di accesso, incluse le tradizionali reti telefoniche. Sebbene lo standard IMS sia stato avviato dal 3GPP per le reti mobili, le sue più recenti versioni ne prevedono l'impiego agnostico all'accesso: ciò significa che la fornitura del servizio deve essere indipendente dalla sottostante tecnologia d'accesso che può essere su linea fissa o impiegare i sistema mobili di qualsiasi standard e i sistemi wireless a banda larga.

Le specifiche del 3GPP includono IMS nelle versioni dello standard UMTS dette *Release 05* e *Release 06* (vedi *Tabella 3. 1* [43]); mentre nella prima versione aveva ancora lo scopo di facilitare lo sviluppo di servizi innovativi nelle reti mobili, in seguito, per tenere conto dei lavori sulla NGN dell'ETSI condotti attraverso il gruppo di lavoro di standardizzazione TISPAN (*Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking*) sono stati introdotti i concetti di indipendenza dall'accesso. La più recente *Release 07* dell'UMTS si occupa di fornire una visione unificata del IMS in modo da supportare tecnologie d'accesso eterogenee (DSL, WLAN, etc.).

Si può dire che il 3GPP rappresenta la prospettiva FMC degli operatori mobili e che TISPAN, che ha pubblicato una prima *Release* di standard ETSI-IMS e sta ora lavorando su una seconda *Release*, aggiunge a questa il punto di vista dei gestori di servizi fissi.

Versione dello standard	Anno	Commenti
Release 99	1999	Prima versione dello standard UMTS (include l'accesso WCDMA [42]).
Release 04	2002	Separa il sistema nei domini CS ( <i>circuit switched</i> ) e PS ( <i>packet switched</i> ).
Release 05	2004	Allo scopo di consentire nuove applicazioni sul <i>bearer</i> GPRS/UMTS, introduce IMS come struttura di controllo del dominio PS, basata su SIP per il controllo della chiamata e su IPv6 per indirizzamento e mobilità, con requisiti di QoS specificati da estremo a estremo.
Release 06	2005	Supporta l'E-DCH ( <i>Enhanced Dedicated Channel</i> ), che offre una maggiore capacità in uplink attraverso trasmissioni in intervalli di tempo inferiori TTI (fino a 2 ms) e la ritrasmissione automatica ibrida (H-ARQ). Introduce il supporto all'indipendenza d'accesso del IMS, messaggistica istantanea (Instant Messaging), servizi Push-to-Talk su cellulare, integrazione con le WLAN, servizi di messaggistica multimediale (MMS), servizi di multicast e di broadcast (MBMS).
Release 07	2007	Definisce l'accesso fisso a larga banda attraverso IMS, handover delle chiamate vocali tra CS, WLAN/IMS e la QoS da estremo a estremo [44].

Tabella 3.1 - Le versioni dello standard UMTS.

Queste sono alcune delle principali caratteristiche oggi attribuite all'IMS:

1. *Architettura end-to-end*: IMS è una architettura completa da estremo a estremo e agnostica all'accesso che deve supportare numerosi tipi di apparati; pertanto per una migliore interoperabilità IMS deve basarsi su protocolli IP aperti e deve supportare il roaming tra differenti reti (3GPP Release 06 [4.8]).
2. *Architettura orizzontale*: IMS è un'architettura orizzontale che fornisce un insieme di funzioni comuni chiamate *service enablers* che possono essere usate da vari servizi, tra cui ad esempio la gestione di gruppi e liste, i servizi *presence*, quelli di operation / management, di tariffazione, etc. (Vedi Box 5). Ciò rende l'implementazione dei servizi più facile e più spedita e, inoltre, consente un'interazione stretta tra i servizi.
3. *Separazione dello strato dei servizi dallo strato di rete*: La caratteristica principale dell'architettura IMS, le cui entità sono tutte localizzate nel core network, è la separazione del piano dei servizi dal piano di rete, che facilita l'interoperabilità tra la rete mobile e le reti fisse, quali la PSTN e Internet.
4. *Sviluppo di servizi multimediali basati su IP*: IMS fornisce le specifiche per la creazione e lo sviluppo di servizi multimediali IP-based nelle nuove reti mobili, ovvero le modalità in cui devono avvenire il trasporto dati per i servizi sia real-time che non real-time e l'introduzione di un nuovo tipo di chiamata multimediale per abilitare sessioni di comunicazione tra molteplici utenti e interfacce.

5. *Servizi persona-persona in real-time*: I servizi IMS includono, per esempio, la telefonia su reti a commutazione di pacchetto e rimuovono gradualmente la necessità delle reti a commutazione di circuito. Il trasferimento di tutti i servizi in real-time dal dominio della commutazione di circuito a quello della commutazione di pacchetto implica che tutti i servizi saranno forniti attraverso un solo network integrato.

### BOX 5 - Alcuni nuovi servizi

Nell'evoluzione e integrazione delle reti stanno trovando posto anche numerosi nuovi servizi, tra i quali, ad esempio, i servizi di "presence" e di "group list management".

#### **Servizio "presence"**

Il servizio di presenza ("*presence*") consente a un insieme di utenti di essere informati circa la disponibilità e i mezzi di comunicazione degli altri utenti del gruppo. Esso determina un vero e proprio cambiamento di paradigma nelle comunicazioni persona-persona, ad esempio consentendo agli utenti di "vedersi" reciprocamente prima di collegarsi (per mezzo di un elenco abbonati che dinamicamente mostra quelli attivi) oppure di ricevere segnali di allerta quando altri utenti divengono disponibili. Nell'IMS il servizio presence è sensibile a diversi tipi di mezzi, utenti, e relative preferenze. La funzione di presence in IMS tiene anche conto di quale sia il terminale su cui l'utente può essere raggiunto per mezzo delle varie reti cablate e wireless. L'utente, inoltre, può stabilire regole differenti per definire chi sia autorizzato a condividere una certa informazione.

#### **Gestione dei gruppi**

Il servizio di gestione dei gruppi ("*group list management*") consente agli utenti di creare e gestire gruppi in rete per gli usi di qualsiasi servizio erogato in rete. Si hanno meccanismi generici per la notifica dei cambiamenti nella definizione dei gruppi. Esempi di applicazione del servizio includono:

- "*buddy list*" personali
  - liste di blocco
  - gruppi pubblici/privati (ad esempio, la semplice definizione di pacchetti di servizi orientati alle reti private virtuali)
  - liste di controllo d'accesso
  - gruppi di chat pubblici/privati
- e qualunque applicazione in cui sia richiesta una lista di identità pubbliche.

#### **3.4.2.2. Architettura IMS**

Una rete IMS, che si conforma al paradigma di una rete NGN, include i piani delle applicazioni di controllo e di connettività, come mostrato in *Figura 3.14*.

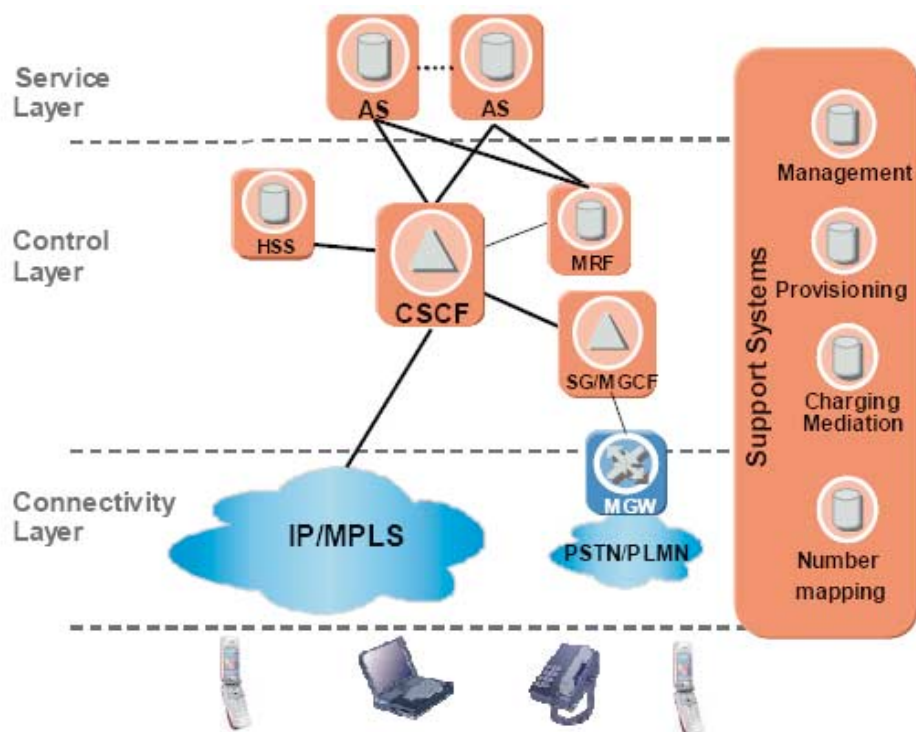


Figura 3.14 - Struttura semplificata dell'architettura IMS.

In particolare il piano di controllo (Control Layer) contiene i server per il controllo della rete atti a gestire l'instaurazione, la modifica e il rilascio della chiamata o della sessione. La più importante funzione che viene svolta in questo piano è la funzione di controllo e di instradamento (CSCF) assicurata dal server SIP alle sessioni su IP con lo scopo di regolare come ciascuna sessione opera e si combina con le altre sessioni. Questo piano contiene anche una suite completa di funzioni di supporto, quali il *provisioning*, la tariffazione e la funzione O&M (*Operations & Maintenance*). Più in dettaglio l'architettura del piano di controllo della rete si compone dei seguenti elementi fondamentali:

- CSCF (*Call Session Control Function*): è la principale funzione di segnalazione della rete. Può essere presente in più nodi, ridondante e diversificata per migliorare le condizioni di affidabilità; ha sede in vari tipi di server SIP e elabora tutta la segnalazione SIP della rete. I tre server SIP più comuni nella CSCF sono il "Proxy CSCF" (P-CSCF) che è il primo punto di contatto per un dispositivo e per il controllo dell'autenticazione, lo "interrogating CSCF" (I-CSCF) che è il punto di accesso di tutti i messaggi SIP e il "Serving CSCF" (S-CSCF) che gestisce tutte le funzioni di controllo delle sessioni;
- SG/MGCF (Signalling Gateway/Media Gateway Control Function): fornisce l'interoperabilità della segnalazione tra i domini IP e PSTN (SIP - ISUP e viceversa);

- MRF (*Media Resource Function*) è una piattaforma di processamento dei flussi informativi che fornisce supporto a numerosi server di applicazione; svolge due funzioni suddivise in MRFC (*media resource controller*) e MRFP (*media resource function processor*); nel complesso la MRF abilita lo sviluppo scalabile delle applicazioni IMS
- HSS (*Home Subscriber Server*): può svolgere le funzioni del HLR nelle reti all-IP e contiene le funzioni AAA e altri database; è il deposito centrale delle autorizzazioni specifiche dell'utente e dei profili di servizio e delle preferenze. HSS integra numerose funzioni, alcune delle quali già presenti nel HLR (*Home Location Register*) delle reti mobili:
  - base dati del profilo del cliente;
  - abilitazioni al servizio del cliente;
  - impostazioni delle preferenze del cliente;
  - server di autenticazione mobile;
  - HLR per il roaming del terminale;
  - funzione di *presence* del cliente;
  - funzione di localizzazione del cliente.
- MGW (*Media Gateway*): Fornisce l'interfaccia per il trasporto del traffico tra IP e PSTN.

Al di sopra del piano di controllo, nel piano di servizio, si hanno i server d'applicazione che eseguono i servizi utilizzati dagli abbonati. Un *SIP Application Server* (AS) è una piattaforma per lo sviluppo di applicazioni SIP e per la loro gestione. SIP è l'elemento di raccordo delle funzioni e delle applicazioni di IMS: per avviare le sessioni multimediali SIP opera in congiunzione con SDP (*Session Description Protocol*): quest'ultimo descrive le funzioni delle sessioni multimediali quale l'avvio e l'annuncio della sessione. SIP è usata per stabilire, mantenere e terminare le sessioni in accordo con i seguenti passi:

- avvio della sessione (*session initiation*): il terminale d'utente segnala la necessità di una sessione e viene identificata la collocazione dell'utente in rete e viene assegnato un unico identificatore di sessione (SIP URI);
- descrizione della sessione (*session description*): fornisce una descrizione della sessione al terminale d'utente; per questa funzione si usa il protocollo SDP.
- gestione della sessione (*session management*): una volta che la sessione è accettata dal terminale d'utente, i flussi multimediali, o gli altri contenuti, vengono scambiati direttamente tra i punti terminali; tra i protocolli più usati si hanno RTP (*Real Time Protocol*) e RTSP (*Real Time Streaming Protocol*);
- terminazione della sessione (*session termination*): qualunque corrispondente della sessione ne può richiedere la terminazione una volta che lo scambio dati sia stato completato.

### 3.4.3. INTEROPERABILITÀ TRA SISTEMI ETEROGENEI

Come si è visto, nell'attuale evoluzione delle reti si segue l'approccio di assicurare per quanto possibile l'interoperabilità tra reti eterogenee, nella previsione di un futuro comunque popolato da molteplici standard d'accesso. Pertanto la definizione delle strategie di interoperabilità tra sistemi eterogenei è l'obiettivo di diverse iniziative di standardizzazione, tra cui:

- la tecnologia UMA (Unlicensed Mobile Access);
- lo standard IEEE 802.21 MIH (Media Independent Handover);
- altre soluzioni basate sul protocollo IP mobile e sul protocollo SIP.

#### **3.4.3.1. Accesso mobile attraverso le bande non licenziate**

Un primo passo del IMS è UMA (*Unlicensed Mobile Access*), standard per l'accesso ai servizi GSM/GPRS in bande non soggette a licenza per mezzo di sistemi quali Bluetooth e IEEE 802.11 (in futuro, presumibilmente anche attraverso Wi-MAX e altre tipologie d'accesso); con lo sviluppo della tecnologia UMA i fornitori di servizio possono abilitare i clienti a fruire dei servizi mobili voce e dati senza discontinuità nella transizione tra reti diverse grazie alle funzionalità di *handover* tra reti cellulari e reti non soggette a licenza, sia pubbliche che private, usando terminali mobili doppio modo (dual-mode) specificamente progettati.

UMA consente l'accesso ai servizi IMS da qualunque hot-spot Wi-Fi e, in aggiunta, gestisce gli handover automatici delle sessioni IMS tra reti cellulari e Wi-Fi (e viceversa). In origine promosso e sviluppato da quindici manifatturiere nel settore mobile, ora UMA è uno standard 3GPP cui è stato dato il nome di GAN (*Generic Access Network*). UMA consente l'accesso seamless ai servizi a commutazione di circuito dell'operatore quali la voce e gli SMS (*Short Message Service*) attraverso Wi-Fi; in aggiunta supporta l'accesso seamless anche ai servizi PS dell'operatore, ossia a tutte le applicazioni basate su IMS. UMA è attualmente l'unico standard definito che consente l'accesso e il transito dei servizi IMS su Wi-Fi.

Come mostra la *Figura 3.15*, se un cliente mobile con un portatile *dual-mode* dotato di funzionalità UMA accede ad una rete wireless in banda non licenziata in cui è abilitato ad entrare, può anche accedere al *core network* della rete mobile contattando l'UMA Network Controller (UNC) attraverso la rete di accesso IP a larga banda per essere autenticato e autorizzato ad utilizzare i servizi GSM/GPRS. Se autenticato e autorizzato, da questo momento tutto il traffico voce e dati del cliente è instradato attraverso la *Unlicensed Mobile Access Network* (UMAN) piuttosto che attraverso la *Cellular radio access network* (RAN).

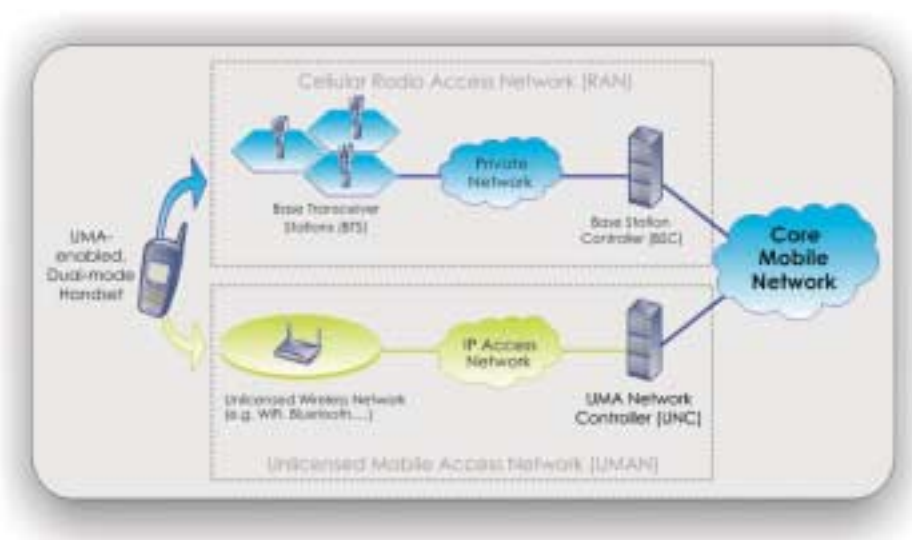


Figura 3.15 - Sistema eterogeneo interoperabile per mezzo della tecnologia UMA [...].

UMA è la soluzione nativa IMS per l'interoperabilità con le reti Wi-Fi (Figura 3.15) che è stata ratificata dal 3GPP (TS 43318 v6.7.0 - R6)<sup>14</sup>, quale parte della Release 6, in modo da garantire approcci standardizzati per dispositivi e infrastrutture, allo scopo di velocizzare l'adozione di soluzioni convergenti. I fornitori di connettività potranno, in questo modo, consentire agli utenti di fare handover e passare trasparentemente dalla rete cellulare a WLAN, e viceversa, utilizzando terminali multimodo.

Per poter utilizzare le funzionalità previste sul terminale devono essere configurati i parametri tipici della tecnologia (SSID, username e chiavi di sicurezza) per la gestione dei vari profili. Il terminale cerca periodicamente degli AP a cui associarsi e, se ne trova uno con un segnale sufficiente compatibile con i profili impostati, vi si associa e avvia la connessione WLAN. A seguito dell'associazione con l'AP il client UMA stabilisce un tunnel IPSec verso la rete IP del suo operatore radiomobile, oltrepassando eventualmente i firewall e altri sistemi di sicurezza aziendali, si autentica verso la rete dell'operatore e diventa un suo nodo a tutti gli effetti. Se durante questa procedura è attiva una connessione voce o dati, l'UMA Network Controller trasferisce la sessione dalla rete cellulare alla rete WLAN. Infine, mentre è coperto da un AP, il terminale misura costantemente la qualità del segnale della rete WLAN al fine di essere pronto a passare sotto la copertura di un nuovo AP o tornare ad essere collegato alla rete radiomobile.

<sup>14</sup> Le seguenti raccomandazioni 3GPP definiscono le modalità con le quali i sistemi radiomobili possono interoperare con le reti WLAN:

- TS 23234 v7.3.0 (R7) - 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking; System description;
- TS 43318 v6.7.0 (R6) - Radio Access Network; Generic access to the A/Gb interface;
- TS 44318 v7.0.0 (R7) - Generic Access (GA) to the A/Gb interface; Mobile GA interface layer 3 specification.

### 3.4.3.2. Standard IEEE 802.21

Il gruppo di studio IEEE 802.21 [45] ha in corso la definizione e standardizzazione di meccanismi di accesso indipendenti dal mezzo per consentire l'ottimizzazione del handover tra sistemi della famiglia IEEE 802 e si ripromette anche di facilitare la funzionalità di handover con altri sistemi, tra cui quelli cellulari.

La specifica, attualmente *in itinere*, dello standard IEEE 802.21 fornirà flessibilità a livello di *link layer* e le necessarie informazioni di rete agli strati superiori per ottimizzare lo svolgimento del *handover* tra sistemi eterogenei. In generale la funzionalità MIH (*Media Independent Handover*) risiede sia nel terminale che nel punto di accesso radio alla rete fissa (stazione radio base, *access point*, etc.), che devono pertanto essere multimodali, ossia capaci di supportare diversi standard di interfaccia radio. La rete complessiva dovrà includere sia "microcelle" (coperture IEEE 802.11, IEEE 802.15 e simili) che "celle" (coperture GSM, UMTS, IEEE 802.16), le quali in generale risulteranno sovrapposte. A ciò si potranno aggiungere le coperture con "macrocelle" satellitari. Il processo di handover è tipicamente attivato attraverso misure eseguite da parte del terminale che possono riportare al punto d'accesso la qualità del segnale, le differenze di tempi di sincronizzazione, le frequenze degli errori di trasmissione, etc., che sono alcune delle metriche usate dagli algoritmi di handover.

Le procedure di handover tra sistemi eterogenei sono gestite attraverso protocolli di gestione della mobilità; sono quindi previste un insieme di funzioni di abilitazione di handover negli stack protocollari dei sistemi e si ha una nuova entità, denominata "MIH Function" nel draft standard IEEE 802.21 (*Figura 3.16*).

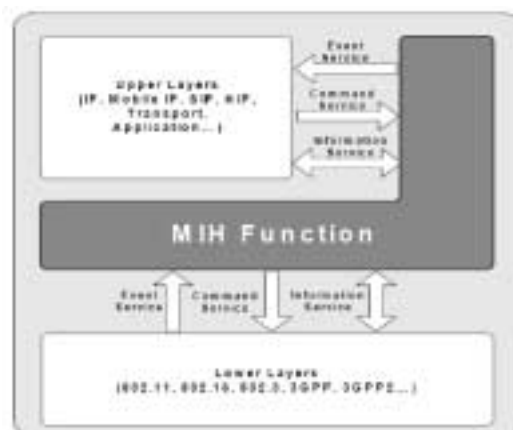


Figura 3.16 - Lo strato protocollare che include la funzione MIH.

La MIH Function fornisce servizi agli strati protocollari superiori attraverso una singola interfaccia di tipo "technology-independent" (detta MIH SAP) e ottiene servizi dagli strati inferiori attraverso una molteplicità di interfacce "technology-dependent" (i cosiddetti media-specific SAP). Lo standard IEEE 802.21 intende fornire la generica interfaccia tra il

link layer nello stack protocollare di mobility-management stack e gli attuali media-specific link layer, quali quelli specificati dal 3GPP e nella famiglia di standard IEEE 802.

### **3.4.3.3. Altre soluzioni di interoperabilità**

Una possibile alternativa per migliorare l'interoperabilità tra sistemi eterogenei, eventualmente incluse anche le reti cellulari, è operare allo strato protocollare di rete, usando *Mobile IP*.

Mobile IP è definito per operare sia in un ambiente IPv4 che in un ambiente IPv6. In un ambiente IPv4, le problematiche oggi di maggiore rilevanza sono:

- gestione veloce degli handover;
- AAA, confidenzialità e sicurezza;
- *triangle routing* (sia nel verso chiamante-chiamato che viceversa);
- necessità di installare agenti nelle *home networks* e nelle *visited networks*, con relativi problemi dovuti alla scarsa diffusione attuale di tali agenti (aggravati nel caso di utenti privati, che difficilmente potrebbero disporre di queste funzionalità);
- necessità di procedure per gestire la contemporanea presenza di diverse tecnologie di accesso.
- queste problematiche non sarebbero tutte completamente superate, anche ipotizzando un ambiente IPv6.

Una possibilità, che in taluni scenari è anche integrabile da subito con lo stesso Mobile IP, è rappresentata dall'impiego del protocollo SIP. L'ipotesi di lavoro prevede che le piattaforme in esame trasmettano traffico IP e che i servizi con prestazioni di interoperabilità siano trasportati da IP. La soluzione, in questo caso, consiste nell'impiego di meccanismi di gestione della mobilità basati sul protocollo SIP e diverse metodologie sono oggi allo studio per supportare la mobilità con SIP.

Un pregio di questa alternativa è la sua immediata disponibilità, e il fatto che non richiede modifiche né al terminale né alla struttura di rete poiché necessita solo di un opportuno modulo software.

## 4. Tecnologie wireless e strutture organizzative

### 4.1. IL WIRELESS NEI PROCESSI AZIENDALI

L'introduzione delle tecnologie wireless a supporto dei processi organizzativi sta consentendo a molte organizzazioni, sia pubbliche che private, di godere di numerose opportunità di ottimizzazione e di innovazione, dalla semplice automazione di alcune specifiche attività alla riconfigurazione di interi processi aziendali, fino alla ristrutturazione dei processi organizzativi nell'intera catena del valore [50-56].

I benefici desiderati nell'impiego di soluzioni wireless sono soprattutto:

- miglioramento dei risultati aziendali nel livello di qualità del servizio erogato ai clienti mediante la fornitura, ad esempio, di alcuni servizi direttamente presso il cliente;
- accresciuta qualità e rapidità nell'esecuzione dei processi grazie alla possibilità di gestire in maniera flessibile alcune attività nella fornitura di servizi e prodotti;
- incremento della produttività delle risorse attraverso l'accesso ubiquo ai sistemi informativi aziendali;
- gestione semplificata dei servizi e dell'infrastruttura.

Alcuni di questi benefici sono facilmente misurabili e ne è valutabile il ritorno in termini economici, altri sono di natura più intangibile come, ad esempio, il miglioramento nella capacità di pianificazione e controllo o la soddisfazione degli utenti; tali benefici sono meno facilmente traducibili in risultati economico-finanziari diretti ma sono comunque importanti per assicurare all'organizzazione un vantaggio competitivo di lungo termine.

L'aspettativa che si percepisce per il prossimo futuro è che il wireless in azienda deve essere in grado di promuovere lo sviluppo di nuovi servizi, e che la sua penetrazione possa risultare non solo quantitativa ma anche, e soprattutto, essere capace di determinare un'evoluzione qualitativa verso un approccio sempre più sistemico dei processi. Solo un approccio integrato può consentire di cogliere i benefici che possono essere generati dalla tecnologia a livello di catena del valore nel suo complesso creando piattaforme che consentano a qualsiasi utente mobile di accedere, ovunque si trovi, al proprio ambiente di lavoro, interagendo direttamente con il sistema informativo aziendale e con le entità coinvolte nei processi (prodotti, asset, veicoli, etc.).

L'introduzione di nuove modalità di servizio richiede un processo di analisi che si può articolare in cinque punti principali:

- classificazione delle differenti tipologie di applicazioni;
- analisi degli impatti organizzativi legati alle diverse tipologie di applicazioni;
- valutazione dei benefici ottenibili dall'implementazione di ciascuna specifica applicazione;
- valutazione delle alternative tecnologiche implementabili in relazione ai valori del rapporto costo/beneficio;
- valutazione della reazione degli utilizzatori.

La classificazione delle differenti tipologie di servizio è importante perché, anche all'interno dello stesso ambito applicativo, si possono avere requisiti anche molto diversi tra loro, non solo per le funzionalità che devono essere implementate, ma anche per la tipologia di terminale da utilizzare e per la modalità di trasferimento dei dati. Un servizio di videoconferenza di qualità accettabile, ad esempio, ha requisiti che attualmente non ne consentono la fruizione mediante terminali dalle dimensioni ridotte paragonabili a quelle di un telefono cellulare.

L'analisi degli impatti organizzativi consente di evidenziare gli effetti indotti dall'applicazione sui processi dell'organizzazione e sui sistemi informativi. Le esigenze possono essere anche molto eterogenee e possono andare dalle soluzioni che supportano le attività operative dell'utente in mobilità ad impatti molto più ampi, estesi a interi processi (a volte anche interfunzionali o addirittura interorganizzativi). L'utilizzo di soluzioni wireless consentirebbe, ad esempio, di gestire le postazioni dei dipendenti all'interno dell'area lavorativa in maniera semplificata.

La valutazione dei benefici attesi sull'organizzazione è importante per evitare che i vantaggi risultino minori di quelli che potrebbero in effetti essere ottenuti a causa di un'inappropriata modalità di attuazione del servizio. È necessario pianificare opportunamente i processi di cambiamento per evitare ritardi nell'approvazione oppure complicazioni a livello di *governance*. È infatti necessario evitare le conseguenze che la diffusione di una tecnologia ristretta solo ad una parte dell'organizzazione, causata da una limitata autonomia gestionale di una singola area funzionale, determini l'adozione di soluzioni incompatibili con il contesto aziendale causando ricadute anche sulle attività di altre funzioni e, quindi, sui processi organizzativi. Il rischio è che un sistema poco coordinato di fornitori di tecnologie, soluzioni e servizi possa portare alla realizzazione di servizi wireless concorrenti nello stesso ambito aziendale che operano più come un insieme di singoli "prodotti" che come piattaforma nella quale le differenti soluzioni agiscono sinergicamente.

Quando si introduce un nuovo servizio è necessario valutare opportunamente la relazione tra il processo di innovazione tecnologica e l'ambito culturale nel quale esso deve essere operativo affinché il rapporto tra i benefici ottenuti, grazie all'introduzione di nuove tecnologie, ed i costi dello sforzo per adeguarvi organizzazioni ed utenti possa

essere positivo. Bisogna infine minimizzare la reazione inerziale degli utenti che devono essere confidenti che l'innovazione porti loro dei vantaggi in piena sicurezza nonostante le eventuali difficoltà iniziali nell'utilizzo di terminali ed interfacce. L'accesso al servizio mediante un'interfaccia che necessita di un processo di configurazione eccessivamente complesso può scoraggiare gli utenti che hanno minore dimestichezza con gli strumenti tecnologici.

In questo contesto il responsabile dei sistemi informativi deve essere in grado di cogliere gli stimoli provenienti dai vari settori dell'organizzazione ed orientare opportunamente il processo decisionale verso le soluzioni dalle quali trarre i maggiori benefici. Occorre svolgere sia un ruolo reattivo, disponendo gli approfondimenti tecnologici suggeriti ed effettuando le necessarie analisi di fattibilità, che propositivo, investigando non soltanto sugli aspetti tecnologici ma anche sul potenziale sfruttamento delle applicazioni per stimolare i propri colleghi ad utilizzare le opportunità offerte dalle innovazioni. Infine si deve cercare di evitare di svolgere un ruolo negativo, inerziale, ponendosi come freno alle innovazioni sulla base di argomentazioni legate ad una inadeguatezza delle soluzioni o a problematiche "insormontabili" legate al loro utilizzo (sicurezza, interferenze, etc.).

#### 4.1.1. PARAMETRI DI MISURA DEI BENEFICI

I benefici nell'utilizzo di una soluzione basata su tecnologia wireless possono essere sia tangibili, cioè misurabili quantitativamente, che intangibili, ossia non misurabili. I benefici tangibili possono essere valutati in base all'impatto che hanno sui ricavi o sui costi mentre i benefici intangibili non sono facilmente quantificabili sulla base di parametri economici e finanziari [51].

I benefici tangibili relativi ai costi sono riconducibili a due tipologie principali:

- aumento della produttività delle risorse e, in modo particolare, delle risorse umane;
- aumento della qualità dei processi come, ad esempio, riduzione del tempo per evadere una pratica amministrativa o per effettuare l'inserimento dei dati a seguito di una visita ispettiva.

I benefici tangibili sui ricavi possono riguardare:

- aumento dei ricavi a parità di risorse impiegate con conseguente incremento dei volumi di produzione come, ad esempio, la maggior velocità di alcuni processi di produzione o un più efficiente controllo di qualità;
- il grado di soddisfazione della clientela e, quindi, il volume di utenti serviti, specialmente nel caso della Pubblica Amministrazione.

Tali benefici si riferiscono soprattutto alla possibilità di gestire aumenti nei volumi di attività senza dovere aumentare le risorse (in particolare umane), grazie all'aumento della produttività reso possibile dall'impiego dell'applicazione wireless o mobile. Una maggiore soddisfazione dei clienti può essere l'effetto di due esiti differenti: un miglioramento nella qualità esterna, cioè "visibile" al cliente, come ad esempio meno errori nella

consegna di un certificato, oppure una riduzione del tempo che intercorre tra la richiesta di un documento e la consegna. Tra i benefici esaminati è ragionevole supporre che le potenziali ottimizzazioni sul versante della riduzione dei costi aziendali potrebbero rivelarsi, nella maggior parte dei casi, quelle di maggior rilevanza. I benefici esaminati possono essere considerati sia nei cosiddetti processi di “front office”, cioè quelli gestiti direttamente dal dipendente “mobile” (per esempio: raccolta di ordini, registrazione degli interventi di manutenzione, visite domiciliari etc.), sia nei processi di “back office”, che coinvolgono cioè il personale aziendale “fisso” in sede (per esempio: inserimento di un insieme di ordini da parte di un impiegato commerciale o di una scheda relativa agli interventi di un ispettore).

I benefici di natura intangibile possono essere raggruppati in tre principali categorie:

- benefici riconducibili in qualche modo all'immagine (nei confronti in particolare dei clienti, ma più in generale di coloro che hanno interessi economici nell'organizzazione);
- benefici collegabili a un aumento della quantità, qualità e tempestività dei dati disponibili per gli addetti al controllo di gestione, che si può tradurre in un più efficace processo di pianificazione e controllo delle attività e in una maggiore flessibilità nella gestione dei cambiamenti e delle urgenze;
- benefici che possono determinare una maggiore soddisfazione degli utenti.

Si noti che, per le applicazioni in cui prevalgono i benefici tangibili quali, per esempio, la riduzione dei costi del personale e la riduzione dei costi degli errori è anche possibile calcolare alcuni indicatori di ritorno finanziario sull'investimento, quali il Valore Attuale Netto cioè la somma dei valori di tutti i flussi di cassa in entrata e in uscita associati a un progetto di investimento, il Tasso Interno di Rendimento ossia il tasso che rende il Valore Attuale Netto dei flussi di cassa uguale a zero cioè quel tasso che eguaglia il valore dei flussi di cassa previsti ed attualizzati all'esborso iniziale per l'investimento, o il Tempo di Ritorno dell'Investimento cioè il tempo necessario perché un investimento di capitale sia in grado di produrre risultati in termini di reddito tali da compensarne il costo.

Nei casi in cui, invece, la parte più rilevante dei benefici rientra nella categoria dei benefici intangibili, è evidente che il calcolo di un indicatore economico-finanziario di sintesi, che dia un'idea del ritorno possibile dell'investimento in termini monetari, è più difficile. La giustificazione dell'investimento, in questi casi, deve basarsi maggiormente sulla capacità del management di dare un valore organizzativo e strategico a tali effetti intangibili.

#### 4.1.2. VANTAGGI DELLE COMUNICAZIONI WIRELESS

Le reti wireless possono rivelarsi la soluzione più semplice e talvolta l'unica soluzione per attivare servizi di rete in tutte quelle realtà o ambienti in cui la cablatrice tradizionale sia impraticabile. Esse permettono di superare i problemi che possono derivare dall'indi-

sponibilità delle autorizzazioni alla posa dei cavi, ad esempio nell'accesso ai condomini privati, e legati ai vincoli presenti spesso negli edifici storici soggetti a tutela architettonica. Inoltre possono consentire l'aggiunta rapida di nuovi utenti e lo spostamento di postazioni di lavoro in maniera semplice e veloce. Si possono individuare molteplici contesti operativi in cui risulta particolarmente vantaggioso l'utilizzo di tecnologie wireless e i maggiori benefici sono relativi a:

- tempi di installazione dell'infrastruttura di rete molto brevi con la possibilità di realizzare reti temporanee;
- costi di installazione e di manutenzione molto contenuti se confrontati con quelli necessari per le reti cablate;
- erogazione di servizi di rete anche in ambienti non adatti al cablaggio;
- possibilità di fornire connettività anche ad utenti in movimento;
- bassa invasività della tecnologia.

In aggiunta ai vantaggi tecnici strettamente legati alla soluzione tecnologica è importante mettere in evidenza il beneficio che l'introduzione del wireless può avere sull'intera organizzazione e in particolare in relazione all'aumento della produttività dei dipendenti. Infatti molte aziende e Pubbliche amministrazioni nel mondo stanno estendendo le proprie reti cablate utilizzando soluzioni wireless per ottimizzare la gestione della logistica aziendale, ridurre i costi e superare gli ostacoli delle connessioni tradizionali. Da uno studio di Gartner Dataquest [55] è emerso che già ad inizio 2002 almeno il 10% tra le aziende statunitensi con oltre 100 dipendenti disponeva di una rete Wireless LAN e che il mercato globale di questo segmento avrebbe raggiunto circa € 3,2 mld entro il 2005. I motivi della rapida crescita sono che le Wireless LAN offrono rapido ritorno sugli investimenti (ROI) e, nel novembre 2001, uno studio di NOP World [52] ha rilevato che, con l'introduzione di tecnologie wireless, l'incremento della produttività dei dipendenti è, in media, circa del 22%. Un risultato che scaturisce dalla capacità di controllare le e-mail, di pianificare gli incontri e di accedere a file e applicazioni da sale conferenze, aule, scrivanie condivise con altri colleghi e virtualmente da qualunque punto all'interno di un qualsiasi edificio o ambiente campus.

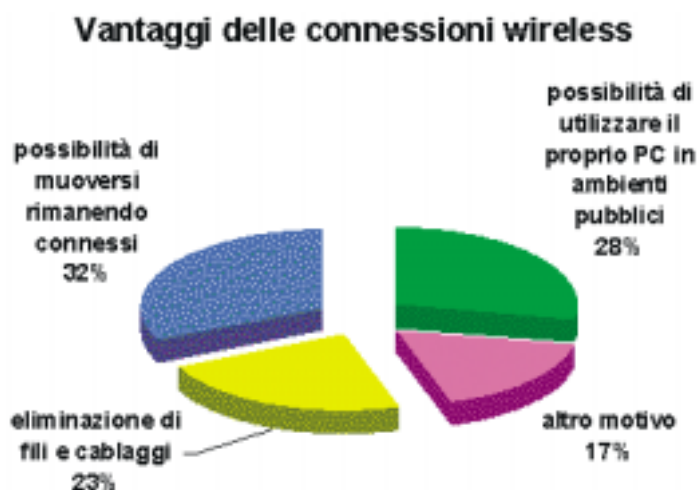
Lo studio, commissionato da Cisco Systems con l'obiettivo di quantificare i vantaggi delle soluzioni che impiegano le WLAN, ha dimostrato che tali soluzioni garantiscono realmente un ROI considerevole. A tal fine sono stati presi in esame utenti finali e decisori IT in più di 300 aziende e organizzazioni con sede negli Stati Uniti di dimensioni variabili da 100 ad oltre 10.000 dipendenti.

Dall'indagine è emerso quanto segue:

- le WLAN hanno permesso agli utenti finali di collegarsi un'ora e 45 minuti in più al giorno, con un aumento della produttività pro-capite del 22%. Il maggior incremento di produttività è stato rilevato nella gestione delle e-mail e nell'uso di applicazioni basate su Internet;

- l'allestimento di reti wireless ha permesso alle aziende di risparmiare, mediamente, € 150.000 all'anno in costi di cablaggio e in attività legate all'integrazione, spostamenti e modifiche di workstation (3,5 volte in più di quanto previsto dai reparti dei servizi informativi aziendali);
- la somma del risparmio sui costi e dell'incremento di produttività ha portato alla valutazione di un ROI annuo medio di € 4.200 per dipendente.

La *Figura 4.1* mostra sinteticamente le risposte fornite dagli utenti ad un sondaggio sulle tecnologie wireless. La gran parte del campione ritiene di poter trarre notevole vantaggio dalla disponibilità degli accessi WLAN in mobilità e, comunque, fuori dall'ufficio (dato cumulativo del 60%).



*Figura 4.1 - Vantaggi attribuiti alle Wireless LAN.*

A fronte di questi vantaggi occorre però osservare che un sistema di comunicazione basato sul wireless, se non ben progettato, potrebbe non assicurare i benefici sperati soprattutto a causa del degrado delle prestazioni in funzione del numero di utenti, dell'ambiente operativo e dei requisiti di sicurezza necessari. Per far fronte a questi problemi sono state proposte e realizzate numerose soluzioni in grado di garantire livelli di sicurezza e qualità di servizio accettabili, e comunque paragonabili ai corrispondenti livelli conseguiti per mezzo delle reti cablate.

#### 4.1.3. AMBITI ORGANIZZATIVI E APPLICAZIONI WIRELESS

Le tecnologie wireless rappresentano un elemento di innovazione importante con cui si possono realizzare numerosi servizi e applicazioni. Nell'ambito delle esigenze della Pubblica Amministrazione una particolare attenzione deve essere posta ai seguenti contesti applicativi, per alcuni dei quali vengono riportati esempi di servizi già operativi, in cui l'introduzione di soluzioni wireless può comportare numerosi benefici:

- automazione della forza lavoro per i servizi tecnici;

- attività per la gestione delle scorte;
- gestione dei beni della PA;
- supporto di attività all'interno dell'area lavorativa mediante sistemi wireless;
- gestione delle flotte;
- erogazione di servizi al cittadino;
- servizi per utenti professionali erogati in modalità wireless.

Le applicazioni di automazione della forza lavoro per attività di assistenza tecnica sono finalizzate a supportare l'esecuzione di mansioni da parte di personale specializzato che si svolgono in aree distribuite in un territorio anche vasto. Per la trasmissione dei dati, tali applicazioni si basano sulle reti cellulari e sulle reti wireless e sono a supporto di coloro che effettuano la manutenzione di impianti e attrezzature dislocati nel territorio, degli operatori logistici in fase di consegna della merce, degli infermieri e dei medici durante l'assistenza domiciliare e degli operatori degli enti municipali (corpo dei vigili urbani o gestori di servizi).

Un esempio applicativo può essere fornito prendendo a riferimento il servizio di manutenzione e controllo degli impianti di una utility locale nel campo dell'energia elettrica (illuminazione pubblica, impianti semaforici, impianti elettrici e termici, etc.). Mediante l'uso di tecnologie wireless i tecnici addetti possono gestire tutto il processo di pianificazione e di esecuzione degli interventi; mediante l'impiego di terminali i tecnici sono in grado di connettersi sia a reti UMTS che a reti Wi-Fi, al fine di avere a disposizione l'accesso alla Intranet aziendale sulla quale è possibile svolgere da remoto tutte le operazioni che un tempo venivano eseguite unicamente in sede.

Le attività logistiche di gestione delle scorte sono destinate alla movimentazione e all'immagazzinamento delle merci nelle grandi piattaforme logistiche, nei magazzini sino alla gestione di piccoli stock o della merce sugli scaffali. Tra queste applicazioni troviamo, quindi, oltre a quelle proprie dei magazzini dei produttori, degli operatori logistici e dei centri di distribuzione della grande distribuzione organizzata, anche le applicazioni a supporto del rifornimento delle scorte nei punti di distribuzione, negli armadietti di farmaci degli ospedali, e così via.

Rientra nella gestione dei beni dell'amministrazione qualsiasi applicazione finalizzata all'identificazione e al monitoraggio dei beni strumentali utilizzati nell'organizzazione (apparecchiature, macchinari, cespiti aziendali, pallet), ma anche dei prodotti alimentari freschi, dei farmaci (per il controllo del ciclo di vita), dei cassonetti per la raccolta dei rifiuti, delle cartelle cliniche, dei libri nelle biblioteche, etc. Le tecnologie wireless sono uno strumento molto utile per la gestione dei beni delle amministrazioni e i servizi offerti da integratori e manifatturieri che le utilizzano sono in continua crescita. In particolare la disponibilità di sensori a basso costo consente di realizzare nuovi servizi o arricchire le funzionalità di quelli già esistenti.

Nell'ambito dei servizi per la gestione dei beni dell'amministrazione il tracciamento dei beni aziendali all'interno degli stabili dell'azienda è di grande interesse e, a tale scopo,

già numerose applicazioni utilizzano tag Wi-Fi che vengono “incollati” al bene che si desidera tracciare come, ad esempio, i videoproiettori aziendali per poterne conoscere sempre collocazione e stato di utilizzo. Altri sviluppi delle funzionalità di localizzazione stanno nascendo per la il supporto avanzato alla sicurezza dell'edificio. In tale contesto si possono utilizzare, ad esempio, i tag Wi-Fi in dotazione a singoli individui per verificare l'accesso degli stessi in particolari aree aziendali. Tali dispositivi sono usualmente alimentati a batteria, che può durare anche anni, e solitamente possono integrare sensori di tipo RFID. Essi inviano le informazioni acquisite per mezzo dei tag RFID attraverso la rete Wi-Fi presente con livello di precisione adattabile in funzione dei requisiti dell'applicazione.

Esistono numerose applicazioni che vengono svolte all'interno di contesti circoscritti come stabilimenti produttivi, ospedali, biblioteche e che possono beneficiare dell'introduzione di soluzioni wireless. Esse sono molto eterogenee, sia per funzionalità supportate sia per settori di riferimento. Vi rientrano le applicazioni a supporto dell'accesso da parte di medici e infermieri alla cartella clinica elettronica del paziente ricoverato, quelle a supporto del monitoraggio dello stato di avanzamento della produzione e della movimentazione dei semilavorati negli stabilimenti produttivi, quelle di consultazione e gestione documentale nelle biblioteche, e così via. Le principali funzionalità che possono essere evidenziate sono:

- visualizzazione di informazioni (ad esempio una cartella clinica, uno schema tecnico di un impianto);
- acquisizione di informazioni (lo stato di avanzamento di un lotto in produzione, i valori dei parametri vitali rilevati su un paziente);
- automazione di specifici task operativi (il dosaggio dei componenti nei processi produttivi dei farmaci).

Un esempio di possibile applicazione si ha, in campo medico, mediante la realizzazione di un'applicazione a supporto del lavoro quotidiano dei dietisti finalizzata a raccogliere i dati dei pazienti durante la visita quotidiana del medico con la quale, grazie ai dati raccolti, modificare ogni giorno la dieta direttamente in base alle esigenze del paziente. Questo può avvenire grazie all'utilizzo di palmari collegati ad un server attraverso la rete Wi-Fi dell'ospedale, mediante un'associazione automatica delle diete ai menù pianificati, che vengono così comunicati in cucina, insieme a un riepilogo di tutte le pietanze da preparare.

Nell'ambito della gestione delle flotte sono incluse tutte le applicazioni finalizzate a una gestione efficiente delle flotte di veicoli (automobili, mezzi di trasporto pubblico, camion, furgoni, etc.) che trasportano persone o beni materiali. Generalmente queste applicazioni permettono di monitorare sia la posizione del mezzo sia, in casi più evoluti, alcuni parametri relativi allo stato del mezzo stesso. Queste applicazioni sono tipicamente diffuse tra gli operatori logistici a supporto del trasporto di beni e nell'ambito del trasporto pubblico anche se non mancano contesti applicativi più particolari come, per

esempio, il controllo e il monitoraggio delle autoambulanze o la gestione delle squadre di tecnici manutentori operanti sul territorio.

I servizi erogati al cittadino sono relativi a tutte le applicazioni finalizzate alla gestione della relazione l'utente finale o semplicemente di connettività per superare il digital divide. Esempi di applicazioni che rientrano in questa categoria sono: l'invio di SMS all'utente/cliente a scopo informativo, servizi dispositivi nel mobile banking per la gestione delle transazioni tributarie, servizi anagrafici e di pubblica utilità. Tale ambito include, inoltre, alcune applicazioni in cui l'azienda o la PA ha bisogno di identificare il cliente per erogare i propri servizi (per esempio l'accesso a servizi di sportello).

In alcuni comuni sono in corso sperimentazioni che coinvolgono numerose decine di migliaia di cittadini e migliaia di aziende nelle quali l'obiettivo è l'utilizzo di tecnologie di comunicazione wireless per portare collegamenti a banda larga dove non essi sono disponibili. Il vantaggio più rilevante per il territorio è la possibilità, per gran parte della popolazione e per le aziende, di avere a disposizione un collegamento a banda larga che altrimenti, in una tradizionale logica di mercato, non si potrebbe realizzare.

Esistono molte soluzioni wireless per consentire a un dipendente di una amministrazione di connettersi al proprio ufficio nei momenti in cui si trova in mobilità o fuori dal proprio posto di lavoro consentendo l'accesso ai medesimi servizi di cui disporrebbe stando alla propria scrivania. Tali applicazioni possono avere molteplici funzionalità, quali:

- gestione della posta elettronica;
- gestione dell'agenda;
- gestione dei contatti e della rubrica;
- accesso ad applicativi di calcolo, videoscrittura, supporto a presentazioni, ecc.
- accesso alla Intranet aziendale;
- accesso ad applicativi legati all'operatività del singolo individuo.

## 4.2. ELEMENTI FONDAMENTALI PER LA REALIZZAZIONE IN WIRELESS DI UN SERVIZIO

Le tecnologie wireless utilizzate devono essere progettate per soddisfare i requisiti delle diverse tipologie di servizi che si vogliono erogare. In linea di principio esse possono essere catalogate in due grandi categorie:

- reti per comunicazioni;
- reti di sensori per sorveglianza e controllo.

Le soluzioni wireless sono facili da implementare ed offrono la flessibilità che permette il collegamento di dipendenti e ospiti alla rete dell'amministrazione con velocità e affidabilità tali da supportare anche le applicazioni più esigenti, compresi servizi video e audio. Questo è particolarmente vantaggioso negli edifici più antichi, dove non esiste o

non è possibile installare un impianto di cablaggio strutturato e dove anche le reti di sensori, utilizzate per realizzare sistemi di sorveglianza e allarme, sono di difficile collocazione. Inoltre le due tipologie di reti possono eventualmente essere integrate consentendo la realizzazione di funzionalità di telecontrollo qualora la rete di comunicazione sia collegata anche con reti esterne (ad esempio: Internet e reti per dati).

Complessivamente una rete wireless della singola amministrazione deve consentire l'accesso a:

- reti esterne (Internet, SPC, etc.);
- reti di altri edifici;
- eventuali reti di sensori.

La scelta delle tecnologie per la realizzazione della rete deve tenere conto:

- delle caratteristiche dei servizi che la rete di comunicazione deve supportare;
- del livello di QoS desiderato (vedi Box 6);
- delle possibilità di accesso a reti esterne;
- della capacità della rete (legata sia all'area di copertura e che al numero di utenti che usufruiscono del servizio);
- della possibilità di gestire la rete in maniera flessibile;
- dei requisiti di scalabilità;
- della (eventuale) integrazione della rete di comunicazioni con reti wireless di sensori;
- della (eventuale) necessità di integrazione delle tecnologie wireless usate per la rete WLAN con altre tecnologie di tipo WPAN;
- dei requisiti di sicurezza.

In generale, per realizzare una soluzione wireless, possono essere identificati, in maniera esemplificativa, i quattro blocchi funzionali mostrati nella seguente *Figura 4.2*:

- i dispositivi di utente;
- le applicazioni che utilizzano il wireless;
- l'infrastruttura informativa;
- la rete wireless.



Figura 4.2 - Soluzione wireless articolata in componenti.

Più in dettaglio:

- **Terminali d'utente:** identificano le piattaforme hardware/software attraverso le quali gli utenti del sistema accedono ai servizi e alle applicazioni mediante la rete di telecomunicazione quali: comunicazione voce, servizi dati, accesso a Internet, servizi di localizzazione etc. Tipici dispositivi sono: smart phones, PDAs, PC portatili, i dispositivi specificamente studiati per servizi di posta elettronica, lettori di carte di credito, tag RFID etc.
- **Applicazioni:** sono le funzionalità offerte dal sistema di telecomunicazione agli utenti. Possono spaziare da quelle necessarie a migliorare la produttività personale degli utenti, alla sicurezza, al monitoraggio etc. In relazione alle specifiche necessità del committente, della soluzione wireless, questo tipo di applicazioni possono essere classificate come:
  - *off-the-shelf*, ossia pacchetti di applicazioni già disponibili sul mercato e, solitamente, di tipo “general purpose”;
  - sviluppate appositamente per il cliente;
  - *re-purposed*, ossia pacchetti riadattati o specializzati a partire da applicazioni già esistenti.
- **Infrastruttura informativa:** rappresenta gli archivi informativi al quale l'utente può accedere attraverso la soluzione wireless; solitamente consiste nelle applicazioni di back-end, basi di dati, sistemi per la realizzazione del servizio voce, sistemi per la fornitura del servizio email ed altri componenti necessari per il supporto dei requisiti informativi legati alle applicazioni wireless di interesse.
- **Rete wireless:** realizza i collegamenti ossia fornisce i meccanismi di trasporto dell'informazione tra i dispositivi degli utenti o tra il dispositivo dell'utente e le altre reti (corporate networks, Internet, etc.), siano esse di tipo cablato o wireless. I dispositivi che realizzano queste reti possono essere eterogenei, possono presentare costi diversi e fornire prestazioni anche molto varie in termini di copertura, ritmi di trasmissione, etc. Dal punto di vista tecnologico sono disponibili molte soluzioni tra le quale: infrarossi, Bluetooth, WLAN, sistemi di rete radiomobile, satellite, etc.
- **Infrastruttura di implementazione e supporto:** è il sistema di supporto alle operazioni e di gestione dei dati che completa la realizzazione dell'intera soluzione wireless. Esso comprende tutti gli strumenti e le risorse necessarie affinché i dati di utente relativi alle applicazioni siano opportunamente salvaguardati all'interno del sistema (back-up), protetti contro intrusioni e cancellazioni indesiderate e sincronizzati con le applicazioni attive. Dal punto di vista delle applicazioni offerte agli utenti questa infrastruttura garantisce anche che le applicazioni siano sempre aggiornate, che operino in modo corretto e che la rete sia efficiente, massimizzando l'uso delle risorse disponibili e garantendo il dovuto livello di qualità di servizio (QoS) dei servizi da erogare agli utenti. Sebbene questa infrastruttura di gestione non sia specifica di un sistema wireless, è importante comunque destinarle notevo-

le attenzioni affinché garantisca alte prestazioni: in un gran numero di casi nel progetto di una soluzione wireless la scelta delle funzioni dell'infrastruttura di supporto e gestione è cruciale al fine di assicurare il corretto funzionamento dell'intero sistema. Infine è importante ricordare i requisiti di sicurezza in quanto è necessario prevedere dei meccanismi robusti che garantiscano un livello di protezione dei dati trasmessi adeguato per ciascuna tipologia di servizio. Le funzionalità di sicurezza riguardano principalmente l'autenticazione e la protezione dei dati trasmessi e, le soluzioni attualmente disponibili che forniscono un buon livello di protezione, includono le tecnologie WPA, WPA2, RC4 e AES. Sempre nell'ambito della sicurezza occorre infine precisare che è necessario proteggere la rete da attacchi esterni e quindi attuare meccanismi per la difesa che comprendano la rilevazione delle intrusioni, la verifica degli accessi non desiderati anche mediante l'uso della firma digitale che garantisce l'identità dell'utente.

Le soluzioni più complesse, solitamente orientate all'utenza business o alla Pubblica Amministrazione, sono anche in grado di servire utenti dotati di terminali realizzati con tecnologie differenti, offrono un'ampia varietà di applicazioni e servizi di comunicazione e, sovente, sono anche in grado di far comunicare utenti registrati in reti diverse.

### BOX 6 - Qualità del servizio

Con l'avvento delle comunicazioni multimediali (voce, video, dati) le reti di telecomunicazioni devono trasportare segnali con caratteristiche anche molto varie e, di conseguenza, con requisiti assai diversificati di qualità di servizio (in gergo si usa la sigla QoS dall'espressione in lingua inglese "Quality of Service"). Occorre quindi essere in grado di caratterizzare le prestazioni della rete nel dare supporto ai vari servizi con il dovuto livello di qualità e potere imporre anche le cosiddette garanzie di QoS. È necessario dunque essere in grado di fissare, già in fase di contratto, valori misurabili di parametri chiave sulla base dei quali attivare con certezza gli accordi con le associate penali, a garanzia sia del fornitore di servizio che del cliente: tali accordi, la cui severità è un elemento determinante per determinare il costo del servizio, sono chiamati SLA (ossia "Service Level Agreement").

La QoS può essere valutata sulla base di alcuni indici di prestazione che sono variamente rilevanti in relazione alle caratteristiche intrinseche del servizio: ad esempio, il ritardo subito da un pacchetto (medio, massimo, jitter) è importante nel trasporto voce in tempo reale; la probabilità di perdita del pacchetto è importante per certe classi di transazioni dati ad esito garantito; la probabilità di blocco è rilevante nella telefonia; e così via.

Le reti basate su IP in passato non hanno adottato in modo nativo meccanismi di QoS in quanto la filosofia del *best effort* (ossia del massimo sforzo) garantiva comunque la fruizione dei servizi non in tempo reale per cui in origine Internet era stata disegnata. Con il tempo tale approccio tende a modificarsi con l'espansione del

panorama di servizi offerti tra cui: i servizi streaming multimediali che richiedono un bit rate minimo garantito per funzionare bene; il servizio voce su IP (VoIP) che ha requisiti stringenti sul ritardo; quelli per l'accesso a dati critici che possono richiedere livelli garantiti di sicurezza e qualità di trasferimento di dati.

In particolare per la voce la qualità percepita in termini soggettivi dall'utente viene quantificata in termini di MOS (*Mean Opinion Score*), rappresentato per mezzo di una scala di valori, da 1 (qualità "Bad") a 5 (qualità "Excellent"). Le metodologie studiate da ITU e ETSI per misurare il MOS sono definite in due raccomandazioni ITU-T, P.800 e P.830. Le misure soggettive includono sia test sulla qualità di ascolto che sulla qualità della conversazione. Sono state anche sviluppate tecniche di misura "oggettiva" della QoS che cercano di fornire in maniera automatizzata i valori ottenuti con il MOS. Esse sono basate su conoscenze di psico-acustica e utilizzano come approccio l'inserimento di un campione di audio nella rete ed il confronto tra il campione originale e quello ricevuto in uscita dalla rete o da un suo componente.

### 4.3. SERVIZI E TECNOLOGIE NELL'AMBITO DEL SISTEMA PUBBLICO DI CONNETTIVITÀ

Il percorso di evoluzione per la fornitura dei servizi di connettività parte dall'attuale modello, basato sulla fornitura centralizzata, verso la realizzazione di un rete federata. In tale scenario il Sistema Pubblico di Connettività diventa l'elemento centrale di un "ecosistema" nel quale le soluzioni tecnologiche devono essere aperte all'introduzione di sempre nuovi servizi. Le soluzioni wireless sono un elemento di fondamentale importanza in quanto garantiscono la flessibilità necessaria per la realizzazione di servizi in grado di evolversi in maniera rapida ed economicamente sostenibile con le trasformazioni di amministrazioni e cittadini.

Inoltre, nel quadro della situazione italiana, il wireless è una soluzione privilegiata per garantire che la totalità delle utenze, ovunque si trovino, possa essere raggiunta dai nuovi servizi al fine di superare un digital divide tecnologico consentendo di superare i vincoli morfologici del territorio e l'assenza di condizioni economiche favorevoli.

Per favorire lo sviluppo diffuso dei servizi a larga banda nelle aree non coperte né copribili con strumenti offerti dal mercato l'utilizzo del wireless in ambito PA consente la realizzazione di interventi:

- di tipo precompetitivo (aperti all'utilizzo da parte di tutti gli operatori di mercato);
- dove nessun operatore sia intenzionato ad operare direttamente (backbone ad alta velocità);
- di sostegno agli operatori dove per gli stessi non si presenti un mercato remunerativo per sostenere un'offerta concorrenziale (distribuzione degli accessi in aree a bassa densità abitativa);

- di sostegno alla domanda sull'intero territorio regionale attraverso l'estensione del SPC mediante soluzioni wireless.

#### 4.3.1. SERVIZI

L'utilizzo di soluzioni wireless per l'evoluzione dei servizi della pubblica amministrazione, anche in ambito SPC, e per l'interconnessione tra i diversi enti ed organizzazioni operanti nella PA, consente alcuni vantaggi immediati in termini di:

- ottimizzazione dei costi;
- qualità del servizio e sicurezza;
- elevate prestazioni in termini di banda e tempi di risposta;
- estensione della raggiungibilità e della copertura;
- mobilità ed efficienza operativa.

L'evidenza di tali vantaggi appare più chiara se si tiene conto delle dinamiche di servizio erogate o erogabili nell'immediato futuro. Il panorama di applicazioni realizzabili mostra come l'introduzione del modello proposto dal SPC sia fondamentale per l'attivazione delle numerose opportunità che l'utilizzo delle soluzioni wireless rende disponibili. In questo scenario l'SPC si configura come l'elemento di riferimento per tutte le soluzioni tecnologiche basate sul wireless che la PA, locale e nazionale, sta progettando per aggiornare o attivare nuovi servizi verso il cittadino e verso se stessa.

In tale quadro appare utile identificare due tematiche fondamentali:

- Servizi wireless per la Pubblica Amministrazione;
- Servizi wireless per il cittadino.

All'interno dei servizi wireless per la pubblica amministrazione ricadono tutte quelle le applicazioni che possono essere realizzate per offrire direttamente servizi a dipendenti ed operatori. Essi forniscono la necessaria flessibilità affinché dipendenti ed operatori possano accedere ai propri documenti e servizi, indipendentemente dal luogo in cui essi si trovano, anche in occasione della variazione del terminale in dotazione. I requisiti fondamentali per un'erogazione ottimale di tali servizi sono: l'accesso multicanale, la flessibilità, la prontezza all'uso (ready-to-use) e la presentazione su richiesta (on-demand). La gamma dei possibili servizi spazia da quelli che richiedono stringenti requisiti di ritardo e jitter, per supportare videoconferenza e VoIP, a quelli erogabili in modalità broadcasting, che permettono di raggiungere contemporaneamente un numero elevato di utenti, all'accesso Internet o alla propria casella e-mail [53].

Di seguito si riporta un'ulteriore classificazione dei servizi a dipendenti ed operatori: servizi per dipendenti ospiti presso altre sedi della propria oppure ospiti presso altre amministrazioni (dati, voce e multimediali);

- servizi per dipendenti in mobilità sul territorio (dati, voce e multimediali);
- servizi per fornitori esterni operanti presso la PA;
- servizi informativi diffusivi in ambito intranet (SMS, MMS, TV mobile, ecc.);

- servizi di logistica (beni, attrezzature e risorse);
- servizi di infomobilità.

Appare, infine, necessario evidenziare come le tematiche relative alle tecnologie wireless debbano anche entrare nel processo decisionale dedicato alla pianificazione degli interventi del Facility Management. L'obiettivo è l'identificazione degli ambiti di intervento nei quali le soluzioni wireless rappresentano un elemento importante nella progettazione integrata degli impianti tecnologici.

Per quanto riguarda i servizi ai cittadini ci si limita a riportare una classificazione (non esauriente) di alcune opportunità:

- servizi informativi su base territoriale (SMS, MMS, TV mobile ecc.);
- servizi di logistica (beni, attrezzature e risorse);
- teleassistenza;
- servizi di infomobilità;
- servizi di pubblica istruzione;
- servizi amministrativi;
- servizi per l'ambiente ed il territorio;
- servizi per la sicurezza del cittadino;
- connettività in area urbana e rurale.

La varietà degli scenari applicativi per la PA cui si è poco sopra fatto cenno, è assai ampia; inoltre, si possono identificare alcune classi di servizio che potrebbero rivestire interesse prioritario in molteplici contesti: nel seguito ci si riferirà agli insiemi di servizi classificati nella *Tabella 4.1* che potrebbero essere assunti alla base di un'estensione wireless.

Wi-MAX	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2005
<i>Servizi Multimediali di Base(SMB)</i>	Videoconferenza (VDC)	Alta Qualità (HQ) Qualità Standard (LQ)
	Fonia su IP (VoIP)	
	Telesorveglianza Ambientale (TSA)	
<i>Servizi di Connettività e di Rete (SCR)</i>	Servizio di Connettività IP (CIP)	Best Effort (BE) Enhanced Quality (EQ)
	Servizio di Gestione Indirizzi IP (GI)	
	Domain Name System (DNS)	
<i>Servizi di Supporto e di Assistenza (SSA)</i>	Servizio di Help Desk (HD)	
	Servizio di Provisioning, Configuration and Change Management (PCCM)	
	Servizio di Manutenzione e Riparazione (MR)	

Tabella 4.1 - Articolazione dei servizi di potenziale interesse per la PA.

Oggetto prioritario della rete wireless è la fornitura di Servizi Multimediali di Base (SMB) da individuarsi ai fini dell'estensione dei servizi del SPC a zone non ancora raggiunte da collegamenti a larga banda. Si dovranno altresì includere, per la necessaria operatività della rete, Servizi di Connettività e di Rete (SCR) e Servizi di Supporto e di Assistenza (SSA).

Con le tre espressioni si intende rispettivamente quanto segue:

- Un Servizio di Connettività e di Rete (SCR) è un servizio a livello di rete che viene sviluppato a supporto degli SMB per garantire la connettività IP, ivi inclusi i servizi di gestione indirizzi e DNS (Domain Name System).
- Un Servizio Multimediale di Base (SMB) è un servizio a livello applicativo che può essere utilizzato sia individualmente che per realizzare servizi applicativi specifici più complessi; a titolo di esempio la videoconferenza è, in questo ambito, definita come servizio applicativo di base in quanto può essere utilizzato sia singolarmente, per realizzare una comunicazione audio-video tra postazioni remote, sia come elemento di servizio di base per la realizzazione di servizi applicativi più complessi come e-learning, telemedicina, etc.
- Un Servizio di Supporto e di Assistenza (SSA) è un servizio atto a consentire la corretta operatività degli SMB e degli SCR, attraverso un servizio di Help Desk per la clientela, completo dei necessari servizi di manutenzione e riparazione e di gestione delle configurazioni.

#### **4.3.1.1. Servizi wireless per la Pubblica Amministrazione**

L'introduzione di tecnologie wireless nella Pubblica Amministrazione per il supporto delle attività dei dipendenti e per l'erogazione dei servizi ai cittadini è un elemento fondamentale nella strategia di aggiornamento tecnologico in ambito pubblico. Negli ultimi anni i servizi in mobilità hanno assunto un ruolo molto importante perché hanno aperto la strada a nuove applicazioni che vivono proprio in virtù della mobilità stessa. Nello scenario tecnologico di interesse per la pubblica amministrazione gli strumenti di maggior importanza sono:

- le reti wireless in area metropolitana (WMAN), basate su Wi-MAX;
- le reti wireless locali (WLAN) basate sulla famiglia di standard IEEE 802.11;
- le reti wireless d'area personale (WPAN) basate essenzialmente su Bluetooth e in un prossimo futuro su UWB (Ultra-Wide Band).

L'introduzione delle tecnologie wireless nella PA gioca un ruolo chiave sia per incrementare l'efficienza operativa (vantaggi nel back office) sia per semplificare e velocizzare il rapporto con i cittadini (vantaggi nel front office). Le linee guida allo sviluppo di progetti wireless nelle PA vengono descritte attraverso alcuni scenari applicativi che possono

costituire un modello di riferimento per l'introduzione di massa di servizi basati su tali tecnologie.

Attualmente sono già disponibili molte soluzioni che, una volta introdotte nella PA, consentirebbero di trarre evidenti vantaggi in termini di diminuzione dei costi e di aumento dell'efficienza.

Gli scenari applicativi nell'ambito dei servizi destinati a dipendenti e operatori possono essere molteplici. Di seguito vengono descritti alcuni contesti applicativi che sono finalizzati a definire il potenziale ambito di effettivo utilizzo.

### **1) Connettività nomadica e mobile**

Uno scenario importante è rappresentato dalla possibilità di fruire, sempre e in ogni luogo, delle risorse tipiche del proprio ambiente di lavoro. L'obiettivo ideale è sintetizzato dal cosiddetto "*paradigma accendi e lavora*", in base al quale il dipendente di una qualunque amministrazione dovrebbe poter accendere il proprio computer in qualsiasi sede dell'ente in cui si trovi, o di una sede di un ente federato, essere riconosciuto e autenticato dalla rete che offre in quel luogo la copertura wireless ed accedere attraverso Internet, senza l'esecuzione consapevole di alcuna particolare procedura, ossia in modo trasparente e personalizzato, alle proprie risorse documentali e di elaborazione. In un'applicazione limite di questo paradigma i servizi dell'utente dovrebbero poter migrare in maniera trasparente e immediata da una rete all'altra e, soprattutto, senza interruzioni. In questo modo i dipendenti potrebbero fruire sia delle risorse presenti nel luogo dove si trovano, sia delle risorse tipiche della loro sede abituale. Per attuare un simile scenario il requisito indispensabile è rappresentato dalla possibilità di usufruire di connettività con tecnologie wireless rapide e sicure in regime "nomadico". In generale, il cosiddetto "nomadismo" è una funzionalità di rete fissa che svincola l'erogazione dello specifico servizio dalla particolare postazione fisica, liberando così il cliente della rete dal vincolo della presa di rete della propria postazione consentendo l'accesso da una qualsiasi porta di rete (eventualmente anche wireless).

In questo scenario il più generale termine "mobilità" può essere considerato facendo riferimento a diverse accezioni: si può avere sia la mobilità del servizio (ossia la sua disponibilità in contesti diversi), sia la mobilità del terminale, sia la mobilità dell'utente che, infine, la mobilità della rete per assicurare la disponibilità dello stesso servizio in modo trasparente senza soluzioni di continuità. Nei casi reali i vari significati del termine mobilità sono sovrapposti: un esempio noto è quello del "telelavoratore" che accede agli stessi dati e servizi quando è in ufficio, a casa o in viaggio. Un ulteriore riferimento va fatto alla convergenza dei servizi in mobilità e Internet che è in costante crescita. La figura seguente mostra il possibile processo di attivazione dei servizi di un lavoratore ospite presso una sede della propria amministrazione diversa da quella abituale.

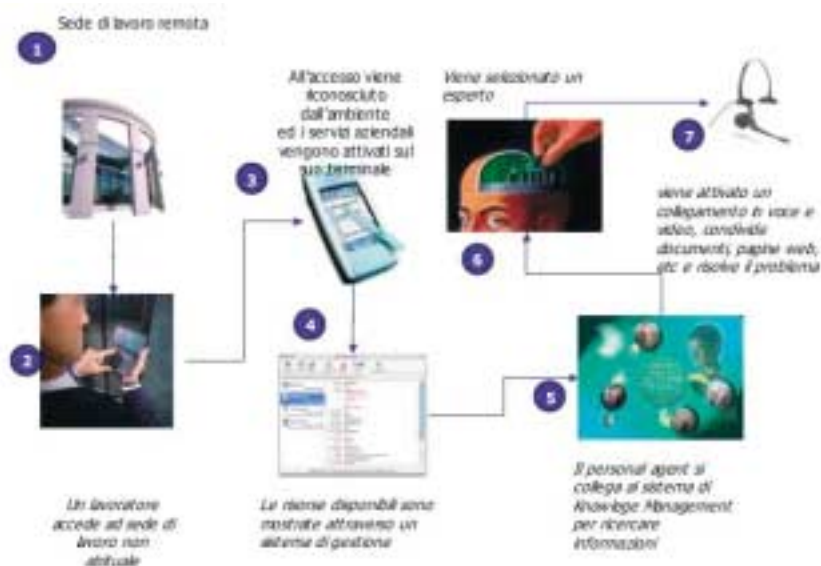


Figura 4.3 - Processo di attivazione dei servizi per un lavoratore in visita ad una sede non abituale della propria amministrazione.

In relazione ai servizi di base che possono essere erogati la telefonia IP consente di ottenere servizi voce su infrastrutture di rete basate su protocollo IP. I servizi basati su questa tecnologia consentono di abbattere i costi della telefonia rispetto a quelli realizzati su rete di fonia tradizionale, essa può essere utilizzata sia per comunicazioni all'interno dell'edificio o dall'edificio verso l'esterno e, grazie all'impiego delle tecnologie wireless, l'utente può usufruire dei servizi VoIP anche in condizioni di mobilità. Inoltre l'insieme dei servizi di messaggistica unificata consentono di integrare email, fax e voicemail all'interno di una sola interfaccia e di gestire tutte le comunicazioni da un telefono e/o un PC mediante una connessione Internet in un punto qualunque della struttura lavorativa.

## 2) Servizi di connettività per le utenze ospiti

Un altro scenario di interesse è relativo all'offerta di servizi di rete a utenti non direttamente strutturati nell'ambito dell'amministrazione che gestisce il servizio di accesso alla rete (profilo "guest"): infatti, la possibilità di accesso alla rete in modalità wireless da parte di fornitori di servizi esterni sta diventando una modalità di lavoro standard per molte realtà. In questo modo tali accessi possono venir disciplinati in maniera semplificata rispetto ai sistemi che richiedono infrastruttura e i vantaggi sono di carattere economico, logistico ed amministrativo.

## 3) Tracciamento degli asset aziendali

La necessità di gestire le informazioni per la logistica dei beni e dei servizi dell'amministrazione sta anche facendo nascere numerose applicazioni per tracciare gli "asset" aziendali. Nell'ambito di tali servizi si può pensare, ad esempio, che un'amministrazione

voglia tracciare le risorse di uso comune (videoproiettori, stampanti, altri dispositivi multimediali, auto nel parcheggio, etc.) per poterne conoscere sempre collocazione ed utilizzatore al fine di poterne pianificare opportunamente l'utilizzo. Le figure seguenti (Figura 4.4 e Figura 4.5) mostrano esempi di applicativi che permettono di visualizzare i beni all'interno degli ambienti di un'azienda.

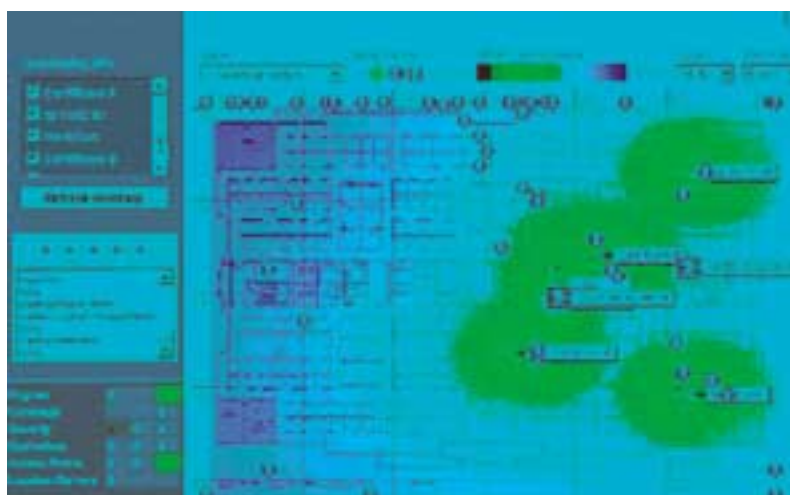


Figura 4.4 - Mappa degli asset presenti una determinata area aziendale (Fonte: Cisco).



Figura 4.5 - Sistema di videosorveglianza e controllo remoto (Fonte: Bull).

#### 4) Servizi di infomobilità

I servizi di infomobilità per il controllo delle risorse sul territorio potranno consentire alle amministrazioni di acquisire e gestire informazioni sullo stato di congestione delle

strade per migliorare la mobilità veicolare, pianificare interventi di riqualificazione per ridurre l'impatto ambientale dovuto all'inquinamento e gestire direttamente le proprie flotte di veicoli operative sul territorio.

### **5) Servizi di informazione**

Infine sono di grande interesse i servizi informativi per i dipendenti dell'amministrazione che possono essere veicolati oltre che con SMS o email anche attraverso servizi di IPTV distribuiti mediante sistemi Wi-Fi o Wi-MAX oppure mediante DTT.

### **6) Servizio di pianificazione degli interventi del Facility Management**

Il concetto di "edificio intelligente", meglio conosciuto come Building Automation, identifica quelle soluzioni tecnologiche finalizzate a consentire la gestione integrata e automatica degli impianti tecnologici, delle attrezzature informatiche e delle reti di comunicazione. In tali edifici l'azione coordinata di specifiche soluzioni tecnologiche consente di ottimizzare i processi gestionali, di ridurre i costi di occupazione e di accrescere la produttività organizzativa. Le tecnologie informatiche e di telecomunicazioni costituiscono lo strumento privilegiato per il raggiungimento di questo obiettivo, consentendo l'integrazione delle risorse impiantistiche presenti nell'edificio e dei beni e delle risorse umane presenti.

Le dotazioni "intelligenti" dell'edificio non possono essere concepite come un sistema a se stante, ma devono essere pensate e progettate congiuntamente alle specifiche impiantistiche, costruttive e strutturali necessarie all'organizzazione. L'attività di progettazione deve essere condotta congiuntamente dai diversi progettisti specialisti e dai diversi operatori del settore delle costruzioni e del settore informatico e delle telecomunicazioni, i quali devono interagire per unire le rispettive conoscenze specialistiche con il fine di raggiungere elevati livelli prestazionali per quanto riguarda il funzionamento dei singoli sistemi e dell'edificio nel suo insieme.

Il Wireless Building Automation (WBA) deve pertanto comprendere la progettazione delle strutture edilizie, integrate ad un sistema informatico e di comunicazioni, affinché i vari sottosistemi che interagiscono tra loro a diversi livelli possano consentire, oltre che ad un'economia nella gestione, un miglioramento complessivo delle caratteristiche ambientali e dell'estensione della vita utile dell'edificio mediante costante e tempestiva manutenzione.

Le aree che devono essere prese in considerazione nella progettazione di un edificio intelligente sono tre:

- l'area dell'automazione degli impianti,
- l'area del trattamento delle informazioni
- l'area della comunicazione.

Gli impianti che si riferiscono a queste tre aree devono essere progettati fino alla definizione delle caratteristiche tecniche peculiari senza, tuttavia, perdere di vista le relazioni che essi hanno con la struttura edilizia e, soprattutto, le sinergie ottenibili attraverso la loro integrazione; se si considera, infatti, che normalmente i costi di questi impianti assor-

bono un terzo dell'intero costo di costruzione e se a questo si aggiunge l'elevato costo di gestione di tali strutture, si comprende l'importanza di un'accurata progettazione che eviti i sovradimensionamenti o le ridondanze della strumentazione impiantistica da installare ma che, soprattutto, consenta di ottimizzare i costi di gestione. Il processo di progettazione edilizia ha come fine ultimo la costruzione di ambienti dalle caratteristiche flessibili che si possono adattare continuamente ai cambiamenti delle organizzazioni.

Un edificio intelligente può essere un edificio adibito ad uso commerciale o di una pubblica amministrazione, un albergo, un condominio. All'interno di un edificio intelligente esistono delle reti di sensori che facilitano le operazioni di gestione e di manutenzione dell'edificio stesso. Alcuni esempi sono:

- controllo del condizionamento dell'aria;
- allarme anti-intrusione;
- allarme anti-incendio;
- allarme per le perdite d'acqua;
- allarme per le perdite di gas.

In generale, i servizi che possono essere erogati attraverso una rete wireless possono essere identificati in quattro aree:

- sicurezza;
- servizi wireless per gli ospiti;
- voce su IP e dati;
- localizzazione.

A titolo di esempio alcuni sistemi di videosorveglianza cominciano ad essere realizzati mediante reti di telecamere wireless (network cameras) per controllare luoghi, persone o processi produttivi; essi consentono di mettere in sicurezza anche aree in cui risulta difficoltoso portare l'infrastruttura di comunicazioni oppure per realizzare installazioni temporanee o a basso costo.

#### ***4.3.1.2. Servizi wireless per il cittadino***

Di seguito sono delineati altri scenari di servizio che possono essere fruiti direttamente dai cittadini anche in modalità wireless.

##### **1) Servizi di informazione e di gestione dei tributi**

Una WebTV municipale può, ad esempio, promuovere i servizi che l'amministrazione eroga al territorio distribuiti mediante sistemi Wi-Fi o Wi-MAX o mediante DTT. In tal modo le amministrazioni possono essere in grado di fornire in tempo reale gli avvisi relativi al proprio funzionamento (servizi, orari, prenotazioni, etc.) e le notizie relative agli eventi di arte, cultura, sport, etc. Altre informazioni possono riguardare le notizie sulla scuola e l'edilizia scolastica, sul territorio, sull'ambiente e sulle opere pubbliche. L'esempio mostrato nella *Figura 4.6* illustra le fasi mediante le quali eseguire una transazione per il pagamento di tributi comunali.



Figura 4.6 - Esempio di pagamento dei tributi mediante DTT (Fonte: Accenture).

**2) Servizi di connettività**

La navigazione Internet come servizio comunale gratuito erogata anche in modalità wireless può permettere a tutti l'accesso veloce "always on" alla rete, riducendo le limitazioni imposte dal "digital divide". Già sono numerose le iniziative sperimentali per i cittadini e per coloro che visitano alcune città.

**3) Teleassistenza**

Un altro scenario di servizio è relativo allo sviluppo di nuove forme di teleassistenza e telemonitoraggio che consentono sia la riduzione dei costi di ospedalizzazione che la diminuzione del costo dell'assistenza domiciliare. Ulteriori progressi nel campo della teleassistenza sono legati all'introduzione di nuove tipologie di sensori, come per esempio i biosensori, per il monitoraggio continuativo e l'invio in tempo reale dei parametri biologici rilevati dai vari dispositivi elettromedicali del paziente al Centro Servizi preposto. La Figura 4.7 mostra il processo per la redazione di un certificato medico mediante soluzioni wireless.



Figura 4.7 - Redazione di certificato medico (Fonte: Accenture).

La figura seguente mostra un'applicazione in campo medicale nella quale sono stati utilizzati sensori wireless su pazienti per fare analisi sui dati clinici in remoto (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Applicazioni di teleassistenza remota (Fonte: Accenture).

In campo medico ed assistenziale un'altra possibile applicazione delle tecnologie wireless è nell'ambito delle attività di primo soccorso. La figura seguente Figura 4.9 mostra il possibile processo mediante il quale il medico compie il suo lavoro utilizzando un dispositivo wireless che è in grado di scambiare dati con la strumentazione diagnostica e collegarsi a sistemi informativi.

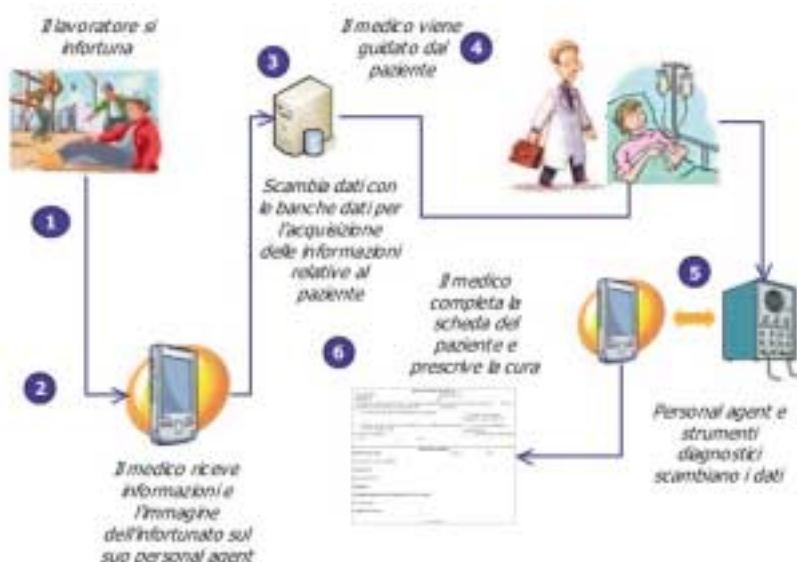


Figura 4.9 - Esempio di intervento medico assistito per mezzo di un terminale wireless.

#### **4) Servizi di pubblica istruzione**

I principali servizi applicativi che possono essere di interesse per questo settore sono: e-learning (ivi inclusa l'interazione a distanza tra docenti e allievi, anche solo per la valutazione degli elaborati), videoconferenza multimediale, accesso a biblioteche elettroniche e mediateche (ivi incluso il collegamento tra biblioteche e l'accesso da remoto alle informazioni per i giovani e per gli anziani).

Le sedi potenzialmente coinvolte sono le scuole pubbliche di ogni ordine (elementari, medie, superiori).

#### **5) Servizi amministrativi**

I principali servizi applicativi che possono essere di interesse per questo settore sono: telelavoro, portale per l'accesso ai servizi, accesso a banche dati, trasmissione telematica di notifiche, atti, documentazione anagrafica, videoconferenza, servizi elettorali telematici, acquisizione dati in tempo reale di flussi informativi in collegamento con comuni, ministeri, consolati. Le sedi potenzialmente coinvolte sono gli uffici comunali, provinciali e regionali.

#### **6) Servizi per l'ambiente ed il territorio**

I principali servizi applicativi che possono essere di interesse per questo settore sono: accesso a informazioni ambientali e territoriali georeferenziate, trasmissione dati da centrali automatiche di monitoraggio dell'inquinamento ambientale, collegamenti di emergenza nell'ambito delle attività di protezione civile, promozione turistica (informazioni sui luoghi, sulla situazione alberghiera, etc.)

Le sedi potenzialmente coinvolte sono: vigili del fuoco, guardia forestale ed altre organizzazioni della protezione civile.

#### **7) Servizi per la sicurezza del cittadino**

I principali servizi applicativi che possono essere di interesse per questo settore sono: accesso al sistema informativo territoriale, telesorveglianza di accessi e altri punti critici, sorveglianza del territorio, attraverso rete di punti di monitoraggio con sensori video e/o wireless (dighe, fiumi, boschi,..), e remotizzazione in centri di controllo specializzati (prevenzione incendi e altre calamità naturali, controllo delle aree archeologiche, parchi naturali, etc.), sorveglianza dell'ambiente urbano, attraverso il controllo ottico degli accessi nei centri abitati (giardini, luoghi isolati, aree pedonali, etc.), potenziamento della sicurezza di attività commerciali o industriali in strade a rischio.

Le sedi potenzialmente coinvolte sono: polizia, carabinieri, guardia di finanza, protezione civile, etc.

#### **8) Infomobilità e turismo**

Molte amministrazioni stanno anche sperimentando soluzioni di controllo remoto degli

accessi per la gestione dei servizi di parcheggio e/o l'ingresso nelle ZTL con la realizzazione di sistemi tipo "crediti di mobilità".

Infine, considerando ulteriori scenari di servizio, i sistemi wireless possono essere di supporto per l'istituzione di politiche di trasporto pubblico a chiamata, per aree a minor densità abitativa e/o con minor domanda (es. comunità montane e rurali), o per la distribuzione di informazioni turistiche arricchite dalla visualizzazione di mappe e dalle informazioni relative alle iniziative culturali in corso.

### 4.3.2. TECNOLOGIE

Operatori radiomobili e Wireless Internet Service Provider si configurano già ora come coloro che abilitano l'accesso remoto al SPC indipendentemente dalla tipologia di infrastrutture di rete impiegate.

Nel SPC gli utenti avranno la possibilità di accedere all'ambito Intranet dell'amministrazione o ad Internet attraverso hot-spot pubblici [54].

Il servizio di accesso Wi-Fi utilizza gli Hot Spot, distribuiti sul territorio, che sono costituiti da Access Point (AP) che supportano tutti lo standard 802.11b ed in parte anche quello 802.11g funzionanti in modalità mista.

Oltre che dagli AP, un Hot Spot è costituito anche da uno o più switch che realizzano LAN attestata su un router che lo collega alla rete IP del fornitore; tale router, denominato "Access Zone Router" (AZR) svolge le funzioni di DHCP per la LAN dell'Hot Spot e di generatore di tunnel "Generic Routing Encapsulation" (GRE) verso il Centro Servizi Wi-Fi (CS-Wi-Fi) del fornitore.

All'interno del CS-WiFi una componente di selezione del servizio chiamata "Service Selection Gateway" (SSG) raccoglie il traffico proveniente dagli Hot Spot e lo ridirige automaticamente sul portale di autenticazione dove l'utente dovrà autenticarsi per l'accesso al servizio.

#### 4.3.2.1. Ambito Internet

Per realizzare l'accesso all'ambito Internet verranno utilizzate una *user-id* e *password* assegnate e riservate a tale ambito; queste verranno passate al server RADIUS che ne verifica l'autenticità e, in caso positivo, inoltra ai dispositivi presso il CS-WiFi i profili di servizio a cui l'utente è abilitato. Il traffico dati diretto al di fuori della LAN dell'Hot Spot passa attraverso il CS-WiFi che implementa funzioni di *firewall*. L'accesso da Internet verso i client avviene sempre tramite il CS-WiFi.

Gli indirizzi IP degli utenti, assegnati dal fornitore, sono pubblici ed appartengono ad un Autonomous System del fornitore che provvede, attraverso il CS-WiFi, ad annunciarli verso Internet. La figura seguente riassume quanto detto:

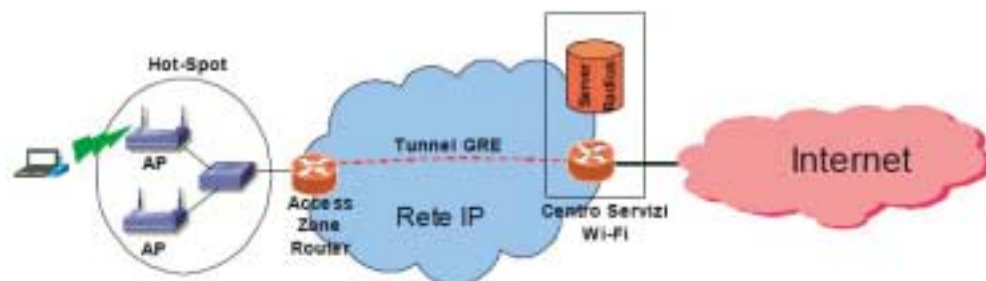


Figura 4.10 - Modalità di accesso all'ambito Internet (Fonte: Telecom Italia).

#### 4.3.2.2. Ambito Intranet

Per l'accesso in Wi-Fi all'ambito Intranet viene utilizzata una "Virtual Private Network" (VPN). In particolare, dopo aver effettuato l'accesso all'ambito Internet come descritto in precedenza, occorre instaurare un tunnel IPSEC dal client remoto fino al nodo di servizio del fornitore riservato al gateway centralizzato delle VPN IP MPLS chiamato "Multiservice Centralized Gateway" (MGC); successivamente viene svolta dal server RADIUS la fase di autenticazione e autorizzazione e, se l'esito è positivo, il traffico viene instradato forzatamente sulla connessione sicura verso la Intranet di appartenenza.

L'autenticazione avviene sulla base di una *user-id* e *password* assegnate e riservate a tale ambito; quando la sessione IPsec è attiva, il traffico dell'utente in mobilità è instradato verso la Intranet di appartenenza, e tale traffico potrà anche essere rilanciato verso Internet dal punto di accesso dell'Amministrazione. Questa configurazione, che impedisce la contemporaneità di accesso diretto nei due ambiti, garantisce la sicurezza della Intranet dell'Amministrazione.

La figura seguente riassume quanto detto:

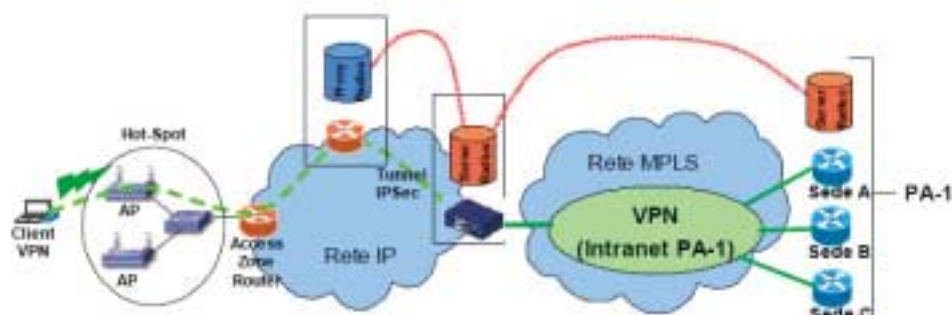


Figura 4.11 - Modalità di accesso all'ambito Internet (Fonte: Telecom Italia).

Un'altra modalità mediante la quale gli utenti possono accedere alla Intranet dell'amministrazione o ad Internet sarà attraverso collegamenti contrattualizzati con operatori di reti mobili pubbliche terrestri (PLMN) GPRS o UMTS (Fig. 3.12). In questo caso il fornitore dovrà erogare servizi di trasporto IP che permettano il trasporto tra la rete dell'operatore PLMN di un'Amministrazione e l'ambito Intranet della stessa.

I servizi di accesso PLMN sono definiti dalle seguenti componenti:

- componente di accesso (CdA), che costituisce la modalità di connessione del fornitore PLMN al SPC.
- componente di Trasferimento (CdT), che caratterizza le garanzie di prestazioni fornite per i differenti tipi di traffico sul collegamento tra la rete del fornitore PLMN e il Punto di Accesso al Servizio (PAS) dell'Amministrazione;
- componente di AAA.

#### 4.3.2.3. Componente di accesso

Il servizio si configura come fornitura di una interfaccia di gateway tra l'ambito Intranet di una Amministrazione e la rete del relativo operatore PLMN dove ogni operatore e la relativa Amministrazione sono associati ad una interfaccia fisica dell'apparato VRF-aware (Virtual Routing and Forwarding) del fornitore che eroga il servizio stesso.

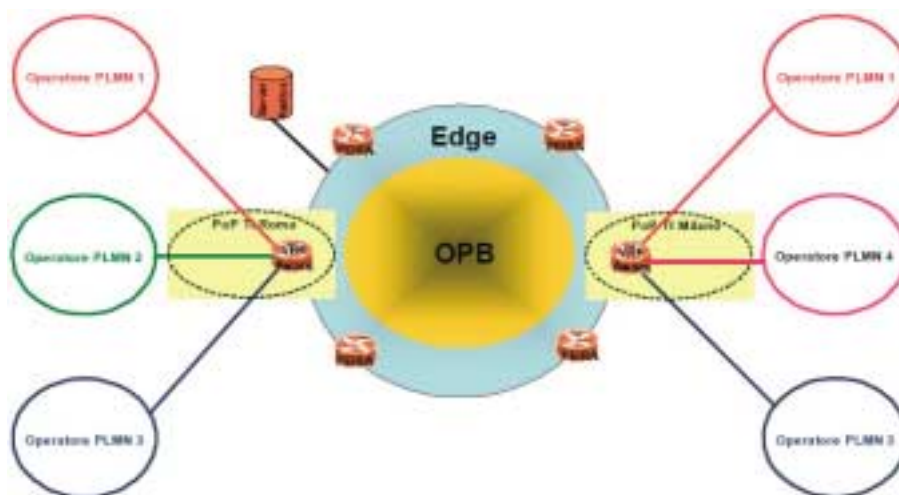


Figura 4.12 - Architettura dei servizi di accesso PLMN (Fonte: Telecom Italia).

Tali interfacce sono caratterizzate dalle velocità riportate nella tabella successiva:

	CdA	
Fascia 1 (valori in Kb/s)	Fascia 2 (Valori in Mb/s)	Fascia 3 (Valori in Gb/s)
64	10	1
128	34	2,5
256	100	
512	155	
768		
2048		

Tabella 4. 2 - Velocità di accesso.

#### 4.3.2.4. Componente di trasferimento

Per realizzare l'accesso del traffico proveniente dalla rete dell'operatore PLMN all'ambito Intranet occorre integrare le VPN dell'operatore con quelle realizzate dal fornitore. Il modello scelto dal fornitore prevede la attivazione di un tunnel GRE (Generic Routing Encapsulation) tra il "GPRS Gateway Support Node" dell'operatore PLMN e l'apparato VRF-aware del fornitore e l'associazione di detto tunnel alle VRF delle relative Amministrazioni. Una volta associata la VPN dell'operatore PLMN alla VRF dell'apparato del fornitore, il traffico del terminale potrà essere instradato all'interno della VPN IP MPLS dell'Amministrazione. Per poter veicolare il traffico sulla CdT (componente di trasferimento per i servizi di trasporto) corretta viene effettuato il marking (IPPrecedence/DSCP, Differented Services Code Point) del traffico in ingresso alla rete del fornitore.

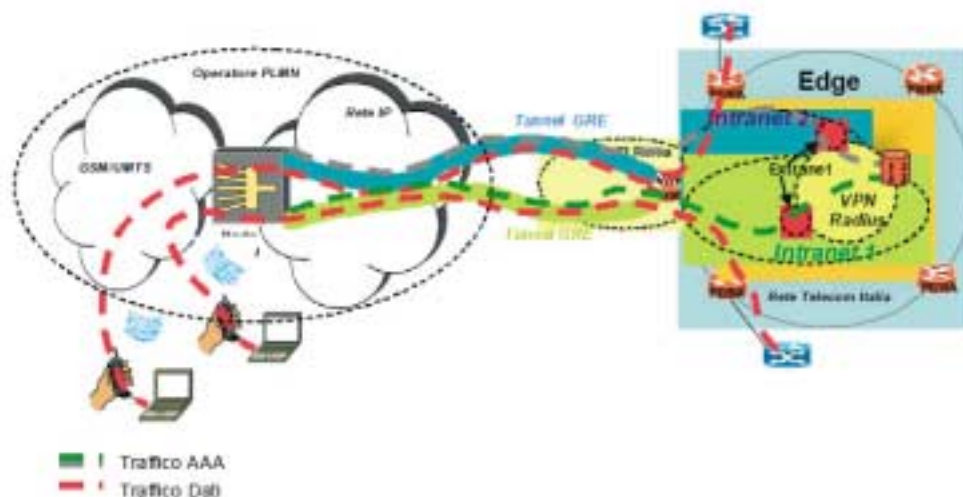


Figura 4.13 - Architettura della soluzione con Radius in-band (Fonte: Telecom Italia).

#### **4.3.2.5. Componente di AAA**

La componente è vincolata alla tipologia di servizio offerta dall'operatore PLMN; infatti l'accesso alla Intranet dell'Amministrazione può essere subordinato ad una doppia autenticazione:

1. su base SIM card associata allo specifico APN (Access Point Note) dedicato: a carico dell'operatore e trasparente all'utente;
2. su base *username/password*: può essere a carico del fornitore.

In questo secondo caso, il traffico di autenticazione, diretto verso il RADIUS del fornitore viaggia all'interno dello stesso tunnel GRE del traffico dati.



## 5. Pianificazione delle reti wireless per connessioni indoor

### 5.1. PROCESSO DI PIANIFICAZIONE

Sebbene nella pianificazione delle reti wireless vi possano essere numerose differenze dettate dalla tecnologia prescelta, dalle frequenze impiegate, dall'ambiente di propagazione e dai servizi da erogare, che rendono difficile una impostazione di tipo generale del problema, vi sono tuttavia elementi sistematicamente presenti nel processo di pianificazione che, per ragioni di concretezza, nel seguito preferiamo illustrare con riferimento ad una situazione specifica ma particolarmente rilevante: il caso delle reti WLAN (*wireless local area network*) in ambienti indoor [57].

Questo Capitolo, pertanto, descrive un tipico processo di pianificazione che dovrebbe essere seguito quando si vuole installare un'infrastruttura di rete locale che contenga porte d'accesso wireless. Il progettista deve considerare lo stato dell'arte per garantire che la rete wireless risponda ai previsti requisiti di scalabilità, disponibilità, prestazione radio (da valutarsi almeno in termini di copertura, livelli di interferenza e capacità), qualità del servizio, *roaming* e sicurezza. Lo scopo della pianificazione consiste infatti nell'ottimizzare le prestazioni complessive del sistema con vincoli prefissati sul budget e, eventualmente, con riuso di apparati esistenti. Sovente, infatti, la rete wireless viene integrata con una rete cablata esistente e quindi deve essere cura del progettista esaminare lo stato dell'infrastruttura esistente, raccomandando una strategia in termini di riuso e ammodernamento.

Il processo di pianificazione di una rete wireless aiuta pertanto a controllarne la realizzazione in modo sistematico, raccogliendo in anticipo tutte le informazioni rilevanti che sono analizzate al fine di prevenire correzioni di progetto che potrebbero determinare penalità economiche in costruzione o in esercizio.

Di seguito, quindi, con riferimento ad una configurazione Wi-Fi (standard IEEE 802.11), si illustra una procedura sistematica per la realizzazione di una rete wireless indoor, enfatizzando gli aspetti tecnologici peculiari (copertura, sicurezza, etc.). La procedura pone l'accento sulle scelte sistemiche più che sulle configurazioni degli apparati, quali *access point*, *switch* o *router*, considerando le principali fasi della realizzazione e tentando di evidenziare quali siano le scelte da eseguire e le relative motivazioni. Chiaramente ogni progetto presenta le sue specificità, quindi la procedura riportata ha lo scopo di fornire i principali elementi di indirizzo.

Il processo di pianificazione è articolato in più fasi, di regola organizzate sequenzialmente [61], [62]:

- Definizione dei requisiti;
- Analisi dell'ambiente operativo;
- Pianificazione della copertura;
- Pianificazione della rete;

## 5.2. DEFINIZIONE DEI REQUISITI

La definizione dei requisiti del sistema è forse la fase più importante per ottenere una corretta pianificazione di una rete wireless. In questa fase devono essere chiaramente individuati gli scopi del progetto ed evidenziati i potenziali problemi cui si potrebbe andare incontro. I progettisti e gli utenti devono collaborare strettamente per individuare i requisiti dell'infrastruttura. I progettisti devono comprendere le esigenze degli utenti e tradurle in specifiche tecniche per la rete wireless.

La definizione dei requisiti è composta di una prima fase dedicata alla raccolta dei dati di interesse e una seconda fase che riguarda l'analisi dei dati selezionati. Affinché il sistema realizzato risponda effettivamente alle aspettative, l'analisi dei requisiti risulta una fase delicata del processo. Va sottolineato che diversi gruppi di utenti potranno esporre esigenze differenti, legate alle differenti finalità e modalità previste d'impiego della rete. In questa fase devono essere analizzate le richieste eterogenee al fine di operare compromessi fra le diverse esigenze dei gruppi.

Due aspetti peculiari del progetto della rete meritano attenzione: la scalabilità e la disponibilità. La scalabilità qualifica la capacità della rete di continuare a funzionare supportando ulteriore traffico o nuovi applicativi, ma rispettando i requisiti già fissati. La dinamica dei servizi è causa di rapidi cambiamenti, quali: aggiunta di utenti, applicativi, sedi e connessioni con l'esterno. La scalabilità è oggi forse uno degli scopi primari della pianificazione di una rete. La seconda importante proprietà della rete da garantire mediante appropriata pianificazione, è una alta disponibilità. A differenza della scalabilità, la disponibilità può essere quantificata. Essa viene definita come la percentuale di tempo in cui la rete è utilizzabile dall'utente finale. A seconda dei servizi che la rete deve supportare e della criticità che un'eventuale indisponibilità del servizio causerebbe, è necessario introdurre ridondanza nella rete così da ottenere il desiderato grado di disponibilità. Sono quindi le tipologie dei servizi a guidare i requisiti di disponibilità di una rete e l'utente o i gruppi di utenti devono trasmettere al progettista della rete le loro esigenze in tal senso.

Una riflessione particolare va fatta sul requisito di prestazione della rete, argomento vasto e di difficile messa a fuoco, in quanto i dati forniti dagli utenti sono spesso imprecisi o incompleti. In generale, invece, i requisiti ingegneristici caratterizzanti le prestazioni di una rete possono essere specificati in modo tecnicamente preciso. Parametri quali

capacità, throughput, ritardo, jitter, consentono di valutare in modo quantitativo come sta operando la rete. Tali parametri sono misurabili mediante opportuni strumenti. Alcune definizioni utili sono le seguenti:

- **Capacità:** massima velocità di trasmissione dei dati, nel rispetto della condizione di ricezione affidabile.
- **Throughput:** quantità di dati effettivamente trasmessi nell'unità di tempo. Mentre la capacità è legata al tipo di trasmissione fisica, il throughput è un indice dell'effettivo utilizzo della capacità. Esso è dunque una variabile legata a fattori quali la tecnica di accesso al mezzo, il carico della rete, il tasso di errori, etc.
- **Ritardo** (o latenza): il tempo che le informazioni impiegano ad attraversare la rete. Questo è un parametro importante, specialmente nelle applicazioni in cui avviene una comunicazione in tempo reale, quali telefonia e videoconferenza. In questi casi ritardi elevati possono compromettere la qualità percepita del servizio. I ritardi sono dovuti a molte ragioni e spesso non possono essere evitati (distanze elevate, tempi di elaborazione consistenti,...). Chiaramente un requisito preciso per la rete dipende dal tipo di applicazioni da supportare, ma una soluzione semplice per ridurre i tempi di latenza può consistere nell'aumentare la banda della rete. Tuttavia, anche tecniche come le code con priorità, la compressione e la sagomatura del traffico possono migliorare le prestazioni della rete.
- **Jitter:** la variazione di ritardo di ricezione dei dati in funzione del tempo. Il jitter è rilevante in relazione al funzionamento dei circuiti di sincronizzazione oltre a poter avere effetti, in taluni casi, sul corretto riordinamento dei pacchetti dati in ricezione.

I requisiti che devono essere presi in considerazione sono numerosi, e nel seguito viene riportato un elenco di aspetti da non trascurare.

- **Requisiti economici**

Come per ogni progetto, anche la realizzazione di una rete wireless deve essere correttamente pianificata in termini di costi, tempi di esecuzione e risorse umane necessari. In particolare, per valutare l'efficacia dell'intervento, deve essere quantificato l'impatto dell'inserimento delle nuove tecnologie nelle procedure operative esistenti in azienda, valutandone l'incidenza sulla produttività.

- **Requisiti funzionali**

La nuova rete deve essere pianificata per poter supportare quanto meno i servizi attualmente offerti dalla rete esistente, e possibilmente nuovi servizi. Devono essere definite le tipologie dei servizi che la rete deve supportare; ad esempio accesso ad Internet, VoIP, videoconferenza, rete privata virtuale (Virtual Private Network, VPN), instant messaging, file sharing, etc.

- **Requisiti di prestazione**

Per ogni servizio devono essere definite le specifiche di qualità che la rete deve rispettare in termini di copertura, capacità, hardware compatibile, etc. Particolare attenzione, come detto precedentemente, deve essere dedicata ai requisiti di scala-

bilità e di disponibilità dell'infrastruttura. È necessario pianificare con anticipo la crescita della rete sia dal punto di vista della dimensione fisica dei collegamenti, sia dal punto di vista della possibilità di supportare nuove applicazioni.

- **Requisiti di gestione**

La pianificazione deve tenere conto anche delle esigenze degli amministratori della rete, definendo le interfacce e gli strumenti per la relativa gestione. Si devono definire i requisiti in termini di numero di utenti e indirizzi IP, i criteri di allocazione delle risorse informatiche, di autenticazione degli utenti e di supporto tecnico. Se l'infrastruttura wireless richiede l'integrazione con le infrastrutture di rete cablate già esistenti all'interno dell'edificio, ciò può condizionare questa classe di requisiti.

- **Requisiti di sicurezza**

Le reti wireless condividono con le reti cablate i problemi di sicurezza e le relative specifiche. Devono essere tuttavia definite ulteriori specifiche di sicurezza relative alle tipologie di violazione caratteristiche di una rete wireless, quali: gli accessi non autorizzati, lo spionaggio, l'interferenza e il *jamming* (disturbo intenzionale). Nelle reti wireless i livelli conseguibili di sicurezza e privacy rappresentano oggi caratteristiche prioritarie nella valutazione della qualità del servizio potenzialmente offerto. Quindi le problematiche relative devono essere attentamente esaminate e integrate in ogni passo della pianificazione di rete. Nell'ambito della definizione dei requisiti è importante definire a priori e nel dettaglio le politiche di sicurezza e valutare i rischi connessi ad una loro carente o incorretta implementazione.

Va inoltre definito un piano di validazione del progetto, al fine di verificare che tutti i requisiti siano soddisfatti dalla rete realizzata. Al fine di facilitare il compito delle fasi successive è necessario che i documenti contenenti i requisiti siano chiari alle persone che devono pianificare e realizzare l'introduzione delle tecnologie wireless.

### 5.3. ANALISI DELL'AMBIENTE OPERATIVO

Per progettare correttamente una rete wireless è importante comprendere l'ambiente in cui essa verrà installata e l'architettura fisica e logica dell'eventuale rete cablata esistente. Un'analisi preliminare deve includere un esame della planimetria dell'ambiente dove avverrà l'installazione, per agevolare il lavoro di ispezione in loco.

L'analisi dell'ambiente parte normalmente dalle componenti strutturali, quali i muri, gli armadi, i pavimenti e, in particolare, le strutture in ferro. Vanno inoltre considerate le tipologie degli ambienti (uffici, sale riunioni, laboratori, etc.) e le relative condizioni di utilizzo.

Dell'architettura fisica della rete esistente devono essere determinate le posizioni delle porte Ethernet, degli *switch* e delle prese elettriche che alimentano i vari componenti della rete.

La struttura logica della rete esistente deve essere caratterizzata per poter garantire l'interoperabilità con la rete wireless. L'analisi deve includere la tipologia di instradamento IP, la posizione dei *router* e dei *gateway*, l'eventuale presenza di NAS (Network Attached Storage) e NAT (Network Address Translation). Vanno inoltre rilevate altre caratteristiche quali la presenza di VPN, di VLAN (Virtual LAN) e considerate le vigenti politiche di sicurezza aziendali. Il sopralluogo dell'ambiente mediante impiego di un analizzatore di spettro deve inoltre determinare la presenza di eventuali fonti di interferenza.

Riassumendo, i risultati di questa fase, che dovranno essere riportati in un documento, includono:

1. *Le informazioni sugli utenti*: nomi dei gruppi, indirizzi, persone di riferimento, etc.
2. *Le informazioni relative al sito*: struttura dell'edificio e arredamento, materiali di costruzione e possibili restrizioni alle installazioni degli apparati radio.
3. *I risultati relativi alle interferenze*: posizione e intensità delle fonti di interferenza.
4. *Le informazioni relative alle reti*: interfacce Ethernet, posizione e tipologia degli switch, posizione delle prese elettriche, dettagli di indirizzamento IP e delle configurazioni delle VLAN.

## 5.4. PIANIFICAZIONE DELLA COPERTURA

### 5.4.1. BILANCIO DI RADIOCOLLEGAMENTO

Allo scopo di progettare e dimensionare il sistema, è essenziale determinare la copertura degli Access Point (AP). A tal fine, occorre calcolare la perdita di percorso (path loss)  $L$  che può essere tollerata senza che il funzionamento del sistema venga pregiudicato.

Ciò è facilmente effettuabile, note le caratteristiche degli apparati. In particolare, occorre avere informazioni relative a:

- potenza trasmessa  $P_{Tx}$ ;
- sensibilità del ricevitore  $P_{Rx}$ , definita come il minimo segnale in Input richiesto per produrre uno specifico segnale di Output;
- guadagno massimo e diagramma di radiazione dell'antenna trasmittente e ricevente;
- perdite di cavi e connettori;
- guadagno di diversità in corrispondenza dell'AP e del terminale d'utente  $G_{dv}$ ;

Per determinare il valore massimo accettabile di path loss  $L$  e dunque il raggio di copertura di ogni AP, i parametri sopra elencati vengono impiegati nel computo del bilancio di radiocollegamento, effettuato utilizzando la ben nota formula di radiotrasmissione:

$$L [dB] = P_{Tx} [dBm] + G_{Tx} [dBi] - P_{Rx} [dBm] + G_{Rx} [dBi] + G_{dv} [dB] - M [dB]$$

in cui  $M$  è il margine considerato per perdite dovute ad effetti propagativi, quali il *fast fading* e lo *shadowing*. Per ottenere buone prestazioni della WLAN, è necessario prevedere un margine complessivo di 6-10 dB. Nella precedente relazione i termini  $G_{Tx}$  e  $G_{Rx}$

includono sia i guadagni di antenna, che le perdite dovute ai cavi coassiali ed ai connettori al loro ingresso.

Differenti sono le specifiche imposte dai vari paesi sul livello massimo di potenza consentito per prodotti WLAN:

- negli USA, la limitazione è di 1 W per prodotti WLAN impieganti modulazione DSSS;
- in Europa, il valore massimo ammesso per l'Effective Isotropically Radiated Power (EIRP) [dBm] = Potenza trasmessa [dBm] – perdite della linea di trasmissione [dB] + guadagno di antenna [dBi] è 100 mW (= +20dBm);
- in Giappone, il limite, specificato in termini di densità spettrale di potenza, è 10 mW/MHz.

Per ciò che concerne, invece, la sensibilità del ricevitore, questa dipende dal particolare *chipset* impiegato e dalla velocità di trasmissione dei dati. Ad un ritmo binario dei dati di 11 Mbit/s, tipico dello standard IEEE802.11b, la maggior parte dei produttori WLAN garantisce una sensibilità del ricevitore pari a -84 dBm, con un valore di FER (*frame error rate*) inferiore a  $10^{-5}$ .

Valori tipici degli apparati commerciali per il guadagno di antenna variano da 0 dBi a decine di dBi. Valori di guadagno maggiori possono essere ottenuti impiegando antenne con un fascio del diagramma di radiazione opportunamente direzionato. Esiste, infatti, un trade-off tra il raggio di copertura, ossia la massima distanza consentita tra trasmettitore e ricevitore, e l'angolo di copertura. Per il terminale utente il valore target della potenza misurata ai bordi dell'area di copertura è -70 dBm.

È dunque essenziale un'opportuna selezione delle antenne, che tenga conto delle specifiche caratteristiche dell'ambiente operativo, al fine di garantire un'elevata efficienza di copertura e di diminuire il livello di interferenza prodotto verso altri sistemi operanti nell'area.

Analogamente, la scelta dei cavi dovrà essere effettuata tenendo conto delle perdite di potenza del segnale introdotte nel percorso tra antenna e terminale. Un cavo LMR-195, tipicamente impiegato, ha attenuazione di 0,6 dB/m nella banda di frequenze a 2,4 GHz. L'inserzione di ciascun connettore determina, infine, una perdita di potenza addizionale valutabile in 1 dB.

La sensibilità del ricevitore non è il solo parametro da tenere in considerazione nel dimensionare un sistema; occorre considerare, infatti, anche il rapporto segnale/rumore, SNR, tra potenza di segnale e potenza di rumore termico ed interferenza, dovuta ad esempio alla presenza nell'area operativa di forni a microonde, lampade ad incandescenza, altre WLAN e altri sistemi di telecomunicazione operanti nella medesima banda. Al fine di operare con una determinata banda di trasmissione, con probabilità di errore tale da garantire che il servizio sia supportato, occorre in ricezione un livello minimo di SNR. I produttori di schede WLAN richiedono tipicamente SNR = 16 dB per trasmissioni a 11 Mbit/s; SNR = 11 dB a 5,5 Mbit/s; SNR = 7 dB a 2 Mbit/s e SNR = 4 dB a 1 Mbit/s. Il

requisito sul valore target di SNR misurato in ricezione risulta essere più vincolante rispetto alla specifica sulla sensibilità del ricevitore qualora si operi in ambienti caratterizzati da elevata rumorosità. In normali condizioni operative, in assenza di altre WLAN operanti alla stessa frequenza ed in assenza di rumore industriale, il livello di rumore è circa pari a -100dBm.

Si ricordi, inoltre, che è necessario che il bilancio di radiocollegamento sia effettuato in entrambi i versi della comunicazione, poiché le caratteristiche del trasmettitore e del ricevitore sono differenti.

Con riferimento ad alcuni dei più noti prodotti sul mercato, riportiamo nella seguente tabella i valori tipici per la sensibilità del ricevitore:

Dispositivo	11Mbit/s	5,5 Mbit/s	2 Mbit/s	1 Mbit/s
Orinocco PCMCIA Silver/Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
CISCO cards Aironet 350	-85 dBm	-89 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Edimax USB client	-81 dBm	n.a.	n.a.	n.a.
Belkin router/AP	-78 dBm	n.a.	n.a.	n.a.

Tabella 5.1 - Valori della sensibilità di ricevitori disponibili sul mercato (n.a. = non disponibile).

#### 5.4.2. PROPAGAZIONE DEL SEGNALE

Il segnale ricevuto risulta dalla sovrapposizione di repliche, attenuate, ritardate e sfasate del segnale trasmesso, come conseguenza della propagazione con percorsi multipli, di diversa lunghezza, la cui presenza è dovuta alla selettività in frequenza del canale di propagazione, nonché a riflessione e diffrazione causate da ostacoli incontrati nel percorso di propagazione. In ricezione il segnale ha, dunque, durata maggiore del segnale trasmesso, ossia è presente un fenomeno di dispersione nel dominio del tempo (*delay spread*).

In assenza di speciali provvedimenti, tale fenomeno conduce a degradazione delle prestazioni e, in definitiva, ad errori in ricezione. Al fine di mitigarne gli effetti, il ricevitore deve essere equipaggiato con un equalizzatore. Essendo, tuttavia, la capacità di un equalizzatore limitata, i produttori di schede WLAN definiscono un valore massimo tollerabile di *delay spread*, al fine di garantire un ritmo di errore minimo in corrispondenza di una certa velocità di trasmissione dei dati. Per schede IEEE 802.11b, valori tipici del *delay spread* massimo che può essere tollerato, per ritmo di errore per trama o FER (*frame error rate*) minore dell'1%, sono: 65 ns a 11 Mbit/s; 225 ns a 5,5 Mbit/s; 400 ns a 2 Mbit/s; 500 ns a 1 Mbit/s.

Al fine di minimizzare il numero di riflessioni del segnale trasmesso, è opportuno assicurare l'esistenza di condizioni di visibilità tra trasmettitore e ricevitore, e l'uso di antenne

direttive, anche per brevi distanze di collegamento. Ulteriori riflessioni possono essere introdotte dai cavi coassiali, dai connettori e dalle antenne se non adeguatamente progettati ed adattati.

### 5.4.3. ANALISI DELL'INTERFERENZA

Obiettivo di questa fase di pianificazione della rete è la scelta dei canali in frequenza più opportuni per il funzionamento degli AP e dei terminali di utente.

Poiché le WLAN operano per lo più nella banda ISM a 2,4 GHz, numerose sono le potenziali fonti di interferenza RF che mettono a rischio le prestazioni radio di tali reti. Il problema dell'interferenza risulta essere particolarmente critico per le WLAN a standard IEEE 802.11, a causa delle proprietà del protocollo di accesso al mezzo CSMA/CA da esse adottato. In caso di presenza di un segnale interferente su un dato canale, infatti, tale canale è considerato occupato e ogni altra trasmissione dovrà essere ritardata in attesa che il canale torni libero, ovvero in attesa che l'interferenza scompaia.

Mentre il numero delle celle e la posizione degli AP sono stabiliti nelle fasi preliminari della pianificazione di rete, il canale radio e le frequenze da allocare a ciascun AP sono fissati sulla base delle seguenti considerazioni:

- L'interferenza proveniente da altri elementi, sia appartenenti alla medesima rete WLAN, sia di altre reti, è rilevante ai fini della selezione delle frequenze di lavoro.
- Lo standard IEEE 802.11 fissa 14 canali radio parzialmente sovrapposti (*Figura 5.1*). Due canali aventi spaziatura di 5 canali non interferiscono tra loro. Ad esempio, il Canali 1, 6 ed 11 possono operare nella stessa area senza interferire reciprocamente. Il riuso di frequenza nell'IEEE 802.11 è dunque piuttosto limitato.
- Nel pianificare la copertura, una certa percentuale del margine di fading è riservata al fine di tener conto dei ricevitori collocati a bordo cella. Nel caso in cui due celle aventi stesse dimensioni si sovrappongano e, dunque, il livello del segnale proveniente dagli AP presenti intensità simili, il throughput di dati nell'area di sovrapposizione subisce un rilevante deterioramento se la spaziatura in frequenza tra i due AP è inferiore a 25 MHz (si assume che il livello con cui il segnale è ricevuto dai due AP sia sufficiente a conseguire la desiderata qualità di servizio e che, quindi, l'unica ragione del deterioramento delle prestazioni di rete sia l'esistenza di interferenza).

Gli effetti dell'interferenza possono essere ridotti tramite l'impiego di opportune contromisure, quali:

- Opportuna selezione della spaziatura tra i canali assegnati per le trasmissioni all'interno della rete.
- Diminuzione della potenza emessa dagli AP. Si tratta, infatti, di sistemi limitati in interferenza, non in potenza: l'aumento della potenza trasmessa da un AP condurrebbe all'adozione di un analogo provvedimento da parte degli altri AP nell'area di servizio, con conseguente aumento dell'interferenza e degradamento delle prestazioni.

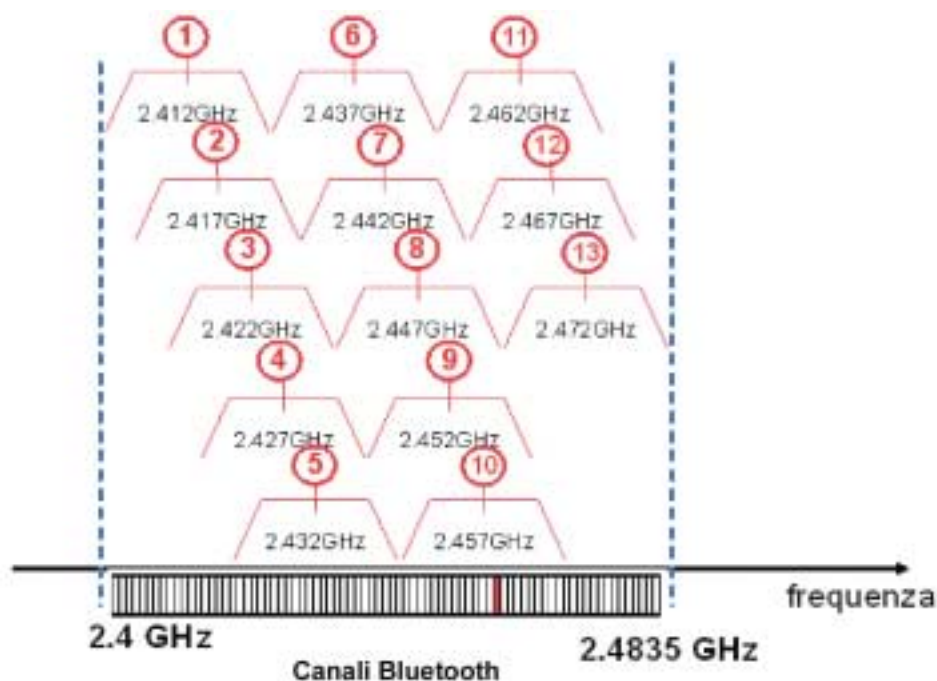


Figura 5. 1 - Canalizzazione dei sistemi Wi-Fi (IEEE802.11b) e Bluetooth (IEEE 802.15.1).

- Uso di antenne direttive, al fine di realizzare la diversità spaziale. A fronte di apparati con costi maggiori, numerosi sono i vantaggi derivanti dall'impiego della tecnica di settorizzazione al sito di cella:
  - Maggiore capacità, poiché per ogni cella sono disponibili più canali.
  - Livello di segnale più alto, grazie al guadagno introdotto da antenne di tipo direttivo.
  - Migliore riuso della banda attraverso la riduzione della distanza di riuso delle frequenze. Questo deriva dalla possibilità di orientare il fascio dell'antenna direttiva verso il suolo (operazione di "tilt" in installazione), con conseguente riduzione della potenza irradiata sul piano orizzontale oltre la zona di copertura prevista per l'AP.
  - Riduzione dell'interferenza conseguita tramite impiego di antenne direttive.
- Uso di pacchetti dati di dimensioni ridotte: si riduce la probabilità di collisione.
- Uso di schede PC ad alta velocità.
- Uso di schemi di allocazione dei canali, quali:
  - Allocazione dinamica dei canali o DCA (*Dynamic Channel Allocation*); ciascun canale può essere allocato in celle adiacenti, purché sia garantito l'obiettivo richiesto per il rapporto segnale utile/interferenza al ricevitore;

- Assegnazione ibrida dei canali HCA (*Hybrid Channel Allocation*); alcuni canali sono assegnati in modo statico all'interno di una cella, mentre altri sono assegnati dinamicamente;
- Condivisione del traffico (*Load Sharing*); tale meccanismo può essere adottato in caso di impiego della settorizzazione al sito di cella e si fonda sull'utilizzo delle aree di sovrapposizione tra settori adiacenti all'interno della stessa cella, anziché tra celle adiacenti; esso prevede, infatti, che il traffico bloccato all'interno di ciascun settore venga condiviso con il settore adiacente (*Figura 5.2*).

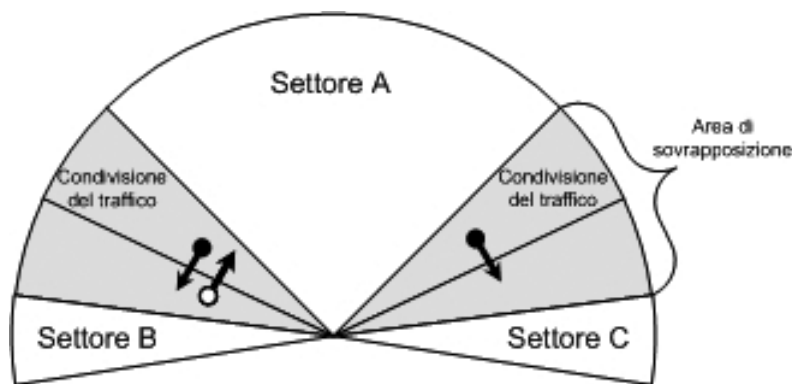


Figura 5.2 - Meccanismo di Load Sharing.

Diverse sono le fonti di interferenza in grado di produrre effetti dannosi sulle prestazioni delle WLAN di tipo IEEE 802.11. Tra esse:

- Interferenza proveniente da altre reti WLAN,
- Interferenza proveniente da altri sistemi radio nella stessa banda (Bluetooth, etc.)
- Interferenza proveniente da sistemi elettrici (forni a microonde, lampade ad incandescenza, etc).

#### **5.4.3.1. Interferenza dei dispositivi Bluetooth**

La tecnologia Bluetooth, adottata per realizzare comunicazioni wireless tra terminali mobili in alternativa alle connessioni via cavo, è impiegata per connessioni ad hoc. Le trasmissioni Bluetooth, confinate all'interno di aree di modeste dimensioni, sono caratterizzate da bassi ritmi binari (capacità massima all'interno di una piconet pari a 740 kbit/s) e bassi valori di potenza emessi. Ogni dispositivo Bluetooth è in grado di gestire simultaneamente la comunicazione con altri 7 dispositivi appartenenti alla stessa rete (*piconet*), sebbene un solo dispositivo alla volta sia autorizzato a comunicare con il

coordinatore della piconet (configurazione *master-slave*). Il Bluetooth opera nella banda ISM, tra 2,4 GHz e 2,485 GHz, usando uno schema di trasmissione a salto di frequenza o FHSS (*Frequency-Hopping Spread-Spectrum*). Per ridurre le interferenze il protocollo divide la banda in 79 canali, cui è associata una larghezza di banda pari ad 1MHz, e provvede a commutare tra i vari canali con frequenza di 1600 salti (*hop*) al secondo. La collisione tra pacchetti WLAN e Bluetooth è inevitabile se i due sistemi operano nella medesima area. Si stima che un hop in frequenza di un trasmettitore Bluetooth attivo si sovrapponga ad un canale WLAN con probabilità del 20% - 25%. Per determinare il livello di mutua interferenza tra i sistemi, sono però necessarie una serie di ipotesi. È difficile, se non impossibile, definire una topologia di rete, così come scenari d'utente e condizioni di propagazione "tipici"; tuttavia, adottando alcune ragionevoli assunzioni, è possibile procedere con l'analisi dell'interferenza tra i due sistemi. Tali ipotesi devono riguardare:

- La topologia di rete e la densità di utenti
- Il modello di propagazione
- Il carico di traffico per reti IEEE802.11b e Bluetooth

L'impatto di trasmissioni Bluetooth sulle prestazioni di un sistema WLAN è stato ampiamente discusso in letteratura. Il livello di interferenza generato da trasmettitori Bluetooth su un terminale IEEE 802.11b dipende ovviamente dal livello di potenza del segnale DSSS ricevuto dall'AP. Un sistema DSSS operante a 11Mbit/s fornisce servizio affidabile in presenza di un interferente a banda stretta (quale una trasmissione Bluetooth) all'interno della sua banda passante, purché il rapporto segnale/interferenza (SIR) misurato sia maggiore di circa 10 dB. Questa approssimazione è conservativa ed è stata verificata tramite test di laboratorio. Se l'interferenza Bluetooth eccede la soglia di SIR = 10 dB, il terminale DSSS subirà interferenza sul pacchetto inviato, nel solo caso in cui ci sia sovrapposizione in tempo e frequenza. La probabilità che un trasmettitore Bluetooth attivo emetta nella banda passante del sistema DSSS in un dato periodo di hop è, in ogni caso, solo del 25%. Inoltre, è importante sottolineare che la probabilità di collisione è ulteriormente ridotta dal fatto che un trasmettitore Bluetooth è attivo per soli 366 ms in ciascun periodo di hop di 625 ms. Stime accurate del throughput della rete IEEE 802.11b in presenza di interferenza Bluetooth dovrebbero, infine, tenere conto della possibilità di collisioni Bluetooth con i pacchetti di riscontro (ACK) e con l'overhead di rete dovuto alla ripetizione della fase di contesa per l'accesso al mezzo, nel caso in cui la stazione trasmittente non riesca a ricevere l'ACK. Ciò provoca una degradazione del throughput WLAN da circa 6 Mbit/s in assenza di interferenza a 3,5 Mbit/s per dimensione del pacchetto di 750 byte (caso peggiore). In conclusione, è possibile formulare le seguenti considerazioni:

- Il grado di interferenza prodotto da Bluetooth su WLAN dipende dalle condizioni locali di propagazione, dalla densità di piconet Bluetooth e dal carico di traffico entro la piconet Bluetooth.
- La vulnerabilità delle WLAN IEEE 802.11b in tecnologia DS-SS all'interferenza Bluetooth aumenta in funzione del raggio di copertura WLAN.
- Sistemi IEEE 802.11b in tecnologia DSSS ad elevati ritmi binari mostrano leggere degradazioni delle prestazioni in presenza di significativa interferenza Bluetooth.
- Le IEEE 802.11b High Speed WLAN mostrano buona affidabilità persino in ambienti con elevata densità di piconet Bluetooth.

#### **5.4.3.2. Altre interferenze nella banda ISM a 2,4 GHz**

Come è noto la banda ISM (Industrial Scientific Medical) è di uso collettivo. In essa possono trasmettere liberamente una serie di dispositivi elettrici quali apparecchiature appunto di tipo industriale, scientifico o mediche. A tali sistemi si aggiungono un insieme di elettrodomestici comunemente utilizzati nelle case dei cittadini o negli uffici quali lampade ad incandescenze, sistemi per il riscaldamento, sistemi di video sicurezza o forni a microonde. In quest'ultimo caso, la frequenza centrale è contenuta nel intervallo da 2450 MHz a 2458 MHz, producendo interferenza verso i sistemi WLAN operanti nelle sotto bande di interesse. Nel caso delle lampade, esse si basano sulla stimolazione a 2,4 GHz di gas in un contenitore di vetro, che si illumina. Sebbene la loro potenza è inferiore ad altre lampade di vecchio modello, possono creare notevoli problemi di interferenza in tale banda, limitando il funzionamento dei dispositivi wireless.

#### **5.4.4. STIMA DELLA CAPACITÀ DI UNA RETE WLAN**

Nello sviluppare una rete WLAN è essenziale conoscere il numero di utenti che possono essere supportati dagli AP. Ciò consente, infatti, di determinare se la WLAN può essere impiegata per specifiche applicazioni. Le caratteristiche proprie del protocollo di accesso al mezzo implementato nell'IEEE 802.11 rendono particolarmente complesso determinare l'effettiva capacità della rete.

Il ritmo massimo teorico di trasporto dati nell'IEEE 802.11b, ad esempio, è di 11 Mbit/s. A causa, tuttavia, di meccanismi di CSMA/CA impiegati nello strato MAC ed all'uso di trame di management sia da parte dello strato fisico, sia da parte dello strato di data link, l'effettivo ritmo dati nelle WLAN è di circa 6,5 Mbit/s.

Come mostrato in *Tabella 5.2* l'aumento del numero degli utenti attivi determina un aumento del numero delle collisioni e, di conseguenza, la diminuzione con legge esponenziale del throughput per singolo utente.

Ambito applicativo	Tipo di traffico	Carico di traffico per utente	Numero di utenti simultanei		
			11 Mbit/s	5,5 Mbit/s	2 Mbit/s
WLAN aziendale	Web, email, trasferimento file	150 kbit/s	40	20	9
Rete di uffici	Tutti i tipi di applicazioni su IP	300 kbit/s	20	10	4
Accesso pubblico	Web, email, reti private virtuali	100 kbit/s	60	30	12

Tabella 5.2 - Tipico carico di traffico e numero di utenti simultaneamente serviti in differenti ambienti operativi.

Il numero di utenti supportati all'interno di una cella è limitato anche dalla potenza di elaborazione dell'hardware dell'AP: alcune funzionalità richiedono un consumo elevato di risorse di calcolo; tra esse ci sono funzioni quali l'autenticazione, l'associazione, la crittazione, il roaming, etc.

È possibile operare un confronto tra le differenti versioni dello standard IEEE 802.11 in termini di capacità (Tabella 2.2).

Le considerazioni sopra riportate dimostrano la difficoltà di determinare la capacità di una rete WLAN tramite semplici calcoli o formule approssimate. Sarebbe, piuttosto, necessario ricorrere a sofisticati modelli matematici, che tengano conto del fatto che l'accesso al mezzo è nelle reti WLAN un evento casuale. Esistono tuttavia anche alcuni metodi di valutazione della capacità di una rete WLAN, di più agevole implementazione pratica, che verranno discussi nel prosieguo.

- **Metodo euristico:** un primo metodo di dimensionamento di una rete WLAN consiste nell'installare gli AP e vedere cosa accade. Questo approccio pur non richiedendo molto investimento in termini di tempo ed impegno computazionale, non consente di dedurre molto in merito alla capacità massima della rete, fino a quando non si verificano i primi malfunzionamenti; il che può avvenire anche molto dopo l'installazione del sistema. Un secondo metodo, piuttosto manuale, di pianificazione di una rete WLAN consiste nel testare effettivamente la capacità di rete mediante un gruppo di utenti cui venga chiesto di mettere alla prova le prestazioni del sistema. Il numero di tali utenti viene progressivamente aumentato fino a che le prestazioni di rete non decadono al di sotto di una soglia di accettazione, precedentemente stabilita ed espressa in funzione di parametri prestazionali, quali ad esempio il ritardo nella fornitura del servizio.
- **Simulazione:** programmi di simulazione, quali OPNET o OMNET, consentono di riprodurre il funzionamento delle WLAN in differenti situazioni. Tramite simulazione, è possibile caratterizzare artificialmente i componenti WLAN, quali gli AP,

le schede radio, gli utenti. Mediante simulazione è, inoltre, possibile stimare il throughput di rete; il che fornisce un'idea attendibile del numero di utenti che possono essere attivi al suo interno. Un notevole vantaggio della simulazione consiste nel consentire lo studio dell'impatto sulle prestazioni della rete di molteplici elementi, quali ad esempio il numero degli utenti, l'ambiente di propagazione, le caratteristiche degli apparati di rete (le differenti installazioni AP, i diagrammi di radiazione delle antenne impiegate, ecc.). Numerosi sono i benefici conseguibili mediante impiego di programmi di pianificazione computer aided (CA), quali:

- Possibilità di modificare con facilità i parametri di rete e verificare in modo immediato i risultati;
- Risparmio di tempo e forza lavoro in fase di pianificazione;
- Capacità di prendere una decisione sull'installazione di nuovi AP a seguito di un ridotto numero di misure.

Il problema principale nella valutazione della capacità attraverso questo metodo è la necessità (e la difficoltà) di riprodurre correttamente l'ambiente (inteso come attenuazione dei muri, attrezzature, ...). Tuttavia, i tool di pianificazione della rete radio consentono di simulare le condizioni di propagazione in un determinato ambiente; a tale scopo è fornita un'interfaccia grafica per modellare l'ambiente operativo e presentare i risultati conseguiti.

Per ciò che concerne la simulazione degli effetti dovuti alla propagazione del segnale nell'ambiente operativo selezionato, è possibile perseguire due differenti approcci:

- Modello di propagazione statistico: implica minor carico computazionale in fase di pianificazione ed ottimizzazione della rete; i parametri impiegati nel modello sono il risultato di misure effettuate in ambienti diversi, anche se con caratteristiche simili. È quindi necessaria una certa esperienza per regolare i parametri del modello in modo tale da adattarsi al caso di studio.
- Modello "ray tracing": richiede elevati potenza e tempo computazionale. I parametri da inserire nel modello sono relativi alla dimensione degli oggetti, le proprietà dei materiali costruttivi (permittività), il livello di rumore al ricevitore, ecc. Anche in questo caso è richiesta, da parte del progettista, una certa esperienza nell'adattare i parametri del modello in modo tale che essi siano rappresentativi delle attuali condizioni operative.
- **Test di emulazione:** nel caso in cui la WLAN esiste già, si può prendere in considerazione l'opportunità di determinare i limiti prestazionali della rete tramite test di emulazione. Emulare il comportamento di una rete equivale ad avere più utenti effettivamente associati ad essa, ad eccezione del fatto che un'emulazione impiega solo una singola parte di hardware. Un emulatore genera traffico con caratteristiche identiche a quello prodotto dagli utenti effettivi della rete; sono perciò previsti numerosi modelli di traffico per numerose possibili applicazioni. Un'emulazione può essere meno costosa di una simulazione, ma si richiede che la WLAN sia già

installata; ciò limita i provvedimenti da adottare al fine di migliorare il funzionamento della rete: non si può ad esempio decidere di modificare la versione dello standard implementata negli apparati di rete, dal momento che quest'ultima è già operativa.

Il posizionamento degli AP costituisce un elemento base nella pianificazione di rete e prevede la conoscenza della struttura dell'edificio entro il quale la rete stessa dovrà essere sviluppata. Numerosi sono gli aspetti legati alla conformazione dell'edificio da considerare in sede di installazione degli AP, tra i quali:

- tipologia e disposizione dell'arredamento;
  - librerie o armadi di metallo possono causare rilevanti attenuazioni del segnale;
- presenza di ostacoli di natura architettonica nell'area di interesse;
- requisiti di carattere estetico;
- considerazioni legate alla salute.

L'infrastruttura di rete preesistente ha un'influenza determinante nel processo di pianificazione della WLAN. Per un dispiegamento della nuova rete, veloce e non economicamente dispendioso, occorre infatti minimizzare il numero di collegamenti cablati da realizzare. Attualmente, ad esempio, esistono sul mercato *switch* in grado di supportare la trasmissione di potenza elettrica su cavi Ethernet: tale soluzione consente di ridurre gli interventi di cablaggio necessari al fine di fornire alimentazione agli apparati di rete. Occorre, in sintesi, ricercare un compromesso tra il livello di qualità delle prestazioni e la facilità di installazione della rete.

Sulla base delle considerazioni precedenti si può, dunque, concludere che il posizionamento degli AP in fase di pianificazione di una rete WLAN si basa sulle informazioni acquisite a partire dalle specifiche sui requisiti di utente e da analisi svolte sul campo. La selezione delle posizioni più appropriate è, inoltre, dipendente dall'esperienza maturata sul campo dal progettista di rete, sebbene sia disponibile un approccio più rigoroso al problema, che si avvale di tool simulativi o emulativi per fare confronti tra configurazioni alternative ed ottimizzazioni.

#### 5.4.5. VERIFICA DELLA COPERTURA

Effettuare la pianificazione della rete sulla base dei risultati ottenuti per via simulativa introduce inevitabilmente degli errori. La consapevolezza di ciò, congiuntamente alla conoscenza della tipologia degli errori che possono derivare da questo tipo di approccio, consente di migliorare l'accuratezza della pianificazione. In particolare, possono emergere le seguenti criticità:

- L'attuale copertura della rete è differente dalla copertura ipotizzata a seguito dell'analisi simulativa, giacché le condizioni prese in considerazione nell'effettuare le simulazioni non sono rappresentative dell'effettivo ambiente in cui la rete verrà fatta operare.

Al fine di evitare errori in fase di progetto della rete, è opportuno l'utilizzo di tool per la rilevazione di parametri prestazionali, quali:

- Potenza del segnale in ricezione;
- Rapporto segnale-rumore in ricezione;
- Ritmo di errore sul pacchetto.

In aggiunta, possono essere usati tool che consentono lo scanning periodico e la rilevazione automatica delle stazioni su tutti i canali; il che consentirebbe di individuare ed identificare le eventuali sorgenti di interferenza.

## 5.5. COPERTURE RADIO PARTICOLARI

### 5.5.1. DUAL MODE WLAN

Una possibile opzione che un progettista di reti WLAN dovrà considerare in sede di progetto della copertura consiste nell'impiego congiunto di dispositivi che implementino versioni differenti dello standard IEEE 802.11, al fine di sfruttare pienamente la capacità di rete [59]. Di particolare interesse sono gli aspetti di interoperabilità tra IEEE 802.11a/b e IEEE 802.11g.

IEEE 802.11g opera nella stessa banda di frequenze di IEEE 802.11b, ossia nella porzione di spettro non licenziata a 2,4 GHz, con un ritmo dati massimo di 54 Mbit/s, e prevede trasmissioni dati in OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), come IEEE 802.11a, e in DSSS, come IEEE 802.11b. Diversi tipi di modulazione, infine, sono utilizzati nell'IEEE 802.11g, al fine di supportare trasferimenti dati a velocità differenti. Le prestazioni di tale sistema sono quindi confrontabili con quelle dello standard IEEE 802.11a, operante nella banda a 5 GHz; IEEE 802.11g garantisce, in aggiunta, piena compatibilità con i tradizionali prodotti IEEE 802.11b.

L'impiego di dispositivi a standard IEEE 802.11g in ambienti operativi ibridi, in cui sia prevista la presenza di client IEEE 802.11b, determina un miglioramento molto modesto in termini di throughput e capacità rispetto a reti interamente realizzate impiegando apparati IEEE 802.11b. In particolare, in reti IEEE 802.11g un aumento di capacità rispetto all'802.11b sarebbe conseguibile solo mediante incremento del throughput, essendo il medesimo per dispositivi IEEE 802.11g e dispositivi IEEE 802.11b il numero di canali non sovrapposti disponibili per le trasmissioni. Il throughput supportato da reti IEEE 802.11g dipende, del resto, da una molteplicità di fattori, legati all'ambiente operativo ed alle applicazioni prospettate; tra essi è la eventualità che la rete IEEE 802.11g supporti client tradizionali IEEE 802.11b. Nel caso in cui, infatti, un AP a standard IEEE 802.11g consenta l'associazione di client IEEE 802.11b, l'AP dovrà attivare un meccanismo di Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS), al fine di garantire la coesistenza e la compatibilità con gli apparati IEEE 802.11b. I dispositivi IEEE 802.11b, pur condividendo la stessa banda dei dispositivi IEEE 802.11g, non sono in

grado di rilevare trasmissioni OFDM, ossia non sono in grado di decodificare pacchetti di dati, di gestione o di controllo inviati via OFDM, pur rilevando rumore nella banda a 2,4 GHz, tramite capacità di Clear Channel Assessment (CCA). Ciò determina, tuttavia, l'adozione di meccanismi di protezione, quali un significativo carico addizionale dovuto ad informazione di segnalazione, risultante in un deterioramento del throughput di rete.

Al fine di realizzare un dispositivo dual-band che supporti invece sia lo standard IEEE 802.11a, sia lo standard IEEE 802.11g, è sufficiente dotare un dispositivo IEEE 802.11g di un front-end a radio frequenza (RF) a 5 GHz, con modesto costo addizionale di costruzione.

Un sistema radio IEEE 802.11 risulta essere completamente caratterizzato una volta definito lo strato MAC, lo strato fisico (PHY) e la sezione di front end a RF. Lo strato MAC, al quale sono delegate funzioni quali la crittazione dei dati, è comune alle versioni dello standard IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g.

Lo strato fisico è deputato, invece, a supportare trasmissioni OFDM o DSSS, in conformità alle specifiche dello standard. La sezione di front end a RF, infine, si occupa della trasmissione e ricezione del segnale e, come tale, è specifica per la banda di frequenze in cui opera. Deriva da ciò la possibilità di implementare un apparato IEEE 802.11a adoperando lo strato MAC e lo strato fisico di un apparato IEEE 802.11g.

Alla data di stesura del presente documento, si prevede che dispositivi quali notebook o desktop PC verranno realizzati entro breve, così da operare sia in modalità IEEE 802.11a, sia in modalità IEEE 802.11g. Gli operatori del mercato IEEE 802.11 ritengono che l'incremento di costo dovuto alla necessità di implementare dispositivi dual-mode sarà largamente compensato dal sostanziale incremento della capacità di rete che ne deriverebbe.

Nell'effettuare l'ingresso all'interno di una infrastruttura WLAN, un client dual-band cercherà inizialmente un AP IEEE 802.11a, quindi un AP IEEE 802.11g e, in ultima istanza, un AP di tipo IEEE 802.11b, in modo tale da sfruttare appieno la capacità della rete. Sarà al contempo garantita la completa compatibilità tra apparati dual-mode ed apparati single mode. I client dual-mode saranno in grado di commutare dinamicamente tra la banda a 5 GHz e la banda a 2,4 GHz, in modo tale da sfruttare la capacità della rete IEEE 802.11a, nelle aree in cui essa è presente, ed impiegare IEEE 802.11g (o IEEE 802.11b) laddove essa non sia disponibile.

### 5.5.2. WLAN A INGRESSI E USCITE MULTIPLE (MIMO)

In una rete WLAN è possibile impiegare tecniche di diversità al fine di ottimizzare le prestazioni del sistema. Fondata su tale principio, la versione "n" dello standard IEEE 802.11 aggiunge a quest'ultimo la funzionalità MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*). Antenne multiple sono, quindi, impiegate in trasmissione e ricezione per incrementare il throughput dati tramite strategie di multiplazione spaziale e per aumentare il raggio di copertura sfruttando la diversità spaziale e le tecniche di beamforming.

### 5.5.2.1. *Diversità di spazio*

In questo caso viene effettuata una combinazione o, in alternativa, viene operata una selezione tra i segnali in uscita da un numero di antenne maggiore di quello necessario per ricevere una data quantità di flussi dati. Le tecniche di diversità prevedono l'impiego di antenne multiple per aumentare la probabilità di instaurazione di un collegamento di alta qualità tra il trasmettitore ed il ricevitore.

La diversità può essere implementata sul trasmettitore, sul ricevitore o ad entrambe le estremità del collegamento wireless. In ricezione la diversità implica l'adozione di due (o più) antenne, sufficientemente spaziate da ricevere segnali da percorsi di propagazione indipendenti. Una prima tecnica di selezione ottima del segnale in ricezione implica che l'antenna dal quale il segnale è prelevato venga commutata qualora il livello di segnale si affievolisca, ovvero scenda al di sotto di una certa soglia, oppure qualora venga percepito un alto livello di rumore. Una tecnica di diversità più sofisticata si fonda sul criterio del Maximum Ratio Combining (MRC): i segnali vengono ricevuti simultaneamente da più antenne, quindi vengono combinati mediante tecniche avanzate di trattamento del segnale, al fine di massimizzare il rapporto segnale-rumore (SNR) in ricezione. In questo caso è possibile che ogni singolo segnale sia sottosoglia ma nonostante questo l'SNR sia accettabile. Entrambe le tecniche possono essere implementate anche solo in corrispondenza del ricevitore.

Implementare la diversità in trasmissione risulta più complicato, poiché il trasmettitore può avere necessità di informazioni a priori sul ricevitore per poter ottimizzare il percorso di trasmissione. Lo schema più semplice da implementare prevede che sia impiegata l'antenna in corrispondenza della quale il segnale di informazione, precedentemente inviato dal target, è ricevuto con qualità migliore. Tecniche di diversità avanzate prevedono la trasmissione di copie multiple dello stesso flusso informativo al fine di aumentare la ridondanza. In questo scenario, i segnali devono essere trasmessi su frequenze distinte per evitare l'insorgere di mutua interferenza. L'utilizzo di tecniche di diversità consente di massimizzare il raggio di copertura e di aumentare il throughput di rete, poiché il collegamento viene realizzato impiegando il percorso migliore tra trasmettitore e ricevitore, in modo tale che i dispositivi comunichino al più elevato ritmo dati consentito, evitando i percorsi di propagazione che possono determinare errori nella ricezione dei pacchetti dati e, quindi, ritrasmissioni. Si verifica che l'ordine di diversità, o equivalentemente, il numero di percorsi o frequenze di propagazione non correlati, produce un guadagno logaritmico nelle prestazioni.

L'impiego di tecniche di diversità assume particolare rilievo, soprattutto in relazione al fatto che la specifica  $n$  dello standard IEEE 802.11 supporta fino a quattro antenne. Dispositivi con differente numero di antenne si trovano, di conseguenza, ad interoperare. In tal caso, il numero massimo di flussi indirizzabili separatamente è limitato dalla dimensione minima della schiera di antenne (array) in trasmissione o ricezione. Tramite tecniche di diversità le antenne in eccesso possono essere, anch'esse, efficacemente impiegate. Il dispositivo con dimensione di array maggiore, infatti, usa le antenne in eccesso per aumentare il raggio di copertura. I segnali inviati tramite due diverse anten-

ne possono essere, ad esempio, combinati per ricevere un unico flusso dati su più ampie distanze di collegamento o per aumentare il ritmo dei dati. L'impiego di tecniche di diversità non è comunque limitato a IEEE 802.11n; tali strategie possono essere, infatti, implementate in apparati IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, e IEEE 802.11g.

### **5.5.2.2. Formazione del fascio**

Con tecniche di formazione del fascio (*beamforming*) la potenza trasmessa viene indirizzata verso il ricevitore, sagomando opportunamente il fascio di antenna in modo tale da massimizzare il guadagno in corrispondenza di una sola direzione del piano. Il metodo del beamforming prevede che le fasi dei segnali in corrispondenza degli elementi dell'array al trasmettitore siano fissate in modo tale che i segnali si combinino costruttivamente al ricevitore. Ciò consente di aumentare il raggio di copertura e migliorare le prestazioni, limitando l'interferenza da e verso altri sistemi operanti nell'area. L'impiego di tale tecnica permette di ottenere, quale ulteriore beneficio, la riduzione degli effetti del multipath. In ogni caso, è necessario che il target invii al trasmettitore alcuni dati affinché quest'ultimo decida come regolare le fasi dei segnali in corrispondenza degli elementi dell'array; la comunicazione tra i due dispositivi deve perciò poter avvenire, in una fase preliminare, in condizioni di assenza di beamforming.

### **5.5.2.3. Multiplazione spaziale**

In ambienti caratterizzati da multipath, con molteplici percorsi di propagazione indipendenti tra trasmettitore e ricevitore, la multiplazione spaziale (SM) prevede la trasmissione di porzioni differenti dei dati d'utente su percorsi di propagazione paralleli, al fine di aumentare la capacità. Il ricevitore target dovrà implementare un algoritmo di de-multiplazione per recuperare il flusso di informazione originario, a partire dai flussi rilevati dalle antenne. Idealmente, in un ambiente affetto da multipath, la SM può aumentare la capacità di un canale a singola frequenza secondo una legge di proporzionalità lineare con il numero di antenne impiegate. Le effettive prestazioni di tale tecnica sono, tuttavia, strettamente dipendenti dall'ambiente di propagazione RF. La SM richiede la presenza di percorsi di multipropagazione non correlati tra loro; tuttavia, poiché l'attenuazione dovuta a multipropagazione varia nel tempo con il movimento, non esiste alcuna assicurazione che possano essere sempre individuati percorsi di segnale non correlati. La SM, inoltre, non funziona bene in ambienti caratterizzati da un basso rapporto segnale-rumore (SNR) in ricezione, ossia in ambienti in cui il livello del segnale risulti attenuato a causa del path loss (perdita di percorso dovuta alla distanza tra trasmettitore e ricevitore) o in cui sia alto il livello di rumore o l'interferenza prodotta da altri sistemi. Tali condizioni rendono, infatti, difficile l'identificazione da parte del trasmettitore e del ricevitore di percorsi di segnale non correlati. Qualora la modalità SM non sia implementabile, un sistema MIMO torna ad operare sfruttando la diversità. È importante sottolineare che la SM non fornisce da solo alcun miglioramento della copertura; la dipendenza da un elevato SNR riduce, infatti, il range su cui la SM è applicabile. Al fine di incrementare sia il range, sia il throughput, un'implementazione MIMO

dovrebbe supportare uno schema di diversità in aggiunta ad una strategia di multiplazione spaziale.

La realizzazione di reti WLAN in cui siano implementate funzionalità MIMO, pur soppe-  
rendo alle carenze delle attuali reti Wi-Fi, legate sia al raggio di copertura, sia alle pre-  
stazioni, presenta una serie di implicazioni che il progettista di rete dovrà opportunamente tenere in considerazione nel definire i metodi di diversità, il numero di antenne degli apparati di rete e gli algoritmi di multiplazione. Tali implicazioni riguardano le seguenti questioni:

- **Interoperabilità:** La SM richiede che lo stesso algoritmo di multiplazione sia implementato ad entrambe le estremità del collegamento wireless. Non è, quindi, consentita l'interoperabilità con le versioni dello standard già esistenti, quali IEEE 802.11a/b/g. Fino a quando lo standard IEEE 802.11n non sarà definito, client SM potranno comunicare solo con apparati SM di rete dello stesso produttore; al contrario le tecniche di diversità possono essere implementate anche ad un'unica estremità del collegamento.
- **Costo:** Complessi algoritmi di processamento del segnale devono essere implementati su chipsets Wi-Fi di nuova generazione per abilitare tecniche di diversità e SM. Ciò determinerà costi elevati di sviluppo della rete, fino a che il processo di standardizzazione dell'IEEE 802.11n non sarà giunto a conclusione e la tecnologia non sarà matura. L'implementazione su chipset di tali algoritmi, infine, risulta estremamente dispendiosa anche in termini di consumo di potenza.
- **Prestazioni:** Sebbene un certo numero di lavori in letteratura abbia dimostrato i miglioramenti in termini di capacità teorica conseguibili grazie all'impiego di SM, altri studi mostrano che l'adozione di tecniche di diversità consente prestazioni migliori rispetto ad SM, solo in ambienti in cui sia basso il valore del SNR, o sia consistente l'interferenza proveniente da altri sistemi. Questo implica che l'uso di una buona tecnica di diversità può essere più efficiente della multiplazione spaziale per ottenere elevate distanze di copertura, soprattutto in ambienti urbani densamente popolati.

### 5.5.3. RETI AD ALTA CAPACITÀ

Per realizzare reti WLAN ad alta velocità, gli utenti possono scegliere attualmente tra due diverse versioni dello standard IEEE 802.11: IEEE 802.11a ed IEEE 802.11g [60]. Lo standard IEEE 802.11g assicura elevate velocità di trasmissione dati, mantenendo, al contempo, compatibilità con gli apparati conformi allo standard IEEE 802.11b. Come precedentemente descritto, ad 11Mbit/s, lo standard IEEE 802.11g usa lo stesso schema di modulazione DSSS dello standard IEEE 802.11b e fornisce piena interoperabilità all'interno della banda a 2.4GHz. IEEE 802.11g si rivela dunque adatto ad essere impiegato in scenari in cui sia prevista la coesistenza con dispositivi di rete IEEE 802.11b. Lo svantaggio derivante da tale scenario ibrido è che la capacità totale del sistema è inferiore a quella dell'IEEE 802.11a. Lo schema IEEE 802.11a, operante nella banda a 5GHz, ha una lar-

ghezza di banda totale di 300MHz; al contrario, IEEE 802.11g può disporre di una larghezza di banda di 83.5MHz. Entro tale banda è possibile definire 8 canali simultanei per IEEE 802.11a e tre canali per IEEE 802.11g.

Altro aspetto da considerare è l'interferenza. Nella banda a 2.4 GHz, IEEE 802.11g deve contrastare l'interferenza proveniente da telefoni cordless e da altri elettrodomestici (quali i forni a microonde o lampade ad incandescenza); ciò si ripercuote, chiaramente, su un throughput di rete minore e su un ridotto raggio di copertura. La banda a 5 GHz risente invece di un inferiore livello di interferenza.

#### 5.5.4. COPERTURA PER SUPPORTO VOIP

Al fine di sviluppare un'infrastruttura di rete wireless su area locale in grado di supportare anche applicazioni di tipo Voice over IP (VoIP), l'amministratore di rete dovrebbe tenere conto delle differenze esistenti rispetto alle WLAN convenzionali, deputate al supporto di sole applicazioni dati, quali e-mail, Internet, etc.

Come facilmente intuibile, il fornire servizi voce fa sorgere la necessità di garantire requisiti assai più stringenti sulle prestazioni della rete di quelli visti in precedenza [58], [63]. Si pensi, a tale proposito, ai vincoli da imporre sul tempo di ritardo dovuto alla trasmissione del segnale. In particolare, affinché il servizio voce funzioni correttamente, il tempo di transito end-to-end (inteso come tempo di codifica del pacchetto, di invio da parte del client, di attraversamento della rete e di decodifica da parte del client di destinazione) deve essere inferiore a 150ms. La fluttuazione/variazione del delay end-to-end di un pacchetto rispetto al pacchetto successivo all'interno di un stesso stream di pacchetti o flusso o connessione si denota come delay jitter.

Poiché la WLAN adotta un protocollo casuale di accesso al mezzo, supporta la mobilità degli utenti, prevede la condivisione della risorsa radio tra più utenti e si avvale di protocolli di sicurezza, l'implementazione di servizi voce su reti WLAN presenta implicazioni in diversi ambiti:

- Requisiti di copertura e pianificazione dello sviluppo della rete;
- Infrastruttura di rete;
- Qualità di servizio (QoS);
- Architettura di rete per la sicurezza;
- Requisiti sulle caratteristiche del client voce.

Affinché il servizio voce sia fornito in modo continuativo, senza interruzioni della chiamata in conseguenza al movimento dell'utente, la rete deve essere sviluppata in modo pervasivo, assicurando la copertura nelle zone, sia indoor, sia outdoor, in cui l'accesso dell'utente è consentito e dove ci si aspetta possano aver luogo, con probabilità elevata, conversazioni. Un requisito altrettanto importante per la piena soddisfazione dell'utente riguarda il livello di qualità che dovrebbe essere garantito dalla rete: a tal proposito, occorrerebbe individuare le aree in cui l'utente si aspetta di poter disporre del servizio VoIP e progettare la rete in modo tale che in tali zone sia alto il livello di qualità del ser-

vizio. Le prestazioni della rete WLAN dovranno essere tali da superare l'inevitabile confronto con le prestazioni del sistema cellulare, sia in termini di pervasività, sia in termini di percezione della qualità del servizio. In particolare, l'utente si aspetta che la qualità di servizio offerta dalla rete WLAN sia almeno pari alla qualità che l'impiego di un telefono cellulare garantirebbe e, nel caso ottimale, confrontabile alla qualità conseguibile tramite rete fissa.

#### 5.5.5. IMPLICAZIONI DEI SERVIZI VOCE SULLE CARATTERISTICHE DELLE TRASMISSIONI RF

Come precedentemente discusso, lo standard IEEE 802.11 prevede, a seconda della versione cui si fa riferimento, l'uso della banda di frequenze a 2,4 GHz (versioni IEEE 802.11b e IEEE 802.11g), nonché l'uso della banda a 5 GHz (802.11a). Attualmente, tuttavia, lo sviluppo di reti WLAN che offrano un servizio VoIP, ovvero VoWLAN, avviene tramite impiego delle versioni IEEE 802.11b ed IEEE 802.11g dello standard, data la compatibilità tra tali versioni e la quasi ubiquità di questi standard nei dispositivi client. Essendo il mezzo wireless continuo e condiviso, gli utenti associati agli AP sul medesimo canale si troveranno a condividere la banda disponibile su quel canale, con potenza ricevuta e data rate supportati inversamente proporzionali alla loro distanza dagli AP.

In caso di presenza simultanea di numerosi utenti nell'area di servizio, così come pure nel caso in cui le applicazioni dati prospettate richiedano una significativa disponibilità di banda, la necessaria capacità di rete viene garantita impiegando più AP su canali non sovrapposti in frequenza; il che restringe a tre il numero dei canali disponibili per lo sviluppo di WLAN nella banda a 2.4GHz. La problematica principale da affrontare nello sviluppare un servizio di tipo VoWLAN è la minimizzazione dell'interferenza co-canale, dovuta appunto al simultaneo impiego di uno stesso canale da parte di più client ed AP nell'area di servizio. L'esigenza di risolvere tale questione, conduce all'adozione, da parte del progettista di rete di una serie di provvedimenti:

- La topologia di rete deve prevedere una percentuale di sovrapposizione tra celle adiacenti pari al 15 o 20%, in modo tale che sia garantita la quasi completa ridondanza all'interno della cella, minimizzando al contempo l'interferenza ed abilitando il roaming degli utenti.
- Le dimensioni delle celle devono essere fissate non con riferimento al raggio di copertura, ovvero alla distanza massima tra il client e l'AP di riferimento, bensì in relazione al livello di potenza del segnale che si intende garantire a bordo cella e che dovrebbe essere almeno di -67 dBm per garantire un buon livello delle prestazioni. Le dimensioni della cella derivano dalla specifica sulla potenza in ricezione e dipendono dall'ambiente in cui avviene la propagazione. Tipicamente, in un ambiente d'ufficio, come termine di confronto affidabile è possibile considerare celle di dimensioni pari a circa 250m<sup>2</sup>.

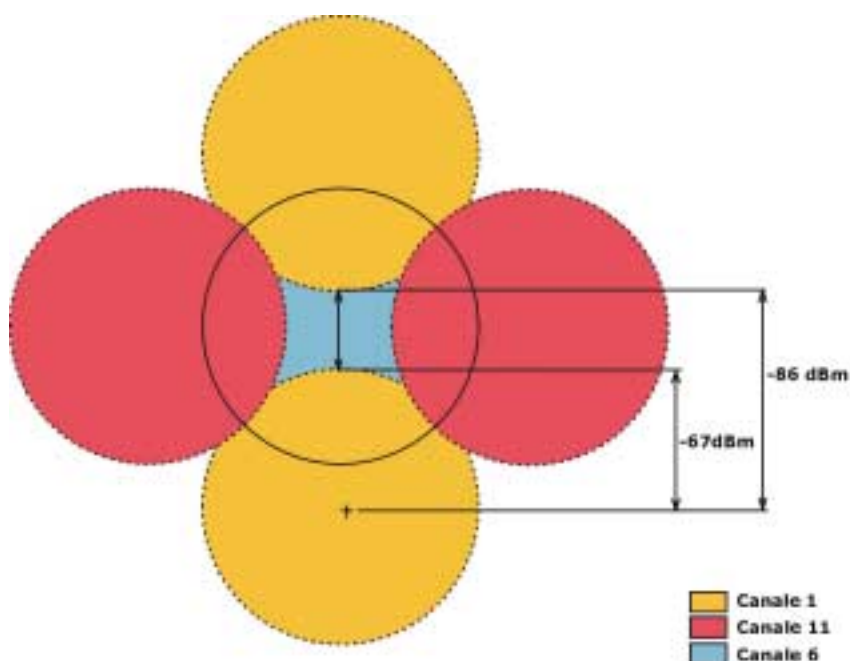


Figura 5.3 - Esempio di copertura in ambienti indoor.

- Sopralluogo dell'area di servizio, da effettuare a seguito dell'avvenuta selezione dei clienti e degli AP e da reiterare periodicamente, in orari differenti, al fine di studiare le caratteristiche della propagazione a RF nell'ambiente di interesse, identificare le possibili fonti di interferenza, individuare ed analizzare eventuali dinamicità degli effetti di propagazione, prevedere le caratteristiche del traffico ed assicurare l'ottimizzazione della rete.
- Localizzazione degli AP: si tratta di una questione di un certo rilievo e prevede la definizione di una nuova strategia di pianificazione, al fine di abilitare la rete a servizi voce. A differenza dell'approccio tradizionale che vuole gli AP disposti alla massima distanza tra loro all'interno dell'area di servizio, è qui opportuno un approccio innovativo, che richiede sia disposto nell'area un numero elevato di AP, fatta salva, chiaramente, l'esigenza di non generare eccessiva interferenza. Il modello cui fare riferimento prevede che gli AP siano inizialmente disposti lungo il perimetro dell'area di interesse; quindi posizionati al suo interno per garantire completa copertura ed affidabilità del sistema. Come linea guida e punto di partenza per la pianificazione di rete, occorrerebbe posizionare un AP ogni 250m<sup>2</sup>, anziché ogni 450m<sup>2</sup>, come tipicamente suggerito per reti adibite al solo traffico dati. Ovviamente, è necessario effettuare un sopralluogo sull'area di interesse per massimizzare la copertura e minimizzare l'interferenza. La potenza emessa dagli AP dovrà infine essere fissata in modo tale che non insorga interferenza di tipo co-canale.

## 5.6. PIANIFICAZIONE DELLA RETE

### 5.6.1. ARCHITETTURE DI BASE

In questa sezione sono presentati alcuni esempi di topologie di rete correntemente implementate per realizzare una rete wireless. Gli esempi presentati sottolineano le possibilità di integrazione con la rete cablata. Saranno, in particolare, illustrati i punti di forza e di debolezza dei differenti approcci; di questi ultimi verranno riportati, inoltre, gli ambiti applicativi che più sembrano confacersi al loro impiego.

#### a) Rete wireless isolata fisicamente

Il primo approccio presentato è di facile implementazione, ma comporta elevati costi di realizzazione. Esso prevede, infatti, che sia realizzata un'infrastruttura fisica cui sono collegati gli AP e le porte cablate per utenti ospiti separata dall'infrastruttura fisica per i dipendenti.

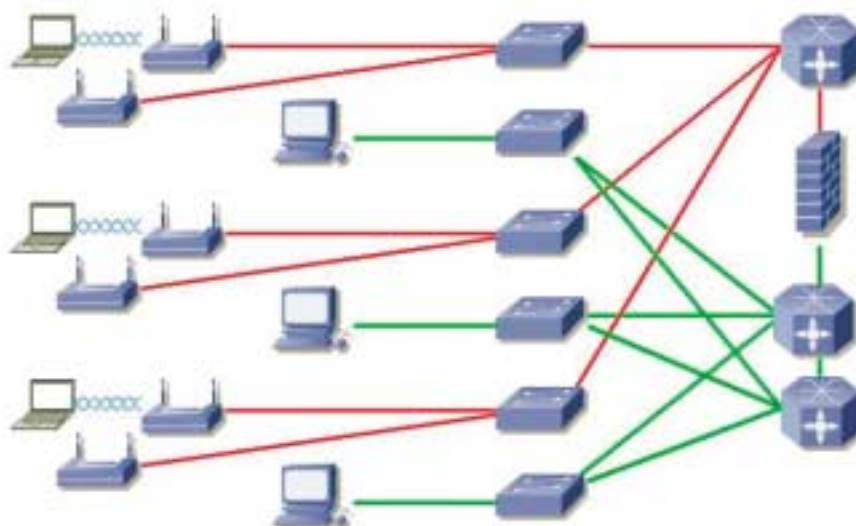


Figura 5.4 - Rete ad isolamento fisico.

In **Figura 5.4**, sono indicate in rosso i collegamenti dedicati alla rete wireless, mentre in verde si mostrano quelli relativi alla rete cablata. La rete wireless è poi collegata alla normale rete aziendale tramite un router ed un firewall. Tuttavia presenta un elevato livello di sicurezza grazie alla gestione differente di “utenti sicuri” (quali i dipendenti) da utenti potenzialmente critici (gli ospiti).

La separazione fisica delle due reti non è certamente conveniente dal punto di vista economico, in quanto implica duplicazioni del cablaggio e dell'infrastruttura, nonché un prevedibile aumento della complessità di gestione dell'intero sistema.

### b) Rete wireless isolata con VLAN

Un'alternativa meno costosa per chi intende perseguire la separazione fra rete wireless e rete cablata, è usare la Virtual LAN (VLAN) per connettere gli AP (**Figura 5.5**). Più reti logiche indipendenti sono realizzate e coesistono all'interno della stessa rete fisica. Ciò aiuta a ridurre il dominio di broadcast e a separare l'amministrazione di segmenti logici della LAN (quali, ad esempio diversi dipartimenti di un'azienda) che non dovrebbero scambiare dati usando LAN (lo scambio dei dati è chiaramente ancora possibile tramite routing).

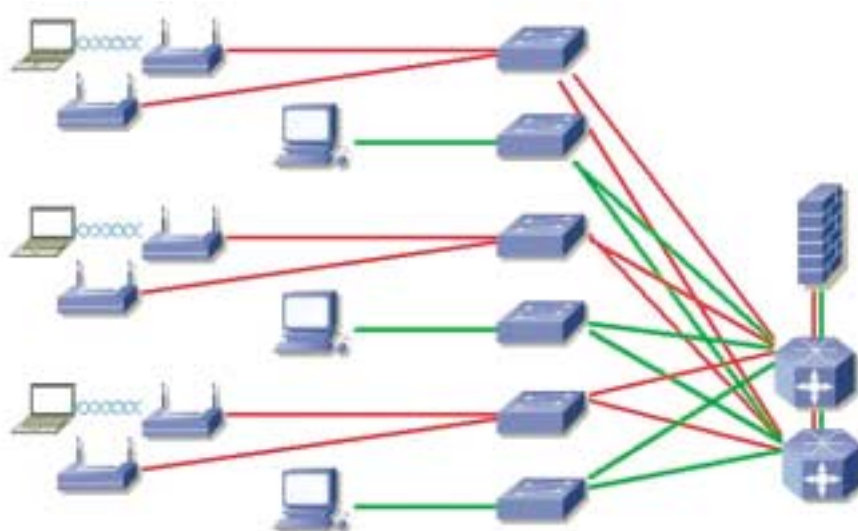


Figura 5.5 - Impiego delle VLAN per separare i flussi di traffico.

La riduzione della dimensione di ciascun dominio di broadcast e, dunque, l'aumento del numero dei domini si ripercuote su una riduzione del traffico di rete e sull'incremento della sicurezza, come conseguenza della possibilità di intensificare il controllo sulle differenti tipologie di traffico. In aggiunta, l'amministratore di rete configura la VLAN tramite moduli software, anziché hardware, il che conferisce flessibilità al sistema. Tra i principali vantaggi delle VLAN si ha la possibilità per l'utente di conservare la propria appartenenza ad una VLAN, pur modificando la collocazione del proprio computer e senza che ciò renda necessario riconfigurare il software. Le VLAN operano al livello Ethernet e sono tipicamente impiegati quattro metodi per assegnare l'appartenenza ad una VLAN:

1. *Metodo basato sulla porta*: una porta switch è manualmente configurata per essere membro di una VLAN. Questo metodo funziona solo qualora tutte le macchine connesse a tale porta appartengono alla stessa VLAN.
2. *Metodo basato sul MAC*: l'appartenenza ad una VLAN è determinata dall'indirizzo MAC della workstation. Lo switch detiene una tabella in cui sono elencati gli indi-

rizzi MAC delle diverse macchine connesse, congiuntamente all'indicazione delle VLAN cui gli stessi appartengono.

3. *Metodo basato sul protocollo*: l'appartenenza ad una VLAN è determinata sulla base di dati di livello IP contenuti all'interno della trama. Il principale svantaggio di questo metodo è il fatto che esso viola l'indipendenza degli strati ed il passaggio da IPv4 ad IPv6 causerebbe un errato funzionamento dello switch.
4. *Metodo basato sull'autenticazione*: i dispositivi sono automaticamente associati a VLAN differenti, sulla base delle credenziali di un utente o dispositivo che adotti il protocollo IEEE 802.1x.

La creazione di VLAN permette di connettere la rete wireless ad Internet per gli ospiti e consentire criteri di sicurezza aggiuntivi per gli ospiti. Questo approccio risulta essere efficiente per reti di piccole o medie dimensioni. Tale soluzione consente di evitare i costi di una infrastruttura separata, ma introduce alcune criticità. Si noti che un edificio a più piani può usare VLAN differenti per ciascun piano, sebbene per fare ciò sia di aiuto disporre di un firewall che supporti il trunking, ossia il trasporto simultaneo di flussi di traffico di VLAN differenti (ciascun flusso è denotato da un identificativo (tag) inserito all'interno dei pacchetti). Per il core routing, si può usare VRF (Virtual Routing and Forwarding) per consentire a istanze multiple della tabella di routing di coesistere all'interno dello stesso router allo stesso tempo. Poiché le istanze di routing sono indipendenti, possono essere usati indirizzi IP identici o sovrapposti senza che ciò generi conflitti nella rete.

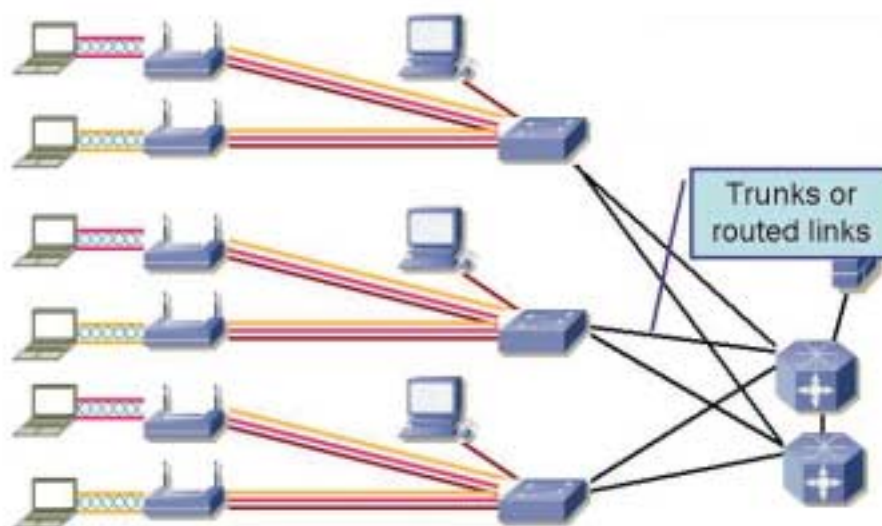


Figura 5.6 - VLAN con Identificativi del servizio (SSID).

VLAN specifica (Figura 5.6). Questo tipo di approccio permette di gestire differenti livelli di autenticazione sulle diverse reti wireless virtuali. Questo permette di vedere la VLAN come un gruppo di utenti con prefissati diritti sulla rete.

L'approccio precedentemente illustrato prevede che gli utenti debbano interessarsi a problematiche connesse all'utilizzo degli SSID, il che potrebbe risultare scomodo per alcuni. Un altro approccio utilizza IEEE 802.1x per determinare a quale VLAN assegnare l'utente (Figura 5.7). Si noti che tale approccio supera ogni precedente assegnazione di SSID. Questo approccio tuttavia può risultare tecnicamente complesso, sebbene la maggior parte della complessità sia nascosta all'utente e può essere ben controllata centralmente.

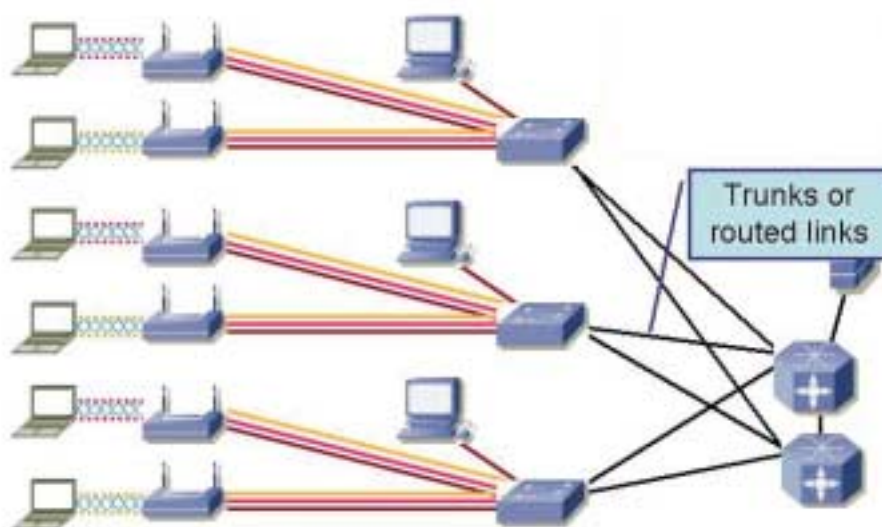


Figura 5.7 - IEEE 802.1x e VLAN dinamiche.

### 5.6.2. ARCHITETTURE DI RETI WIRELESS PER CONNESSIONE A RETI CABLATE

Di seguito sono riportati degli esempi di rete che implementano soluzioni attualmente in commercio di reti WLAN per l'accesso alle reti cablate. Le soluzioni proposte sono orientate verso la realizzazione di una soluzione wireless integrata e non si limitano a fornire i sottosistemi che realizzano la sola infrastruttura basata su tecnologia di accesso di tipo WLAN ma contengono tutti gli strumenti necessari per realizzare l'intera soluzione di rete. Sono soluzioni solitamente orientate al servizio e che quindi guardano direttamente alle necessità degli utenti. Tali soluzioni sono flessibili e in genere comprendono gli strumenti software per la "facile" implementazione di nuove applicazioni per l'utente finale. Con questo tipo di architetture diventa facile creare nuove applicazioni sulla base delle specifiche necessità dell'utente.

Attualmente le tipologie di architetture basate su apparati radio per accesso in area locale sono classificabili in tre categorie:

- Architetture con sottosistemi di accesso autonomi
- Architetture di tipo centralizzato
- Architetture di tipo distribuito

Di seguito sono descritti brevemente i concetti sia dei sottosistemi ad accesso autonomo sia quelli di tipo centralizzato. A causa della scarsa diffusione, le reti che prevedono un accesso di tipo distribuito non saranno oggetto della descrizione.

### 5.6.2.1. Architetture con sottosistemi di accesso autonomi

In questo tipo di reti gli AP contengono tutte le funzionalità per operare in modalità IEEE 802.11 e inviare le trame dati su reti Ethernet (IEEE 802.3). Ciascun AP può essere gestito in modo autonomo come singola entità di rete e, solitamente, in virtù di questa caratteristica gli AP che realizzano questo tipo di rete sono AP autonomi, anche detti, in gergo, "Fat AP".



Figura 5.8 - Architettura di rete WLAN con apparati autonomi.

Un Fat AP possiede un suo indirizzo IP associato alla sua interfaccia ed è univocamente identificabile all'interno della rete. Esso gestisce direttamente il flusso di traffico tra la rete wireless e quella cablata. Esso può anche avere più di una interfaccia verso le reti cablate e in questo caso esso può operare anche come bridge o router. Compatibilmente con il modello di rete previsto nello standard IEEE 802.11, in generale, due Fat AP non possono comunicare direttamente tra loro; in tal caso il compito di inoltrare il traffico da un AP ad un altro della rete è affidato al sistema di distribuzione (la rete Ethernet, solitamente). Come già accennato, un Fat AP può implementare anche alcune funzionalità di

routing come protocolli tipici di un server tra i quali il DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).

La gestione dei Fat AP presenti nella rete è realizzata mediante il protocollo SNMP (Simple Network Management Protocol) o, in alternativa, attraverso il protocollo HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Per la gestione di tutti i Fat AP della rete è necessario possedere o implementare un software di gestione della rete (Network manager) al quale occorre connettere tutti gli AP.

I Fat AP richiedono hardware e software relativamente complessi e conseguentemente presentano costi piuttosto elevati.

### 5.6.2.2. Architetture di rete di tipo centralizzato

Nelle prime reti WLAN tutti gli AP utilizzati erano di tipo Fat. Negli ultimi anni si sono affermate altre configurazioni di rete basate su AP più semplici in cui le funzionalità di controllo e di gestione della rete sono affidate a sottosistemi dedicati, denominati controllori per l'accesso o AC (access controllers). Il tipo di architetture di rete ottenute dall'impiego degli AC è di tipo centralizzato.

Un'architettura di rete di tipo centralizzato è solitamente organizzata in modo gerarchico e contiene al suo interno uno o più organi adibiti alla configurazione, al controllo e alla gestione della rete stessa. Quando si utilizza un controllore per l'accesso, le funzionalità necessarie per una rete di tipo IEEE 802.11 sono suddivise tra gli AP e gli AC. Siccome gli AP utilizzati in questo tipo di rete hanno un numero ridotto di funzionalità rispetto al caso dei "Fat AP" essi sono anche indicati come AP assottigliati o, in gergo, "Thin AP".

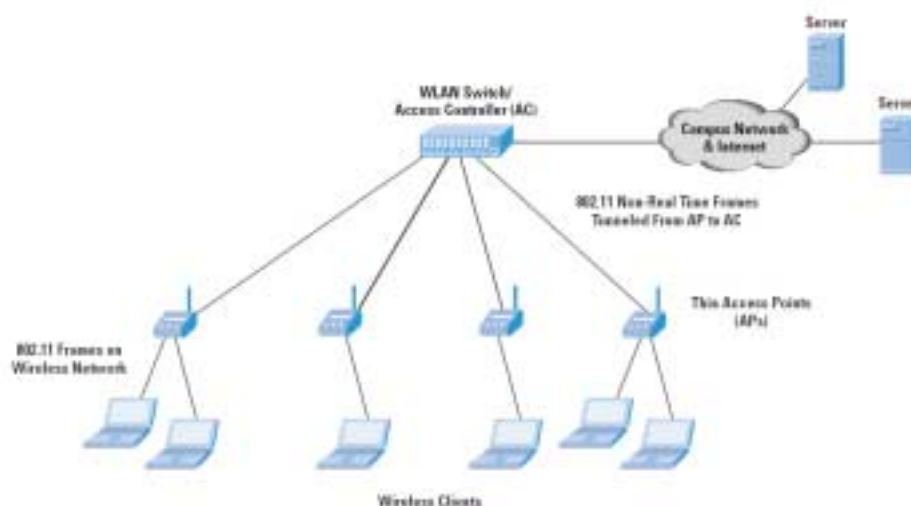


Figura 5.9 - Architettura di rete WLAN centralizzata.

Gli AP di tipo Thin sono progettati in modo da presentare complessità ridotta e, di conseguenza, abbattere i costi. I Thin AP sono anche denominati, in questo contesto,

“antenne intelligenti” in quanto la loro funzione principale è limitata a ricevere e trasmettere traffico radio. Le trame ricevute vengono inviate direttamente al controller centralizzato dove vengono successivamente elaborate prima di essere inviate all'interno della rete LAN cablata. Solitamente un Thin AP non applica alcuna forma di crittografia sui pacchetti che riceve e trasmette. Eventuali funzioni di crittografia sui pacchetti, prima della trasmissione verso il terminale, sono svolte dal controllore centralizzato. Ciò consente di mantenere bassa la complessità del AP. Tra l'altro non si richiede l'aggiornamento del software del AP quando lo standard di sicurezza cambia.

Di solito il protocollo di comunicazione tra il Thin AP ed il controllore è di tipo proprietario, come pure sono proprietari i protocolli di gestione dei Thin AP. Un AC può governare più AP e di conseguenza la sua complessità può anche essere elevata perché il suo costo è ripartito sugli AP che esso governa. Solitamente il protocollo di comunicazione tra gli AP e il controllore viene progettato in modo da ridurre sensibilmente i ritardi di comunicazione tra gli AP e il controllore. Un AC può implementare anche funzionalità di bridging o di routing. In una rete centralizzata la QoS è interamente gestita dal AC.

Funzionalità di controllo centralizzato vengono anche implementate quando occorre gestire AP di tipo Fat. In questo caso però la complessità del controllore di tipo centralizzato è in generale ridotta rispetto a quella di un controllore per Thin AP e solitamente si limita ad eseguire le tipiche funzioni di gateway verso la rete cablata.

Di recente si stanno affermando anche AP, detti di tipo “Fit”, che nascono come compromesso di funzionalità tra il Fat e il Thin. Un “Fit AP” contiene funzionalità crittografiche dei dati inviati sull'interfaccia radio (alleviando così il controller centralizzato da questo oneroso carico), ma lo scambio e la gestione delle chiavi è affidata al AC. Questo approccio viene utilizzato per i nuovi AP che implementano il protocollo di sicurezza WPA2. A volte i Fit AP forniscono funzionalità aggiuntive tra cui il DHCP e possono svolgere operazioni di VLAN tagging (identificativi per la rete virtuale). Solitamente i fornitori di apparati propongono AP in cui le funzionalità sono suddivise tra gli AP e lo AC.

### **5.6.2.3. Il controllore centralizzato**

Al fine di avere una panoramica completa, occorre esaminare brevemente le funzionalità tipiche di un controllore usato all'interno di una rete centralizzata.

L'AC è un componente critico di una rete IEEE 802.11 di tipo centralizzato. Nell'ipotesi in cui esso esegua funzioni di switch e utilizzi il protocollo CAPWAP (Control and Provisioning of Wireless Access Points), standardizzato dal IETF (Internet Engineering Task Force) per la gestione degli AP, l'interfaccia con il generico AP (di tipo Fat o Fit) svolge, quanto meno, le seguenti funzioni:

- supporto per la scoperta e la selezione di un AC da parte di un AP;
- download del firmware verso un AP da parte del AC;
- negoziazione delle possibilità tra AP e AC;
- mutua autenticazione tra AP e AC;

- configurazione, scambio di informazioni sullo stato e sulle statistiche di traffico tra AP e AC;
- funzionalità per la gestione della QoS attraverso le parti cablate e wireless del sistema.

In aggiunta, sebbene il protocollo CAPWAP non ne specifichi i dettagli, l'AC esegue anche le funzioni di gestione della risorsa radio e la rivelazione, mediante monitoraggio, di AP indesiderati o che hanno un comportamento non corretto (i cosiddetti "rogue AP") all'interno della rete. Un'altra importante funzionalità del AC riguarda, infine, la gestione della mobilità, che risulta molto semplificata nel caso di reti centralizzate. Prima di concludere occorre rimarcare che le funzionalità presenti in un prodotto di tipo AC dipendono dal fornitore (attualmente esistono diversi prodotti sul mercato).

### 5.6.3. CENNI SULLA SICUREZZA NELLE RETI WLAN

Le Wireless Ethernet IEEE 802.11 Wi-Fi dispongono di un sistema di sicurezza che viene chiamato Wired Equivalent Privacy (WEP). Questa soluzione ha tuttavia registrato notevoli problemi tecnici. Concepita principalmente per garantire la privacy sulle reti cablate, è basata su un sistema di crittografia debole, scelta che si è rivelata inadatta: attraverso un'analisi probabilistica di una piccola quantità di dati cifrati, è infatti possibile risalire alla chiave crittografica e, pertanto, accedere alla rete. Il sistema di sicurezza WEP offre una falsa sensazione di sicurezza agli utenti e conseguentemente i dati possono essere facilmente catturati dagli intrusi.

Per risolvere il problema del controllo di accesso alla rete wireless alcuni operatori hanno adottato soluzioni basate su Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE) in combinazione con WEP. Analogamente alle tecnologie ADSL e *cable modem*, la wireless LAN è in grado di emulare una rete Ethernet e quindi, sotto questa condizione, è possibile usare PPPoE.

Parallelamente all'introduzione della soluzione basata su PPPoE, per risolvere alla radice i problemi di WEP, in ambito IEEE è stato standardizzato il protocollo denominato IEEE 802.1x. Tale standard permette di identificare in maniera sicura gli utenti collegati a una determinata porta Ethernet, o a un AP, e applicare di conseguenza il livello di sicurezza necessario. Lo standard definisce l'Extensible Application Protocol (EAP) Over LANs (EAPOL), un protocollo per il controllo di accesso in reti locali conformi allo standard IEEE 802. Questa architettura, inizialmente nata per reti LAN cablate basate su dispositivi di tipo switch, è oggi un componente essenziale delle funzionalità di sicurezza per reti WLAN a standard IEEE 802.11.

PPPoE a livello autenticazione è paragonabile all'uso di IEEE 802.1.x, ma in più offre alcuni vantaggi:

- IEEE 802.1x non copre la funzionalità di crittografia dati, mentre PPPoE lo permette;
- PPPoE non richiede l'uso di indirizzamenti a livello 3 direttamente su Ethernet, non interagendo di fatto con la topologia della rete interna;
- PPPoE non richiede una infrastruttura PKI per l'autenticazione dell'utente.

Il principale problema di PPPoE è relativo alla lunghezza dei pacchetti trasmessi (Maximum Transfer Unit), che non può superare i 1492 byte. Inoltre l'uso di PPPoE richiede che l'Access Concentrator, che funge da collegamento tra la rete interna e la rete wireless, autentichi e autorizzi in primo luogo l'utente e successivamente codifichi e decodifichi il protocollo PPPoE per tutte le macchine nella rete, costituendo perciò un collo di bottiglia per quest'ultima.

La necessità di fornire soluzioni in grado di garantire la sicurezza nel suo complesso nelle reti IEEE 802.11, ha inoltre spinto il gruppo 802 della IEEE a produrre un documento quadro per la sicurezza denominato IEEE 802.11i. I numerosi ritardi nell'emissione dello standard IEEE 802.11i hanno spinto la Wi-Fi Alliance a produrre una soluzione interinale per la sicurezza denominata Wi-Fi Protected Access (WPA). WPA include la maggior parte delle soluzioni di IEEE 802.11i ma, a differenza di quest'ultimo, è compatibile con l'hardware esistente.

Entrambe le soluzioni forniscono l'autenticazione attraverso il protocollo Extensible Authentication Protocol (EAP) [4], in collaborazione con IEEE 802.1x. Con EAP è possibile utilizzare numerosi metodi per l'autenticazione. Fra quelli proposti o in fase di definizione, rivestono particolare interesse metodi che sfruttano il protocollo Transport Security Layer (TLS) od il protocollo Tunneled TLS (TTLS) e prevedono l'utilizzo di certificati digitali X.509: tali metodi (EAP-TLS, EAP-TTLS) appaiono in grado di soddisfare le esigenze connesse all'autenticazione degli utenti. Questa soluzione prevede l'uso di server RADIUS o DIAMETER per il controllo delle credenziali; in alternativa, è possibile usare la tecnica PreShared Key (PSK) appropriato per i piccoli uffici e gli ambienti domestici che non dispongono di un'infrastruttura di autenticazione preesistente. Un segreto condiviso è impostabile sia nell'Access Point sia nei client, e le chiavi di cifratura vengono rinnovate dinamicamente a intervalli prestabiliti in modo da scongiurare la possibilità che vengano ricavate in tempi utili dagli hacker in ascolto.

La soluzione EAP/802.1x, quindi, rafforza l'architettura di sicurezza di una rete Wireless LAN, permette di autenticare un soggetto e non solo una scheda, risolve il problema di gestione delle chiavi del precedente protocollo WEP, ma non pone rimedio alle debolezze di tale protocollo in termini di riservatezza e integrità dei dati.

Per risolvere il problema della riservatezza dell'informazione trasmessa, WPA prevede l'impiego del Temporal Key Integrity Protocol (TKIP), abbinato all'802.1x, in sostituzione del WEP. Il protocollo TKIP permette di raggiungere un livello di sicurezza che può essere paragonato a quello delle reti cablate usando la cifratura RC4. Lo standard IEEE 802.11i prevede, invece, l'uso di un protocollo chiamato Counter Mode-CBC Mac Protocol che usa AES (Advanced Encryption Standard) per la cifratura. Come accennato, la scelta di IEEE 802.11i impone che i dispositivi supportino AES, e questo costituisce la fondamentale differenza tra WPA e IEEE 802.11i.

Entrambi gli standard invece garantiscono l'integrità dell'informazione tramite il Message Integrity Code (MIC), un tag crittografato a 64 bit che richiede poche risorse di calcolo alla CPU.

#### 5.6.4. GESTIONE DELLA RETE

Nella pianificazione di una rete si devono anche prevedere le modalità di gestione della stessa. La modalità di gestione più comoda per gli amministratori è quella centralizzata, soprattutto al crescere delle dimensioni della rete. Inoltre, considerando che la rete wireless può essere installata come estensione di una rete cablata preesistente, il software per la gestione della rete wireless dovrebbe essere integrato in quello per la gestione della rete cablata al fine di evitare la necessità di usare separatamente due applicazioni. Nel seguito vengono riassunte le principali funzioni che il programma di gestione della rete wireless deve possedere.

##### **a) Scoperta dei dispositivi**

Il sistema deve poter interrogare la rete al fine di scoprire la presenza di nuovi AP, così come di altri apparati quali switch, router, etc.

Una funzionalità importante riguarda la scoperta dei dispositivi che si trovano nella copertura della rete wireless e che ne possono compromettere il regolare funzionamento. Va pertanto considerata, necessariamente, la presenza di una funzionalità che permetta di controllare lo spazio RF coperto dalla propria rete wireless.

##### **b) Monitoraggio dei guasti e delle prestazioni**

Il programma di gestione deve fornire dettagli circa la disponibilità e le prestazioni dei dispositivi della rete wireless. Il sistema deve consentire la gestione degli allarmi per malfunzionamento o funzionamento anomalo degli apparati. Nell'ambito della rete wireless, è importante considerare anche le caratteristiche trasmissive degli apparati, quali potenza, livello di rumore, sessioni attive, etc.

##### **c) Gestione dei resoconti**

Il sistema di gestione deve poter fornire dei resoconti dettagliati circa il funzionamento della rete. Le informazioni che vanno normalmente fornite sono: i) gli utenti che hanno acceduto; ii) disponibilità, utilizzo ed errori degli apparati; iii) parametri RF.



## 6. Pianificazione delle reti wireless per connessioni outdoor

Esaminata nel precedente Capitolo la progettazione delle reti wireless per assicurare la connettività all'interno degli edifici, che è oggi prevalentemente supportata dalla tecnologia Wi-Fi, l'obiettivo di questo Capitolo è l'esame di alcune soluzioni implementative per il trasporto wireless a larga banda per connettere le aree rurali alle grandi reti di comunicazione.

Occorre subito evidenziare che, a differenza della distribuzione e aggregazione indoor mediante l'utilizzo di sistemi Wi-Fi, che segue sostanzialmente gli stessi criteri nelle varie tipologie di edifici e di applicazioni, la connessione (trasporto e accesso) a larga banda in outdoor si presta ad essere realizzata secondo molteplici configurazioni, in dipendenza delle condizioni delle preesistenti infrastrutture, della regolamentazione, dell'orografia, della tipologia di utenti e del traffico e, infine, dei servizi da erogare. È dunque difficile proporre soluzioni univoche; ogni caso deve essere valutato attentamente di volta in volta. Pertanto nel seguito ci si concentra su una situazione esemplificativa ma sufficientemente rappresentativa delle possibili applicazioni, con particolare riferimento all'esigenza di erogare il servizio in aree a bassa densità di traffico, che sono generalmente quelle poste in zone disagiate e lontane dalle aree metropolitane. Si assume l'approccio metodologico di portare, entro tali aree, prioritariamente il servizio a larga banda alle sedi della PA sia centrale che locale (uffici pubblici, scuole, ospedali, etc.), in modo tale da erogare fin dalle prime fasi di allestimento della rete rurale una significativa mole di servizi di interesse pubblico, che quindi operano da "volano" per la penetrazione della larga banda, offrendo così all'operatore una base certa di clientela che può giustificare l'avvio del nuovo business di telecomunicazioni.<sup>15</sup>

Questo approccio pone, a fianco dei tipici problemi ingegneristici, una serie di domande "non tecniche", che attengono alle strategie di promozione e di mantenimento di reti e servizi. Con quali modelli non convenzionali di business si può attivare il nuovo mercato? Come si può conciliare la realizzazione delle reti, di prevalente interesse pubblico, con l'impossibilità di configurare lo Stato come gestore di telecomunicazioni nell'attuale regime concorrenziale? Reti e servizi devono essere forniti a livello locale (regionale, provinciale, comunale) ovvero è possibile un regime misto di reti locali e reti nazionali? Pur senza pretesa di voler dare risposta a questi quesiti, che esulano dagli obiettivi di

<sup>15</sup> Il lavoro illustrato in questo Capitolo, e in particolare le Sezioni 6.3 e 6.4, si basano su un precedente studio eseguito in ambito CNIPA [53] [54].

questo documento e che dipendono largamente dalle scelte di carattere generale, economico e politico, nel seguito proviamo ad accennare ad alcuni dei principali aspetti di business e di organizzazione delle reti, rammentando che, allo stato attuale, non si hanno ancora risposte univoche.

## 6.1. RETI OUTDOOR A LARGA BANDA

### 6.1.1. "DIGITAL DIVIDE" INFRASTRUTTURALE

Da qualche anno si stanno facendo strada in tutto il mondo configurazioni di rete a larga banda basate sull'impiego di tecnologie wireless. Queste configurazioni di rete stanno dimostrandosi di interesse per combattere il fenomeno del divario digitale (*digital divide*) nella sua componente infrastrutturale, ossia il ritardo che si sperimenta nella realizzazione degli accessi a larga banda, [64], [65], [66].

Tale fenomeno si avverte sia nei paesi in via di sviluppo, ove la disponibilità di tecnologie e servizi ICT è generalmente scarsa, che nei paesi industrializzati, specialmente nelle

Regione	N. comuni	N. comuni non serviti	%
Abruzzo	305	233	76,4
Basilicata	131	87	66,4
Calabria	409	265	64,8
Campania	551	285	51,7
Emilia-Romagna	341	104	30,5
Friuli Venezia Giulia	219	132	60,3
Lazio	378	241	63,8
Liguria	235	146	62,1
Lombardia	1546	864	55,9
Marche	246	131	53,3
Molise	136	124	91,2
Piemonte	1206	936	77,6
Puglia	258	79	30,6
Sardegna	377	286	75,9
Sicilia	390	155	39,7
Toscana	287	101	35,2
Trentino	339	218	64,3
Umbria	92	50	54,3
Valle d'Aosta	74	54	73,0
Veneto	581	249	42,9

Tabella 6.1 - Numero di comuni non serviti da accessi xDSL in Italia (2005).



Pur tenendo conto dell'esistenza di molteplici varianti implementative, un'architettura di rete di telecomunicazioni che impieghi tecnologie wireless nell'accesso può rappresentare una soluzione economicamente interessante per assicurare connettività a larga banda, specialmente in aree rurali. Considerato comunque il significativo investimento di capitale (*CAPital EXpenditure*) necessario per l'allestimento della rete che inevitabilmente presenta un ROI (*Return Of Investment*) valutabile su tempi medio-lunghi (tipicamente oltre cinque anni) e sovente incerto, occorre tenere presente che in molti casi l'aspetto finanziario riveste un ruolo predominante su ogni altra considerazione di carattere tecnico-ingegneristico.

I modelli di business finora sviluppati prevedono spesso forme di intervento pubblico che può attuarsi secondo diverse modalità, sempre tenendo conto che nell'attuale regime di concorrenza non sono consentiti finanziamenti pubblici diretti agli operatori di telecomunicazioni per la realizzazione di reti di loro proprietà. Di seguito sono riportati i modelli di massima impiegabili:

- **Finanziamento da parte delle Regioni (o dello Stato)** per la realizzazione di reti di proprietà pubblica da concedere in uso agli operatori per l'erogazione dei servizi. Solitamente l'intervento pubblico si limita alla costruzione dell'infrastruttura di rete priva di apparati di compressione e di trasmissione, che vengono poi installati dagli operatori<sup>17</sup>. La condizione che solitamente viene imposta all'operatore di rete concessionario è che essa sia utilizzabile da qualunque altro operatore a condizioni di mercato. In ogni caso l'infrastruttura di rete rimane di proprietà della Regione, o dello Stato, che la rende disponibile su concessione a lungo termine (ad esempio 15 anni rinnovabili) ad un operatore che dovrà fornire alla PA (centrale e/o locale) alcuni servizi concordati e potrà estendere il proprio business a privati cittadini e aziende. Questo è il modello che in Italia viene seguito nel caso degli investimenti attuati attraverso la società di scopo a capitale pubblico Infratel Italia che ha il compito di realizzare nel Mezzogiorno l'infrastruttura con finanziamenti dello Stato, stanziati sulla scorta di delibere del CIPE (*Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica*), eventualmente integrati da cofinanziamenti regionali.
- **Cofinanziamento pubblico/privato della realizzazione della rete**, in base a un meccanismo finanziario che prende il nome di "modello scozzese", in quanto mutuato dall'esperienza di quel paese. In questo caso la Regione (o lo Stato) può, in virtù di un apposito bando pubblico, cofinanziare la costruzione della rete insieme ad un operatore. Negli anni successivi, lo sviluppo del mercato viene monitorato e, nel caso in cui i ricavi dell'operatore risultino superiori a quanto inizialmente stimato, questi è tenuto a restituire il finanziamento in eccesso. Questo modello in Italia è già stato seguito nelle regioni Toscana e Sardegna con approvazione dell'Unione Europea.

<sup>17</sup> Ciò al fine di evitare che la Regione (o lo Stato) si configuri come operatore pubblico di telecomunicazioni.

Il modello al quale si fa riferimento nel seguito rappresenta una variante del modello scozzese. Si ipotizza che il sistema venga realizzato a carico di un operatore privato in regime di licenza. Le condizioni di licenza stabiliscono un reciproco impegno dell'operatore e dell'amministrazione pubblica (regionale) ad erogare il servizio a larga banda a partire da uno specificato insieme di utenze pubbliche sulla base di un tariffario convenuto; l'obbligo reciproco permane almeno fino a quando non si verificano condizioni di crescita del mercato tali da realizzare la maturità del business. Nella elaborazione di dettaglio del modello occorre assicurare gli strumenti necessari a renderlo operativo in un regime multi gestore.

### 6.1.2. CONFIGURAZIONE TIPICA DI RETI DI COMUNICAZIONE IN AREA RURALE

Nell'ambito applicativo delle reti rurali per la fornitura di servizi a larga banda, in una rete di comunicazioni possiamo distinguere tre elementi principali a valle di un anello ottico:

- backbone;
- connessione "ultimo miglio";
- distribuzione locale.

Una possibile architettura di rete per il trasporto e la distribuzione della larga banda in zone rurali è già stata esaminata nel Capitolo 2, in Figura 2.4. In essa si distingue un *backbone* di trasporto realizzato a due livelli tramite una rete ottica in tecnologia Giga Ethernet o MPLS (nucleo a livello regionale) seguita da una sezione in ponte radio (HiperLan, ponti radio SDH (Synchronous Digital Hierarchy), etc.). Segue la connessione periferica, in rete wireless attuabile per mezzo di qualsiasi tecnologia disponibile, tra cui HiperLan2, Wi-Fi, Wi-MAX, e, infine, la rete di distribuzione *indoor*.

La dorsale di trasporto ha il compito di veicolare il traffico da/verso le zone non raggiunte dal servizio a larga banda. Essa realizza la connessione nelle località che dispongono di PoP (*Point Of Presence*), ossia punti di accesso a larga banda alla rete Internet, per poi renderla disponibile nelle località dove non è presente (ad esempio nei Comuni in aree rurali). In sostanza, la rete dorsale permette di veicolare il traffico da e per l'ultimo miglio. Nell'attuale stato dello sviluppo delle reti a larga banda in Italia, le infrastrutture dorsali non sono sempre disponibili. La dorsale può essere realizzata con mezzi cablati (fibra ottica) o in ponte radio, tipicamente attraverso soluzioni HiperLAN, SDH o con altre soluzioni ibride wireless/cablate.

All'interno di ciascun Comune raggiunto dal *backbone*, la connessione si attesta di solito in corrispondenza di un edificio pubblico (ad esempio il Municipio), per essere resa disponibile sul territorio in modalità wireless con l'utilizzo di apparecchiature che impiegano gli standard Wi-Fi o HiperLAN. In cima all'edificio del Municipio si colloca una antenna, spesso omnidirezionale, con il compito di assicurare la copertura locale sull'intero abitato. Affinché si possa utilizzare il servizio, il soggetto gestore della rete dovrà dotare l'utente dell'hardware di trasmissione occorrente, detto in tale contesto CPE (*customer premises equipment*), e del kit di configurazione software.

Nel momento in cui l'utente chiede l'attivazione della propria connessione a banda larga, il gestore provvede a munirlo di CPE. A seconda della tecnologia radio per l'ultimo miglio e delle condizioni di ricezione al sito dell'utente, si possono verificare casi differenti nella distribuzione locale:

- la CPE può essere posizionata all'esterno dell'edificio e, in tal caso, la distribuzione all'interno avviene via cavo;
- è possibile la ricezione *indoor* e in tal caso la CPE è collocata all'interno dell'edificio in prossimità del PC dell'utente.

Nel caso di ricezione comunitaria, l'apparecchiatura ricevente è opportunamente collocata sul tetto della sede dell'utente (ad esempio nella sede della PA, impresa o condominio in caso di utenza residenziale) e la connettività individuale all'interno dell'edificio potrà essere assicurata via cavo (o via Wi-Fi).

## 6.2. PROGETTO DELL'INFRASTRUTTURA WIRELESS

Si analizzano ora i principali aspetti relativi all'allestimento di una rete wireless in grado di offrire differenti tipologie di servizio (accesso ad Internet, telefonia, videoconferenza, etc.) su una vasta area (ad esempio una Regione italiana) [68]. Nel seguito saranno descritte anche le problematiche di servizio, senza tuttavia entrare nel merito delle scelte legate alla fattibilità del business plan [69], [70].

### 6.2.1. ASPETTI DI PROGETTAZIONE DELLA RETE RADIO

I passi necessari per la progettazione e il dispiegamento sul territorio della rete wireless sono [68]:

1. individuazione e ricerca dei possibili siti utili per le antenne;
2. allestimento della centrale operativa;
3. pianificazione operativa della rete.

#### 6.2.1.1. Siti di antenna

Il principale problema che deve essere affrontato da chi intenda realizzare oggi un'infrastruttura di rete wireless è l'individuazione dei siti utili per il posizionamento delle stazioni radio base, nonché l'acquisizione dei diritti d'uso per poter operare sui siti prescelti. Le difficoltà associate all'acquisizione di nuovi siti determina spesso la necessità di operare in "co-siting" con operatori preesistenti ovvero di posizionare le antenne di più operatori nel medesimo sito.

La selezione dei siti dovrebbe essere eseguita secondo considerazioni di pianificazione radio; tuttavia, per le suddette difficoltà le posizioni delle antenne sono fornite spesso al progettista come vincolo e non possono quindi derivare dal processo di ottimizzazione della copertura. Per ovviare al problema, le moderne tecnologie wireless, come ad

esempio il Wi-MAX, supportano la comunicazione anche in assenza di “linea di vista” tra trasmettitore e ricevitore.

### **6.2.1.2. Centrale operativa**

Di fondamentale importanza è l’allestimento della centrale operativa con il compito di gestione della rete wireless. Il primo requisito da considerare riguarda la stessa collocazione del sito che dovrà essere in posizione strategica all’interno della rete wireless, in quanto verso di esso confluiranno i flussi dati provenienti dagli elementi di rete che dovranno poi essere convogliati verso la dorsale di trasporto. La scelta del sito della centrale è quindi importante per lo sviluppo della rete stessa e per il suo successivo ampliamento.

La centrale operativa contiene tutti gli organi necessari ad offrire i servizi della rete. Tra queste è sicuramente presente un router di confine (*border router*), necessario a connettere la rete wireless alla rete di trasporto. A seconda dei servizi che la rete wireless deve fornire, all’interno della centrale saranno quindi presenti:

- dispositivi per gestire la sicurezza;
- gateway per supporto VoIP;
- server per la gestione dei contenuti;
- apparati per connessione a reti ottiche o xDSL.

La presenza di tali apparati comporta un’attenta progettazione della centrale, in cui si definiscano attentamente i requisiti sull’occupazione degli spazi, sull’assorbimento di energia elettrica e sulla ventilazione degli ambienti. La centrale deve essere altresì equipaggiata con applicativi per la gestione degli utenti della rete wireless, tra cui il “billing” e il “provisioning”. Tutti gli apparati della sala di controllo richiedono un monitoraggio continuo H24.

### **6.2.1.3. Pianificazione della rete**

Una volta completata la progettazione della centrale operativa, si procede alla progettazione della rete wireless. In particolare, la collocazione dei punti di accesso radio sarà effettuata sulla base di una molteplicità di fattori, quali:

- tipo di sistema radio;
- posizione dei clienti nell’area;
- orografia del terreno;
- vincoli ambientali e locali;
- costo dei siti;
- tipologia dei servizi da erogare.

Il progettista dovrà dunque privilegiare nella scelta i siti che permettono di raggiungere il maggior numero di utenti, garantendo ad essi una prefissata qualità di servizio. In tale operazione di pianificazione giocheranno quindi un ruolo fondamentale le informazioni socio-economiche relative al territorio.

Altro aspetto da considerare in fase di pianificazione della rete è relativo al *backhaul* ossia l'insieme dei collegamenti tra le stazioni wireless e la centrale operativa. La capacità di tali collegamenti è una delle informazioni attese a conclusione della fase di progettazione della rete wireless. Tipicamente tali collegamenti sono attuati mediante reti cablate; a volte tuttavia è necessario realizzarli in tecnologia wireless ricorrendo ai tradizionali ponti radio o a reti Wireless Mesh. In quest'ultimo caso le stazioni radio base comunicano usando la rete wireless stessa, realizzando i collegamenti di trasporto da e verso la centrale.

Considerazioni di carattere generale e pratico influenzano la scelta delle architetture di rete wireless punto-punto, wireless punto-multipunto e Wireless Mesh:

- Le connessioni wireless punto-punto vengono utilizzate principalmente per collegare due punti distanti della rete ovvero qualora sia necessario:
  - servire uno specifico sito cui afferiscono clienti "premium";
  - fornire un collegamento di backhaul con la centrale operativa;
  - far fronte ad una specifica richiesta di alte capacità di traffico da parte di un cliente.
- Le reti wireless punto-multipunto sono oggi la normalità, in quanto permettono di servire molti clienti con un unico punto di accesso, ossia la stazione radio base. Tale configurazione permette di limitare il numero di router o di switch nella rete, minimizzando i costi di installazione. Nell'installazione delle reti PMP si usano spesso le antenne direttive che permettono di limitare le aree di copertura e le interferenze, consentendo tecniche di riuso di frequenza.
- Le reti Wireless Mesh, ancora poco diffuse, ad oggi riescono a servire poche decine di clienti avendo cura di limitare il numero dei salti nella rete a uno o, al massimo, a due.

### 6.2.2. APPROFONDIMENTI RELATIVI ALLA PIANIFICAZIONE RADIO

La progettazione di una rete wireless per comunicazioni outdoor prevede l'esecuzione di una fase di sopralluoghi, dedicata alla misura dei livelli di interferenza nelle bande di operazione, nonché alla determinazione delle caratteristiche del collegamento (individuazione degli ostacoli) tra trasmettitore e ricevitore. Tali sopralluoghi possono comportare un elevato numero di misurazioni da eseguire mediante analizzatore di spettro o impiegando gli effettivi ricetrasmittitori radio. Questo lavoro costituisce il primo passo che un operatore di rete deve effettuare e, qualora siano previste comunicazioni in porzioni di spettro libere da licenza, esso dovrà essere preceduto da una fase di analisi delle bande effettivamente disponibili. Di massima, il sopralluogo si effettua in ogni locazione ove si intende installare una stazione radio base ovvero è collocato un utente; poiché ciò richiede spesso un ingente dispendio di tempo e risorse gli operatori di rete possono limitare i sopralluoghi alle aree in cui si stima che sia concentrata la più alta densità di utenti.

Minore è, invece, l'importanza di effettuare sopralluoghi nel caso di comunicazioni NLOS o di architetture wireless mesh. Lo scopo di entrambi gli approcci è, del resto, promuovere l'auto-configurazione della rete ed evitare numerosi sopralluoghi.

Tre sono le informazioni che l'operatore di rete intende estrarre da un sopralluogo:

- il livello di interferenza nella banda di operazione e nelle bande ad essa adiacenti, dovuta sia agli utenti presenti nell'area, sia ad interferenti accidentali;
- il livello di segnale in corrispondenza dell'antenna nel sito in questione, considerando il segnale emesso da vari punti della rete;
- il livello di integrità del flusso dati e fattori quali il bit error rate, il jitter, il tempo di latenza e il throughput.

Sebbene la strumentazione a disposizione per tale tipo di misure sia estremamente precisa, resta un certo grado di indeterminazione nel modo in cui tali sopralluoghi debbano essere svolti, essendo non sempre determinabile a priori, in modo esatto, la concentrazione di utenti all'interno di un'area servita da una stazione radio base; come conseguenza di ciò i livelli di interferenza possono variare nel tempo in modo anche significativo.

In ogni caso, il preliminare sopralluogo in cui si intende installare il sito fornisce all'operatore alcune informazioni di base ed è, di conseguenza, una parte indispensabile del processo di pianificazione. I resoconti dei sopralluoghi dovranno contenere indicazione sull'esatta collocazione dei nodi della rete, inclusa l'elevazione, ad esempio mediante impiego delle coordinate GPS.

#### **6.2.2.1. Sopralluogo del sito**

Il sopralluogo ove si intende installare il sito inizia con la verifica delle condizioni di visibilità lungo il percorso del collegamento. Tale verifica può essere effettuata direttamente ovvero tramite impiego di mappe tridimensionali dell'area di interesse che forniscono l'elevazione di tutti gli edifici e gli ostacoli naturali presenti nell'area.

Di regola occorre procedere alla determinazione del volume di Fresnel, confinato dall'ellissoide costruito lungo la congiungente il trasmettitore e il ricevitore. L'ellissoide di Fresnel, come è noto, rappresenta la regione al cui interno la presenza di ostruzioni può determinare forti attenuazioni del segnale ricevuto: viceversa se lo spazio circoscritto dall'ellissoide risulta libero da ostacoli si può considerare soddisfatta la condizione di visibilità lungo il collegamento. Per evitare un forte affievolimento, dunque, occorre che sia rispettata la regione di spazio delimitata dall'ellissoide di Fresnel: si osserva anche che tale volume dipende dalla frequenza, tendendo a zero, al crescere della frequenza, e dalla distanza dal sito al punto in cui lo si calcola.

Nella localizzazione del tracciato del collegamento di un ponte radio troposferico e nella determinazione dell'altezza dei tralicci sui quali collocare le antenne in trasmissione e in ricezione, occorre dunque assicurarsi che per il valore dell'indice troposferico previsto non si abbia ostruzione del cammino radio. A tal fine si ricorre a rappresentazioni grafiche del profilo del collegamento che sono tipicamente basate sul

modello di terra equivalente sferica. Sono disponibili programmi per il calcolo della zona di Fresnel. Occorre comunque tenere presente che aumentare l'altezza delle antenne per evitare che gli ostacoli posti lungo il collegamento intercettino l'ellissoide di Fresnel non sempre rappresenta la soluzione ottimale in quanto un'antenna troppo alta potrebbe precludere la copertura delle aree poste nelle sue immediate vicinanze. È importante sottolineare, infine, che non tutti gli ostacoli sono equivalenti in termini di impatto sulla qualità del collegamento ma dipende dal grado di ostruzione dell'ellissoide di Fresnel. Di tali aspetti occorre tenere adeguatamente conto nella pianificazione della rete wireless.

#### **6.2.2.2. Analisi delle interferenze**

Dopo aver stabilito, tramite sopralluogo del sito designato, se sono presenti ostacoli lungo il collegamento e quanto severamente essi possano influire sulle prestazioni, occorre fornire una valutazione delle interferenze nell'ambiente radio e determinare se esistono le condizioni per l'utilizzo della frequenza attribuita. L'analisi delle interferenze si esegue con strumenti di misura, quale un analizzatore di spettro, o con moduli software da installare sui ricetrasmittitori radio effettivamente impiegati.

La misurazione del livello di interferenza deve essere effettuata ad entrambi gli estremi del collegamento e, data l'estrema variabilità temporale dei fenomeni di interferenza, le misure devono essere reiterate in giorni e ore differenti. Sebbene gli operatori di rete limitino, in genere, i sopralluoghi alle aree dove con maggiore probabilità l'utenza è collocata, è consigliabile un'analisi dello stato di allocazione ed occupazione spettrale estesa all'intera area in cui si intende sviluppare la rete; le analisi potranno essere effettuate mediante sopralluoghi in zone scelte a campione. Nel compiere l'indagine, le misure dovrebbero essere effettuate collocando il ricevitore ad altezze diverse dal suolo. Scopo dello studio è rilevare l'effettiva occupazione di banda nella zona in esame, al fine di pianificare, se possibile, trasmissioni nelle bande meno affollate o, in ogni caso, di salvaguardare la qualità del servizio mediante adozione di opportuni provvedimenti in trasmissione e/o ricezione. Fine ultimo di tale fase di analisi spettrale è, dunque, misurare il livello di interferenza agli estremi del collegamento.

Una volta completata l'analisi dello spettro, gli operatori di rete dovranno trarre opportune considerazioni circa il livello di integrità dei dati che può essere garantito tramite il collegamento preso in esame e circa l'opportunità di veicolare tramite esso i servizi richiesti dagli utenti.

La presenza di interferenza lungo il collegamento non preclude a priori l'utilizzo dello stesso per la comunicazione. Tutti i dispositivi radio commerciali tollerano un certo grado di interferenza; nel caso di radio operanti in banda esenti da licenza si assume che tale contributo sia di notevole entità. L'interferenza diventa critica qualora il suo livello approssimi quello del segnale. La capacità di ricezione nei confronti dell'interferenza, conseguita ad esempio mediante adozione di un certo tipo di modulazione, rappresenta l'elemento distintivo di più progetti di un sistema radio. A titolo di esempio, si faccia riferimento alla tecnica di *frequency hopping* che conferisce elevata immunità nei

confronti dell'interferenza, in quanto la frequenza alla quale avvengono le trasmissioni varia secondo una prefissata sequenza di hopping: ciò consente di evitare dinamicamente le porzioni di banda in cui è elevato il contributo di interferenza. In aggiunta, attraverso la scelta della tecnica di modulazione si può ottenere una maggiore robustezza nei confronti dell'interferenza e del rumore, pur limitando, inevitabilmente, la velocità di trasmissione dati conseguibile.

La questione è ulteriormente complicata dal fatto che il protocollo di trasporto TCP prevede la ritrasmissione dei pacchetti nel caso di perdite indotte dall'interferenza. Fino a che l'interferenza mantiene la caratteristica di essere intermittente ovvero il livello di interferenza è spesso minore del livello di segnale, la trasmissione può essere mantenuta, sebbene ciò comporti un considerevole costo in termini di velocità di trasmissione dei dati e riduzione della qualità di servizio. Il problema è quindi da riformulare; in particolare, occorre determinare quali condizioni siano accettabili dal punto di vista dell'utente.

Il fatto che i nodi di rete possano operare in presenza di elevato livello di interferenza prodotto da altri sistemi incide su aspetti che trascendono il singolo utente. Un terminale che reiteri la trasmissione dei dati per ovviare agli effetti dell'interferenza contribuisce, esso stesso, ad aumentare il livello di disturbo e a creare interferenza verso altri terminali, i quali saranno perciò, a loro volta, indotti a ripetere la trasmissione dei pacchetti dati; ciò comporta, inevitabilmente un circolo vizioso con conseguente degradazione delle prestazioni dell'intero sistema. In conclusione, è necessario disporre dell'informazione relativa al livello di interferenza che può essere tollerato in relazione al livello di segnale, senza che vi sia apprezzabile ritrasmissione dei dati. Tale informazione dovrà essere acquisita dall'azienda produttrice degli impianti ricetrasmittenti. Qualora il livello di interferenza sia frequentemente superiore alla soglia indicata, occorre considerare l'opportunità di rilocalizzare il collegamento.

Un'installazione temporanea dei terminali radio alle estremità del collegamento consentirà, in ogni caso, di determinare se un collegamento è atto o meno all'uso prospettato. Il software di diagnosi proprio dei dispositivi radio che vengono utilizzati permette, inoltre, a chi effettua il sopralluogo di rilevare l'effettivo livello di segnale in ricezione e di valutare l'affidabilità del collegamento.

### **6.2.2.3. Test della rete**

Una volta completata l'analisi a radiofrequenza, l'operatore di rete dovrà procedere all'installazione dei terminali radio agli estremi del collegamento e ad una valutazione di quest'ultimo. In particolare, la valutazione delle prestazioni dovrà essere effettuata in termini di:

- throughput,
- latenza,
- tasso di perdita di pacchetto,
- numero di ritrasmissioni.

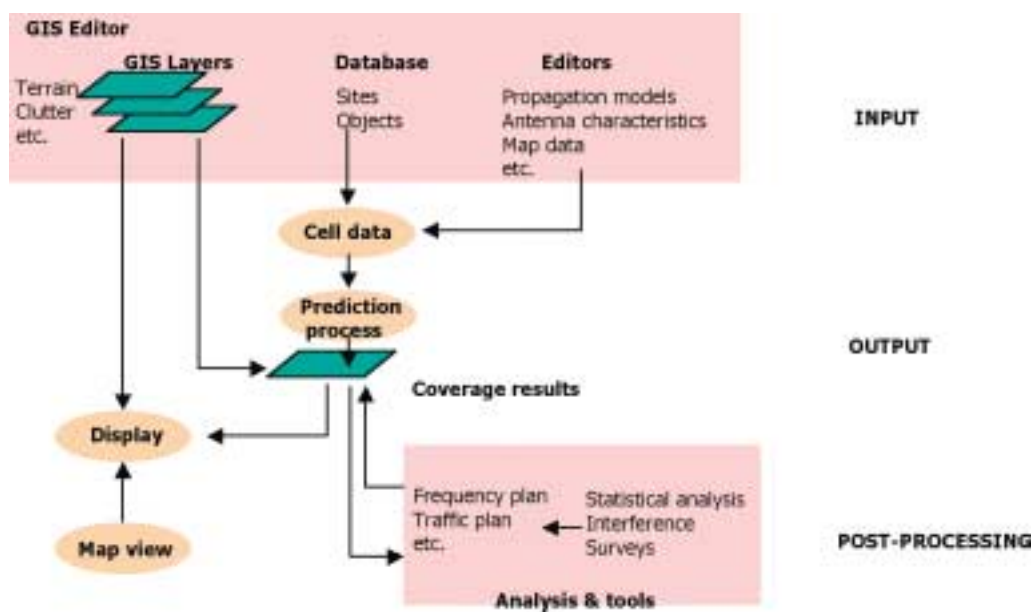
La maggior parte delle aziende produttrici di sistemi wireless a larga banda, infine, mette a disposizione software di diagnostica che può essere efficacemente impiegato per stimare la qualità della tratta radio.

#### 6.2.2.4. Pianificazione della copertura

Il processo di pianificazione della copertura radio prevede il preliminare calcolo del bilancio di collegamento, in cui si tenga conto dell'attenuazione della tratta tra trasmettitore e ricevitore, nonché del guadagno degli amplificatori (di potenza in trasmissione e a basso rumore in ricezione) e delle antenne. Nel bilancio è necessario tenere, altresì, in considerazione gli effetti atmosferici, mediante opportuni margini di potenza.

Segue una fase di pianificazione di copertura attraverso strumenti di simulazione che tengono conto dei risultati dei bilanci di collegamento e utilizzano un data base GIS (*geographical information system*). Oggi esistono molti programmi commerciali per la previsione delle coperture adatti alla progettazione di reti sia wireless che radiomobili. Questi programmi presentano architettura software ormai standard che include gli elementi evidenziati nella seguente *Figura 6.2*:

- una sezione di input, essenzialmente composta da un *GIS Editor*,
- una sezione di elaborazione e output dei dati che si compone di un algoritmo di calcolo che crea un database dei risultati di copertura e provvede alla funzione di display,
- una sezione di post-elaborazione che contiene un insieme di tool di analisi e che può interagire iterativamente con la sezione di elaborazione e output dei dati.



In sintesi, uno strumento di previsione di copertura opera sulla base di vari elementi:

- parametri di qualità del servizio e caratteristiche radioelettriche delle stazioni radio base;
- insieme di basi di dati;
- modello di propagazione e relativi parametri tarati con riferimento alle condizioni ambientali di interesse;
- dati di traffico e di interferenza;
- insieme di algoritmi di calcolo;
- calcolo delle metriche di uscita per la verifica delle prestazioni.

Con riferimento, ad esempio, alla propagazione l'algoritmo di predizione elettromagnetica può essere prescelto tra varie alternative, tra cui ad esempio i seguenti classici modelli di propagazione:

- Okumura-Hata;
- COST 231;
- Walfisch-Ikegami;
- Walfisch-Bertoni;
- Ray tracing;

oppure sulla base di altri modelli eventualmente definiti dall'utente che possono essere da questi impostati nel simulatore.

Per eseguire le simulazioni occorre disporre di un opportuno insieme di basi di dati che, ad esempio, si può articolare nei seguenti sei elementi componenti (*GIS layers*):

- base dati geografica, contenente i caratteri politico-amministrativi e geografici del territorio (confini statali, regionali, provinciali, comunali, città, laghi, fiumi e strade);
- base dati orografica, contenente le informazioni sulle altitudini sul livello del mare dei rilievi;
- base dati morfologica, con le informazioni sul tipo di uso del terreno (urbano, suburbano, rurale, collinoso, boschivo, acque interne, etc.) e gli associati valori di clutter;
- base dati dell'edificato, contenente le informazioni sulla presenza degli edifici e sulle relative altezze;
- base dati demografica, con i dati sulla densità di popolazione residente;
- base dati di traffico, con dati sulle densità di traffico offerto (eventualmente classificato per tipologia di servizio).

A seconda di come sia più conveniente, le basi dati costituiscono i "GIS layers" (**Figura 6.3**). Un GIS viene usato per mostrare graficamente e analizzare dati spaziali che sono derivati da basi di dati; la connessione di grafica su computer e memorizzazione dei dati è ciò che fa dei GIS dei potenti strumenti per queste applicazioni di predizione di copertura.



Figura 6.3 - Rappresentazione grafica di GIS.

Le informazioni in un GIS sono organizzate in formato vettoriale, che risulta più rapidamente accessibile, o nel più completo formato matriciale (o *raster*), ossia in *pixel*. Sono espressi in formato vettoriale i confini amministrativi (regioni, province, comuni, etc.) le strade, gli aeroporti, le ferrovie, le gallerie, i fiumi, i laghi, etc. Sono viceversa in formato raster gli strati che contengono le altre informazioni: longitudine, latitudine e quota, clutter (classificato in un numero di categorie adatto al problema), popolazione, ecc.

Ad esempio in *Figura 6.4* si mostra un'uscita di un data base raster delle altimetrie.

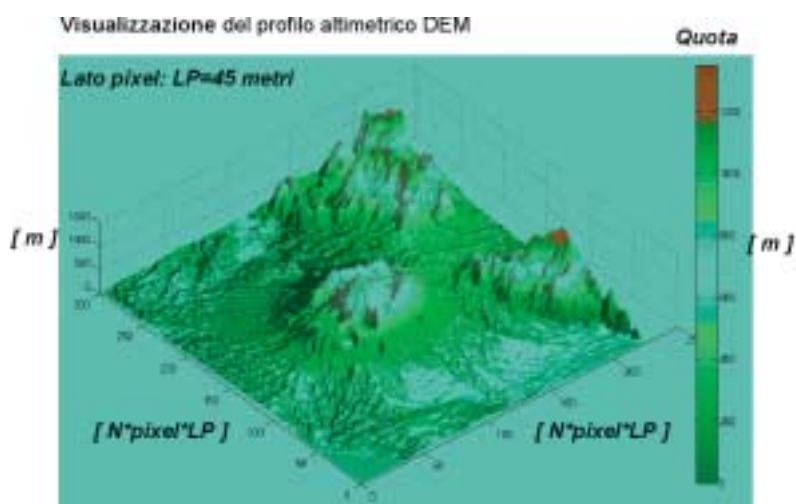
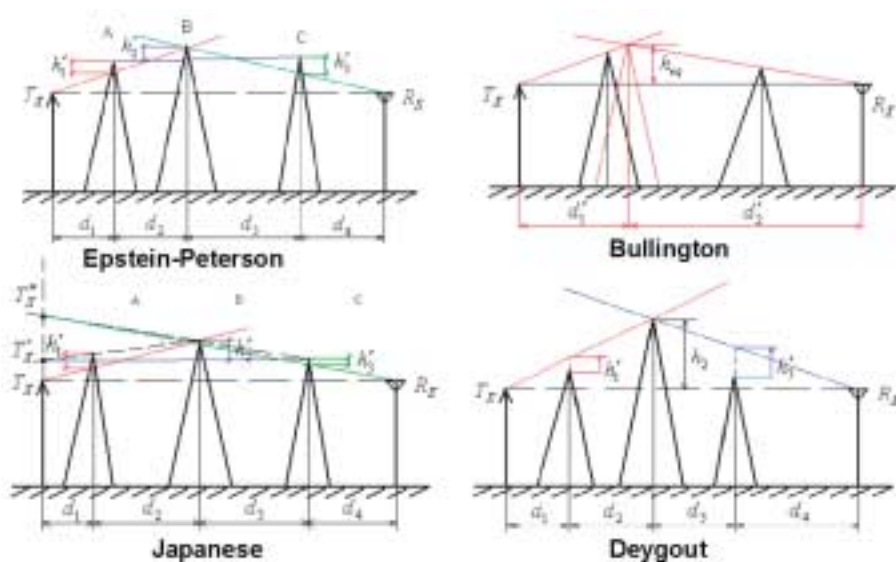


Figura 6.4 - Data base altimetrico (zona dei Castelli romani).

La base dati orografica consente, fra l'altro, il calcolo degli effetti della diffrazione dovuta agli ostacoli che, allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, si può effettuare attraverso vari modelli (Epstein-Peterson, Bullington, Deygout, etc.), in quanto il calcolo

numerico a partire dall'espressione esatta risulterebbe spesso impraticabile, con la conseguenza di dovere accettare risultati con differente grado di approssimazione dipendente dal modello impiegato. Si veda a riguardo la *Figura 6.5*.



*Figura 6.5 - Modelli di diffrazione.*

La base dati morfologica fornisce il dato di clutter del tipo di ambiente, opportunamente catalogato in più categorie che caratterizzano le proprietà del terreno. Ad es. in *Tabella 6.2* è riportata una classificazione in sette categorie di clutter.

Identificativo	Tipo di ambiente
1	Area Urbana Densa
2	Area Urbana Media
3	Area Urbana a Bassa Densità
4	Area Suburbana
5	Area Aperta con Vegetazione
6	Area Aperta
7	Acqua

*Tabella 6.2 - Esempio di categorie morfologiche.*

La *Figura 6.6* mostra, infine, un esempio di uscita di un data base contenente la distribuzione territoriale del clutter morfologico e, rispettivamente, della popolazione.

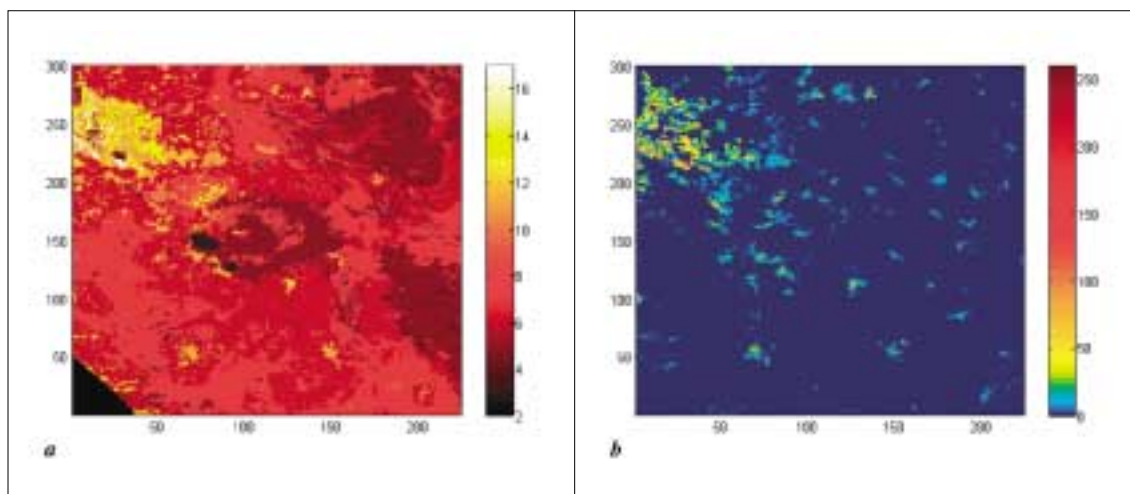


Figura 6.6 - Data base (a) clutter morfologico e (b) popolazione.

La base di dati demografica si può ricavare dalla più recente base di dati di popolazione residente messa a disposizione dall'ISTAT. Altre informazioni possono essere inserite nei Layer del GIS, a seconda delle necessità specifiche tra cui ad esempio la distribuzione territoriale delle imprese.

Un aspetto rilevante riguarda la risoluzione delle basi dati, che può essere eventualmente differente nei diversi componenti e, nell'ambito di uno stesso componente, in funzione della località. Il grado di discretizzazione del territorio deve essere sufficientemente dettagliato in relazione all'ambiente, alle dimensioni di cella, alle esigenze di precisione e di tempo di calcolo. Ad esempio per descrivere l'orografia e la morfologia in ambienti extraurbani possono essere sufficienti mappe digitalizzate eventualmente anche con pixel di dimensioni maggiori di  $250 \times 250 \text{ m}^2$ , mentre in un ambiente urbano potrebbero essere richieste risoluzioni più spinte, ad esempio  $50 \times 50 \text{ m}^2$ . Al fine di evitare tempi di elaborazione troppo elevati (ad esempio 25 volte più grandi se si passa dalla risoluzione  $250 \times 250 \text{ m}^2$  alla risoluzione  $50 \times 50 \text{ m}^2$ ), si assume di solito una risoluzione variabile sul territorio.

Il database può considerare i vari parametri di cella, quali coordinate del sito, altezza delle antenne, potenza trasmessa, diagramma di radiazione delle antenne e modello per la propagazione; un programma di previsione prevede in generale anche diverse funzionalità per definire diversi tipi di servizio di utente e permette di stabilire un opportuno profilo di utente nel tempo e le relative classi di servizio.

Un tool di simulazione in generale, consente di visualizzare mappe multiple su un unico layout di pagina, ognuna delle quali può contenere un diverso contenuto e riferirsi a diverse aree. L'operatore può controllare la grafica complessiva sia a livello di layout completo che di singolo oggetto.

I risultati dell'analisi prodotti dal tool di simulazione possono essere esportati in formato geografico georeferenziato: i due standard più comuni sono GeoTIF e MapInfo.

## 6.3. SCENARIO GENERALE DI RETE

### 6.3.1. UN ESEMPIO DI ARCHITETTURA DETTAGLIATA

Nel seguito si descrive il modello generale dell'infrastruttura di rete per il supporto dei servizi multimediali in un'area tipicamente regionale.

#### 6.3.1.1. Architettura e flussi di traffico

La copertura del territorio regionale è realizzata mediante un insieme di sezioni indipendenti di rete, indicate in *Figura 6.7* con il termine *Area x* ( $x = 1, 2, \dots, n$ ), ciascuna riferita ad una porzione distinta di territorio. Tali aree dovranno essere interconnesse a SPC che costituisce la dorsale della rete cablata.

Una Rete di Area deve garantire agli utenti l'accesso ai servizi messi a disposizione dal SPC. L'operatore (eventualmente in concessione) avrà il compito di gestire i Servizi di Connettività e di Rete (SCR) e i Servizi Multimediali di Base (SMB) all'interno di ciascuna Rete di Area.

Un PoP, punto di interconnessione tra una Rete di Area ed il SPC, segna il confine tra il dominio dell'Amministrazione regionale e il dominio di responsabilità dell'operatore. Un PoP costituisce, inoltre, il punto attraverso il quale gli utenti della PA nelle singole Reti di Area accedono ai servizi offerti dal SPC. Una Rete di Area può accedere al SPC attraverso uno o più PoP regionali e un singolo PoP regionale può fornire accesso ad una o più Reti di Area. All'interno di ogni singola area possono essere presenti due tipologie di postazione d'utente:

- Postazioni d'utente appartenenti alla PA (centrale o locale, PAL)
- Postazioni d'utente non appartenenti alla PA (NonPAL in figura).

È previsto che l'operatore possa utilizzare l'infrastruttura di rete presente in un'Area per offrire servizi di comunicazione ad utenti diversi da quelli appartenenti alla PA. In tal caso, l'operatore dovrà garantire la separazione delle due tipologie di traffico e garantire i prescritti livelli di servizio in qualsiasi condizione di carico.

La struttura generale di una Rete di Area è di tipo gerarchico, articolata su livelli. Ad ogni nodo corrisponde un livello di distribuzione del traffico per la copertura dell'area geografica corrispondente. Allo scopo di definire univocamente le funzioni da eseguire sul traffico da e verso le postazioni d'utente, la *Figura 6.7* illustra le diverse tipologie di flussi di traffico che dovranno essere supportate dalla rete.

Si hanno "Flussi di tipo 1" e "Flussi di tipo 2", così definiti:

- **Flussi di tipo 1** – Sono i flussi di traffico interni all'Amministrazione generati da utenti della PA e diretti a utenti della PA sia all'interno del SPC che dislocati in una delle Reti di Area gestite dall'operatore. Possono essere distinte tre tipologie di Flussi di tipo 1:
  - *Flussi di tipo 1a* (Traffico intra rete d'area): i punti di origine e destinazione del traffico si trovano all'interno della stessa Rete d'Area.

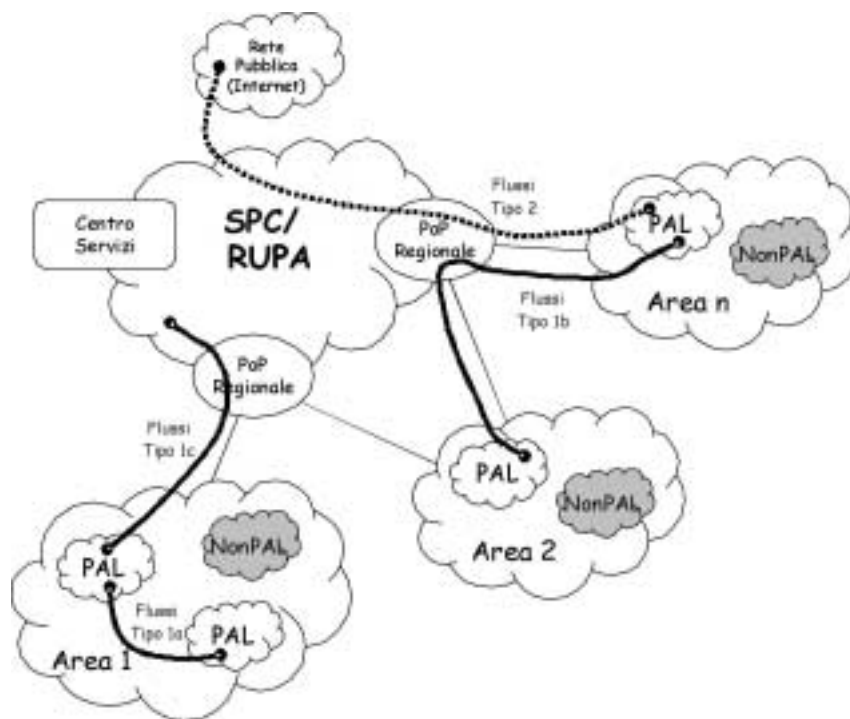


Figura 6.7 - Architettura della rete e definizione dei flussi di traffico.

- *Flussi di tipo 1b* (Traffico inter rete d'area): i punti di origine e destinazione del traffico si trovano all'interno di Reti di Area distinte.
- *Flussi di tipo 1c* (Traffico extra rete d'area): i punti di origine e destinazione del traffico si trovano uno all'interno di una Rete di Area e l'altro all'interno del SPC.

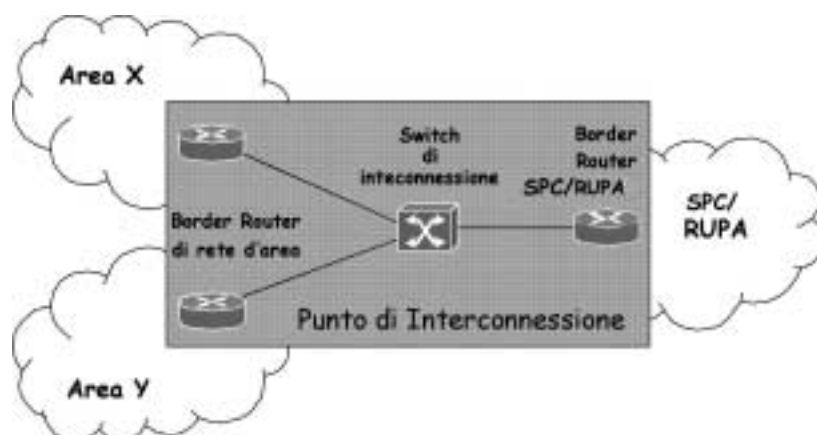
Questi flussi di traffico rimangono sempre all'interno del dominio della PA. In particolare i flussi di tipo 1b e 1c devono attraversare un punto di interconnessione con il SPC (PoP regionale), mentre il traffico di tipo 1a può essere instradato internamente alla rete d'area senza attraversare il punto di interconnessione con il SPC.

- **Flussi di tipo 2** – Sono i flussi di traffico esterni all'Amministrazione generati da utenti della PA dislocati in una delle Reti di Area gestite dall'operatore e diretti verso le reti pubbliche esterne al SPC (ad esempio Internet). È previsto che questi flussi di traffico accedano alla rete pubblica attraverso un servizio erogato dal SPC. In particolare, i flussi di tipo 2 devono attraversare un punto di interconnessione con il SPC (PoP regionale).

In una Rete d'Area possono essere presenti anche altre tipologie di flussi che riguardano utenti non appartenenti alla PA (utenti NonPAL). Per tale traffico, l'operatore deve garantire, come detto, la divisione rispetto ai flussi di tipo 1 e di tipo 2, intendendo con tale espressione che l'operatore metta in atto tutti quegli accorgimenti che permettono di

garantire in qualsiasi condizione al traffico della PA (flussi di tipo 1 e 2) i livelli di qualità di servizio e di sicurezza predefiniti.

La *Figura 6.8* mostra la struttura di principio dell'interconnessione tra il SPC e le Reti di Area. Nello schema gli switch di interconnessione rappresentano il livello di *peering* tra il SPC e le Reti di Area. Il livello di *peering* è costituito esclusivamente da switch di interconnessione che operano a livello 2 OSI e che collegano le apparecchiature di livello 3 (Border router) del SPC e delle Reti di Area. Il livello di *peering* si realizza in modo da garantire la continuità del Servizio mentre il piano di indirizzamento della rete si definisce in base alle indicazioni dell'Amministrazione al fine di assicurare la coerenza con il piano di indirizzamento regionale e con quello del SPC.



*Figura 6.8 - Schema di principio di un punto di interconnessione tra SPC e Reti di Area.*

### 6.3.2. SICUREZZA DELLA RETE

L'architettura di sicurezza della rete fornisce l'insieme delle misure organizzative e tecniche volte a garantire un adeguato livello di fiducia del cliente nell'integrità, disponibilità e riservatezza delle informazioni trasmesse in condizioni di esercizio. L'intera infrastruttura formata dal SPC e dalle Reti di Area ad essa interconnesse dovrà avere caratteristiche di sicurezza tali da poter essere considerata un dominio affidabile. Con riferimento ai flussi di traffico indicati in *Figura 6.7*, le misure di sicurezza devono essere applicate in modo da garantire i seguenti obiettivi:

- i flussi di tipo 1 e di tipo 2 devono essere completamente affidabili ovvero a tali flussi devono essere applicate le misure di sicurezza necessarie per fornire adeguati livelli di integrità, disponibilità e riservatezza delle informazioni;
- l'operatore deve garantire la protezione dei servizi offerti da eventuali attacchi veicolati mediante qualsiasi altro flusso di traffico gestito dalla rete e non appartenen-

te alle suddette tipologie 1 e 2. A titolo di esempio, questi sono alcuni fattori di rischio da considerare nella definizione dell'architettura di sicurezza:

- lettura involontaria di informazioni riservate (ad esempio lettura di dati su una postazione di lavoro lasciata incustodita);
- lettura o modifica fraudolenta di dati e di informazioni in transito sulla rete da parte di soggetti esterni;
- dirottamento del traffico;
- atti dolosi miranti ad intaccare l'integrità dei dati (ad esempio modifica indebita dei dati trasmessi, inserimento di dati falsi, cancellazione di informazioni, etc.);
- atti miranti a ridurre la disponibilità dei sistemi e dei servizi (ad esempio attacchi di tipo Denial of Service - DOS);
- accesso indebito ai sistemi ed alle banche dati per leggere o modificare le informazioni;
- introduzione dall'esterno di componenti dannosi per il sistema informativo (ad esempio virus, etc.);
- introduzione involontaria di componenti dannosi per il sistema informativo.

Inoltre, di norma, l'accesso alle funzioni di governo degli apparati di rete e dei sistemi deve avvenire previa identificazione ed autenticazione degli utenti. Nel caso in cui le funzioni di gestione vengano svolte da postazione remota, devono altresì essere previsti opportuni meccanismi per garantire la confidenzialità nel transito della rete delle credenziali di accesso.

Nella rete devono essere implementate protezioni che garantiscano la confidenzialità e l'integrità dei pacchetti in transito. Deve anche essere garantito che le caratteristiche di sicurezza e qualità del traffico dei flussi generati e diretti ad utenti dell'Amministrazione, non possano essere influenzate dalle condizioni di traffico di altri flussi gestiti all'interno delle Reti di Area.

Presso i punti di interconnessione in cui confluiscono flussi di traffico caratterizzati da livelli diversi di sicurezza deve essere realizzato un opportuno sistema che filtri il traffico, bloccando i pacchetti di rete che appartengono a flussi non consentiti. È altresì necessario realizzare tale funzione in ogni nodo interessato da traffico diretto o proveniente da Internet.

Si dovrà realizzare un sistema distribuito di rivelazione degli attacchi ai servizi e tutti i sistemi necessari all'erogazione dei servizi dovranno mantenere traccia di tutti gli eventi rilevanti ai fini della sicurezza. Sui flussi relativi ai servizi erogati devono essere previsti controlli a livello applicativo con la finalità di individuare e bloccare l'invio di virus, backdoor, cavalli di troia, spam, etc. Devono essere previste procedure per l'aggiornamento del software di base ed applicativo e l'applicazione delle patch ai sistemi necessari all'erogazione dei servizi. Infine deve essere assicurata la continuità del servizio nel caso di eventi eccezionali attraverso la stesura e la gestione dei piani per l'emergenza. Dovranno inoltre essere predisposte le strutture necessarie per il recupero dell'operatività.

## 6.4. CARATTERISTICHE DEI SERVIZI

### 6.4.1. SERVIZI MULTIMEDIALI DI BASE

Come si è detto, a titolo orientativo supponiamo che la PA intenda avvalersi di tre categorie di servizi che denotiamo come “Servizi Multimediali di Base” (SMB) e che, nello specifico, sono:

- Videoconferenza (VDC);
- Fonia su IP (VoIP);
- Telesorveglianza Ambientale (TSA).

Nella progettazione e realizzazione dell'infrastruttura wireless si dovrà tener conto delle problematiche provenienti da tali servizi per garantirne un utilizzo ottimale.

#### **6.4.1.1. Servizio di videoconferenza**

Al fine di supportare la tipologia di servizi in oggetto, i requisiti minimi che l'infrastruttura wireless dovrà garantire, si riferiscono alle tipiche scelte tecnologiche effettuate in questi casi, che assumono l'utilizzo dello standard di videocomunicazione H.323 con codec video H.261-H.263 e con codec audio tipicamente G.711, G.722 o G.728. La velocità di trasmissione su IP dovrà essere almeno pari a 1 Mbit/s al fine di garantire l'invio di almeno 30 frame per secondo.

L'infrastruttura della rete wireless dovrà inoltre garantire in termini di capacità o data rate l'utilizzo eventuale di un Portale della Videocomunicazione in grado di gestire sia la videocomunicazione punto-punto tra due utenti, sia la multiconferenza. All'interno del portale è generalmente previsto un ambiente collaborativo che preveda la condivisione di documenti e file, un servizio di chat, un servizio di agenda condivisa, un motore interno di ricerca e un help contestuale.

Alcune applicazione tipiche dei servizi di VDC sono:

- Servizio di prenotazione
- Predisposizione di stanze virtuali per la videoconferenza.
- Guida in linea per gli utenti meno esperti.

Le caratteristiche relative al servizio VDC sopra esposte consigliano l'utilizzo di sistemi wireless a larga banda bilanciati ovvero in grado di fornire bit rate elevati in entrambe le direzioni (uplink e downlink). I sistemi HiperLAN e soprattutto Wi-MAX come visto nel Capitolo 2 di questo documento sono in grado di rispondere a questo requisito, se opportunamente dimensionati.

#### **6.4.1.2. Servizio di fonia su IP**

La “Voce su IP” (VoIP), servizio di telefonia realizzato su un'infrastruttura di rete dati mediante protocolli dell'architettura IP, è un servizio tipico che l'infrastruttura wireless dovrà essere in grado di supportare. Al fine quindi di garantire le diverse applicazioni

che illustreremo di seguito annesso all'utilizzo di questa tipologia di servizio, il progettista dovrà opportunamente dimensionare la rete wireless sia nel segmento di trasporto sia in quello di accesso.

Tipicamente un servizio VoIP si compone del terminale telefonico, basato sul protocollo IP, del PBX (Private Branch eXchange) in tecnologia IP che sostituisce il PBX tradizionale e che fornisce servizi di base ed avanzati, di un IP Server che gestisce la registrazione, l'autenticazione e la localizzazione degli utenti VoIP e tutte le funzioni di controllo delle chiamate.

A questi elementi si aggiunge il Voice Gateway, che costituisce il punto di comunicazione con la rete telefonica pubblica.

Il servizio VoIP può essere fornito in due diverse modalità:

- Modalità base
- Modalità avanzata

Nella prima modalità il servizio è erogato mediante la predisposizione di un server SIP gestito dal fornitore e l'impiego di terminali dedicati o mediante client software per PC. Nella modalità avanzata, invece, il servizio è erogato mediante l'utilizzazione di un PBX in tecnologia IP e l'impiego di terminali dedicati o client software per PC.

Sul server IP-PBX l'infrastruttura wireless deve prevedere il corretto funzionamento degli strumenti automatici di inserimento dei dati, nel caso di *provisioning* di utenze su grande scala. Inoltre la rete dovrà garantire il funzionamento di strumenti e funzionalità tipiche per il Posto Operatore.

Il Servizio potrà opzionalmente prevedere la funzionalità di mobilità estesa, che consente ad un qualunque utente di utilizzare il proprio "profilo telefonico" indipendentemente dal dispositivo hardware utilizzato e dalla sua collocazione geografica (es. possibilità per un utente di remotizzare presso la propria abitazione l'intera postazione di lavoro replicando così le funzionalità della propria workstation e del proprio telefono).

In fase di progettazione dell'infrastruttura wireless si dovranno quindi valutare i requisiti e i servizi tipici di un sistema VoIP, in termini di ritmo binario minimo garantito e di latenza. In particolare, i requisiti minimi dovranno servire come base di partenza per la progettazione non solo dell'architettura di dorsale ma anche per la progettazione della rete di accesso.

#### **6.4.1.3. Telesorveglianza ambientale**

Per Telesorveglianza ambientale (TSA) si intende un sistema per la sicurezza ambientale orientato a rivelare e segnalare anomalie (allarmi, guasti, manomissioni, cambi di stato, etc.) presenti in ambienti sottoposti a monitoraggio e ad attivare tempestivamente interventi del personale di controllo.

Un sistema integrato di TSA è generalmente costituito da tre blocchi funzionali, ovvero le componenti periferiche, il sistema di gestione e controllo locale e il sistema di gestione e controllo centrale. Ogni componente periferica comprenderà le videocamere digitali IP mentre il centro di gestione è un sistema software in grado di controllare e gestire i dati provenienti dalle componenti periferiche. Il sistema locale può anche avere funzionalità di videoregistrazione.

Secondo questo schema l'utilizzo di sistemi wireless si riferisce sia alla parte di collegamento tra il sistema di gestione e controllo locale e quello centrale (*wireless backbone*) che alla parte riguardante l'accesso alla rete ovvero quella relativa al collegamento tra le periferiche e il centro di controllo locale.

Pertanto anche in questo caso la progettazione dell'infrastruttura della dorsale wireless a larga banda e della rete d'accesso dovrà tener conto del contributo delle diverse componenti in gioco prima citate in termini di velocità di trasmissione e di latenza. Il progettista dovrà quindi selezionare una soluzione architettonica in grado di garantire il trasferimento delle immagini (trasmissione, registrazione, visualizzazione e controllo delle telecamere), la funzionalità di rivelazione del movimento (*motion detection*) e la videoregistrazione.

Le funzionalità di motion detection e di videoregistrazione possono risiedere sia nelle componenti periferiche che nel centro di controllo. A seconda di dove si decide di concentrare queste funzionalità occorrerà dimensionare opportunamente la rete wireless. Naturalmente una maggiore distribuzione dell'intelligenza e delle funzionalità richiederà velocità di trasmissione più elevate nelle tratte radio riguardanti le periferiche e il centro di elaborazione locale di cui il progettista dovrà tener conto.

Si esaminano per completezza alcune applicazioni richieste quando si utilizza una TSA, con l'obiettivo di fornire informazioni utili per il dimensionamento del sistema wireless.

Tipiche applicazioni sono:

- Registrazione delle immagini di ciascuna telecamera H24 per 7 giorni consecutivi e gestione del movimento delle telecamere e visualizzazione in tempo reale delle immagini dal centro di gestione e da remoto tramite collegamento al web
- Gestione dei privilegi di accesso e limitazione delle funzionalità disponibili concesse agli operatori del Centro Servizi
- Possibilità di inviare comandi, in manuale o in automatico, verso le telecamere per inserimenti, disinserimenti ed esclusioni di zone e a fronte di eventi provenienti dalle varie periferiche per attivazione di una telecamera o per attivazione della videoregistrazione
- Gestione degli allarmi generati da eventuali sensori collegati alla telecamera o dalla funzione di motion detection delle telecamere o dagli ingressi alle telecamere
- Registrazione programmabile su base giornaliera definibile dall'utente
- Consultazione remota del centro di gestione anche in presenza di accesso Internet con indirizzo IP dinamico e consultazione remota del centro di gestione, ad es. tramite dispositivo palmare.

## 6.5. SERVIZI DI CONNETTIVITÀ E DI RETE

Di seguito sono riportati i servizi principali specifici per un corretto funzionamento della rete. Anche se essi non risultano visibili agli utenti finali devono, comunque, essere previsti al fine di assicurare una connettività dei nodi presenti nella rete.

### 6.5.1. SERVIZIO DI CONNETTIVITÀ IP

Il Servizio di Connettività IP (CIP) è il servizio di connettività, affidabile e sicuro, in tecnologia IP (livello 3 OSI) che l'operatore deve offrire tra il PoP della SPC/RUPA e le postazioni d'utente posizionate nelle sedi delle PA. Il servizio fornito è tipicamente suddiviso in classi. Ad ogni classe di servizio CIP sono associati dei livelli di qualità e sicurezza che possono avere un impatto sensibile sul carico di traffico della rete wireless. Poiché il Servizio CIP è definito esclusivamente sullo strato IP, la tecnologia wireless (Wi-Fi, Wi-MAX o HiperLAN) con cui sono realizzati gli strati architetturali sottostanti può essere lasciata alla scelta del progettista, fatto salvo il soddisfacimento dei requisiti minimi in termini di ritmo binario minimo da garantire.

Per quanto concerne il livello di qualità offerto nella fornitura di un servizio CIP, si possono prevedere due o più classi di Servizio. Qui ci si riferisce al servizio di "Connettività IP Best Effort" (CIP-BE) definito per il supporto di applicazioni dati senza stringenti esigenze di affidabilità e di ritardo e al servizio di "Connettività IP Enhanced Quality" (CIP-EQ) definito per il supporto di applicazioni dati critiche con vincoli di affidabilità.

Anche il requisito di sicurezza può contribuire ad un aumento nel carico di dati da trasmettere. Ad esempio l'utilizzo di applicativi di sicurezza basati su IP possono aumentare il payload anche del 30% rispetto alla stessa trasmissione di dati non criptati. Considerando che in una infrastruttura wireless la sicurezza dei dati è un requisito basilare che spesso non può essere garantito dall'utilizzo di algoritmi e metodologie proprie delle tecnologie e degli standard utilizzati, è importante considerare l'aumento di traffico proveniente dall'utilizzo di applicativi di sicurezza nelle valutazioni, in fase di progettazione, sulle prestazioni della rete wireless.

### 6.5.2. SERVIZIO DI GESTIONE DEGLI INDIRIZZI IP

Lo scopo di questo servizio è garantire l'univocità degli indirizzi IP attribuiti ai singoli elementi di rete. A tal fine gli indirizzi IP assegnati alle PA dovranno appartenere a classi di indirizzi privati con possibilità di utilizzo di ulteriori servizi NAT (*Network Address Translation*) tra le classi di indirizzi.

Per agevolare la predisposizione di servizi all'interno della rete dell'Amministrazione, è auspicabile la fornitura di servizi NAT per consentire l'accesso a reti con indirizzamento pubblico alle Amministrazioni dotate di indirizzi privati. Nel caso in cui l'Amministrazione fosse già dotata di reti con indirizzamento IP privato sarà sufficiente prevedere al mantenimento dell'indirizzamento esistente, utilizzando i servizi di NAT statico ed eventualmente di *NAT Management*.

### 6.5.3. DNS (DOMAIN NAME SYSTEM)

Nella rete occorre rendere disponibile un servizio di DNS (*Domain Name System*) per la gestione dello spazio dei nomi interni alla rete ed assicurarne la continuità prevedendo adeguati meccanismi di "backup a caldo".

## 6.6. SERVIZI DI SUPPORTO E DI ASSISTENZA

### 6.6.1. SERVIZIO DI HELP DESK

Il Servizio di Help Desk (HD) si occupa della gestione dei guasti ed è auspicabilmente attivo H24 e 7 giorni su 7, grazie all'impiego di personale tecnico specializzato. Il servizio ha il compito di ricevere segnalazioni di malfunzionamento sia tramite chiamata telefonica che tramite fax. L'integrazione della struttura di HD con soluzioni basate sia su modalità web (ad es. una linea chat per le comunicazioni on-line) che e-mail è di regola consigliata al fine di un aumento di efficienza. Per garantire la gestione di tutte le chiamate telefoniche è necessario attivare un sistema d'attesa che, nel caso di completa occupazione degli operatori, raccolga le segnalazioni da notificare al primo operatore disponibile.

Nell'ambito del servizio di HD, si deve anche attivare una funzionalità di "fault management" consistente nella rivelazione, nella diagnosi e nella risoluzione dei malfunzionamenti (guasti e anomalie). In particolare, per i malfunzionamenti che coinvolgono gli apparati installati presso i siti dell'Amministrazione, è possibile l'intervento da remoto o anche in sito, qualora un dato malfunzionamento non permetta una correzione in modalità remota. Le attività di fault management che richiedano intervento diretto in sito devono essere effettuate nella finestra temporale di erogazione del servizio.

### 6.6.2. SERVIZIO DI PROVISIONING, CONFIGURATION E CHANGE MANAGEMENT

Questo servizio consiste nell'installazione e configurazione di tutti gli SMB e SCR, ivi inclusa la gestione e il controllo di tutte le configurazioni hardware e software degli apparati utilizzati per l'erogazione dei servizi, mantenendo aggiornato un database delle configurazioni che consenta di inventariare le configurazioni hardware e software e le personalizzazioni necessarie, in modo da facilitare le operazioni di ripartenza e riallineamento a fronte di qualsiasi problema legato alle funzionalità dei sistemi gestiti.

Occorre quindi effettuare l'installazione e la configurazione degli apparati e garantire l'effettiva installazione degli apparati per la fornitura degli SMB e SCR a disposizione dell'Amministrazione, ivi inclusa l'installazione del software degli apparati.

### 6.6.3. SERVIZIO DI MANUTENZIONE E RIPARAZIONE

Il servizio di manutenzione e riparazione si occupa del controllo costante delle prestazioni e delle funzionalità degli apparati e delle connessioni al fine di verificarne la rispondenza ai requisiti definiti e, in caso di guasto, nel ripristino delle funzionalità delle stesse comprensivo della sostituzione e/o riparazione di parti e/o componenti.



## 7. Aspetti normativi

### 7.1. GENERALITÀ

In tutto il mondo la risorsa spettrale, ossia la banda, può essere assegnata secondo due modalità dette, in gergo, rispettivamente, “licensed” e “unlicensed”. Ad esse corrispondono le seguenti caratteristiche generali:

- Uso soggetto a licenza o “**licensed**”: l’operatore di telecomunicazioni, pubblico o privato, diventa titolare di un diritto d’uso esclusivo della banda, generalmente per un certo periodo di tempo e in una data area territoriale e ha diritto, in questa banda, alla protezione nei confronti degli altri utilizzatori dello spettro radio;
- Uso esente da licenza o “**unlicensed**”:<sup>18</sup> l’operatore di telecomunicazioni non riceve alcuna assegnazione di diritto d’uso della banda (ossia non se ne garantisce l’uso esclusivo) che è condivisa tra quanti la vogliono adoperare, senza che alcuno possa vantare diritto alla protezione nei riguardi dell’interferenza di terzi sulle proprie comunicazioni.

In Italia, analogamente a molti altri Paesi, il diritto d’uso “licensed” si attua secondo una delle due seguenti tipologie concessorie:

- “**Autorizzazione generale**”: Si tratta di un’autorizzazione che, indipendentemente dal fatto di essere regolata da una disciplina stabilita per categoria di utilizzatori oppure da una normativa generale e di prevedere o meno una registrazione, è ottenuta su semplice dichiarazione di inizio attività, ovvero mediante l’applicazione dell’istituto del silenzio-assenso. La richiesta di autorizzazione generale è corredata delle informazioni relative al rispetto delle condizioni previste dalla normativa vigente (fra cui, ad esempio, la conformità delle apparecchiature agli standard, l’assenza di interferenza nei riguardi di servizi in bande “licensed” e, ove richiesto, l’avvenuto pagamento di un canone).
- “**Licenza individuale**”: un’autorizzazione rilasciata dall’Autorità (Ministero delle comunicazioni) a un’impresa attraverso la quale sono conferiti diritti specifici e, al contempo, sono imposti obblighi specifici che in taluni casi possono aggiungersi a quelli dell’autorizzazione generale; l’impresa non può esercitare il diritto d’uso in

<sup>18</sup> La dizione “unlicensed” è adottata negli USA; tale regime d’uso è sostanzialmente equivalente alla modalità che in UK viene denominata “license-exempt”.

assenza di previo provvedimento dell'Autorità. L'impresa che acquisisce diritti e obblighi derivanti dalla licenza individuale è, per definizione, un gestore o operatore di telecomunicazioni.

In Italia l'allocazione dello spettro radio ai servizi è contenuta nel cosiddetto "*Piano nazionale di ripartizione delle frequenze*" (PNRF), emanato con D.M. 8.7.2002 (*G.U. n. 169 -Supplemento Ordinario n. 146 del 20.7.2002*). Le Tabelle allegate in **Appendice D** sono un estratto integrale del PNRF con riferimento alle frequenze di prevalente interesse per le comunicazioni wireless.

I servizi che operano in regime "*unlicensed*" sono attuati in bande di frequenza che vengono comunemente denominate bande ISM (*Industrial-Scientific-Medical*) seguendo la definizione data negli anni '80 dall'americana FCC (*Federal Communications Commission*). Le numerose bande ISM, definite dalla ITU-R (*International Telecommunication Union-Radiocommunication sector*) nelle "Radio Regulations" n° 5.138 e n° 5.150, includono gli intervalli di frequenza 2400-2500 MHz, 5725-5875 MHz e 24-24,250 GHz.

Nelle bande ISM operano numerosi dispositivi elettronici per servizi di comunicazione in molteplici settori produttivi. Tra essi si hanno i sistemi di telecomando e telecontrollo via radio (cancelli, giochi, etc.), i forni a microonde (a circa 2450 MHz) e, fra le tecnologie senza filo più note che usano queste bande, si ricordano i sistemi di comunicazione a corto raggio, Bluetooth e WLAN. Molti dei sistemi di comunicazione che operano in una banda ISM impiegano la modulazione a spettro espanso (*spread spectrum*) per ridurre la densità spettrale di potenza, ma è consentito anche l'uso di trasmissioni a banda stretta, purché vengano rispettati vincoli stringenti sulla potenza efficace irradiata.

## 7.2. LE BANDE ISM

Come accennato, alle bande ISM si attribuisce lo status normativo di bande "esenti da licenza", definizione che non deve essere, tuttavia, considerata sinonimo di "non regolamentate". In effetti, l'uso delle bande ISM, di norma concesso in condizioni di limitazione sulla potenza massima emessa, in moltissimi Paesi non richiede né licenza né autorizzazione governativa per un'assegnata classe di applicazioni; l'uso da parte di ogni altra applicazione, di norma, richiede la licenza individuale o, più spesso, l'autorizzazione generale. Lo status normativo delle bande ISM ha incoraggiato, dunque, significativi investimenti in applicazioni che non richiedono di accedere a procedure di acquisizione di licenza complesse, costose e dall'esito spesso incerto. Nella Figura 7.1 sono illustrate le bande ISM impiegate negli Stati Uniti d'America e in Europa dai sistemi a standard IEEE 802.11 e la banda allocata in Europa per lo standard HiperLAN/2; in particolare, in ambito europeo, la decisione CEPT ERC/DEC/(01)07 ha destinato la banda di frequenze 2400,0 – 2483,5 MHz per un impiego con dispositivi della categoria SRD (*Short Range Device*), tra cui gli apparati usati per applicazioni WLAN, e ha ratificato la decisione di esonerare tali apparati dalla necessità di licenza individuale.

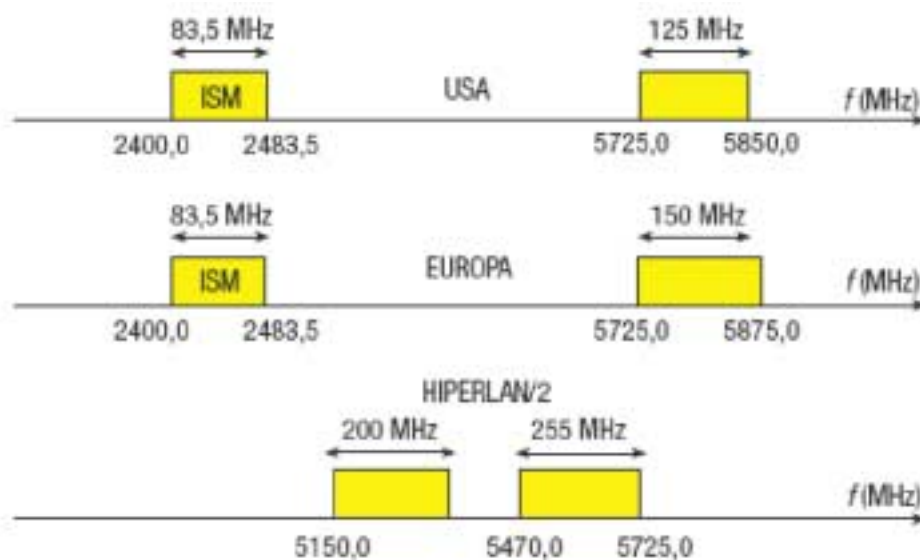


Figura 7.1 - Esempi di bande per servizi wireless.

Considerata la modalità d'uso non coordinata e non sorvegliata, in queste bande si opera, di norma, in condizioni di interferenza imprevedibile e incontrollabile: si pone, pertanto, un problema specifico di coesistenza di sistemi differenti. Inoltre, a causa della imprevedibilità dei livelli di interferenza che si possono presentare, la Qualità del servizio può risultare variabile nel tempo e nello spazio anche in maniera sensibile. Nei casi in cui ciò rappresenti un problema, si potranno realizzare sistemi WLAN a standard IEEE 802.11a o a standard HiperLAN/2 alle frequenze, non di tipo ISM, intorno a 5 GHz che offrono una larghezza di banda, e quindi una capacità di traffico, più ampia e che rendono meno critici i problemi di interferenza che si presentano nelle bande ISM.

### 7.3. NORMATIVA INTERNAZIONALE DI RIFERIMENTO

In Europa la CEPT (*Conference Européenne des Administration des Postes et des Télécommunications*) ha emanato la raccomandazione CEPT/ERC 70-03 per regolamentare l'uso di tutte le bande ISM. Nell'ambito di questa raccomandazione i dispositivi wireless SRD sono inseriti in tredici categorie. Inoltre le reti di comunicazione senza filo (categoria 3) sono specificamente soggette alla raccomandazione ETS 300 328 dell'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) che, per mitigare l'interferenza, impone alla potenza irradiata efficace il valore massimo di 100 mW, oltre all'uso dello *spread spectrum*. L'Italia ha originariamente recepito la raccomandazione CEPT/ERC 70-03 con il D.M. del 18.12.1996 (G.U. 11.2.1997 n. 34), che tuttavia imponeva il pagamento di un canone annuo in seguito soppresso con il D. Lgs. 269/2001 (G.U. 7.7.2001 n. 156) emanato in attuazione della direttiva 1999/05/CE dell'Unione Europea.

Sempre in Europa, da parte dell'ETSI è stata introdotta una famiglia di standard WLAN, cumulativamente denominata HiperLan (standard ETS 300 836, ETS 300 652 e ETS 300 893). La CEPT, poi, con decisione ERC/DEC/(99), ha attribuito alle WLAN in esclusiva le bande 5,150-5,350 GHz e 5,470-5,725 GHz e 17,1-17,3 GHz (l'Italia, al momento, ha assegnato a HiperLan le bande 5,150-5,250 GHz e 17,1-17,3 GHz).

In Italia, il quadro di riferimento normativo per l'impiego di apparecchiature operanti nelle bande di frequenza utilizzate per le trasmissioni WLAN (nel linguaggio della normativa denominate "Radio LAN"), era in origine stabilito dal D.P.R. n. 447 del 5.10.2001 "Regolamento recante disposizioni in materia di licenze individuali e di autorizzazioni generali per i servizi di telecomunicazioni ad uso privato", che negli anni ha subito numerose modificazioni. Il D.P.R. 447/01 stabiliva che le frequenze in banda 2,4 GHz e 5 GHz potessero essere impiegate solo nell'ambito di reti locali ad uso privato, mentre per connettere una WLAN alla rete pubblica occorreva ottenere dal Ministero delle Comunicazioni un'autorizzazione generale che richiedeva, fra le altre condizioni, il pagamento di un canone.

A livello europeo le Radio LAN operano in due regioni spettrali che sono dette rispettivamente "Banda a 2,4 GHz" (di tipo "unlicensed") da 2,4 a 2,4835 GHz, e "Banda a 5 GHz" ("licensed") che si compone di due intervalli, da 5,150 a 5,350 GHz e da 5,470 a 5,725 GHz. Secondo le norme ETSI, i limiti di potenza efficace irradiata per i servizi Radio LAN sono pari a 100 mW per la banda a 2,4 GHz e 1 W per la banda a 5 GHz.

Va osservato che l'insieme delle Direttive comunitarie costituisce il riferimento giuridico principale per le comunicazioni elettroniche, da cui discende la normativa nazionale italiana, non soltanto nei riguardi dell'impiego dello spettro radio ma sull'intero insieme di temi pertinenti, quali l'interconnessione, la qualità del servizio, la sicurezza delle comunicazioni e molti altri temi ancora.

In particolare, la raccomandazione della Commissione europea del 20.03.2003 relativa all'armonizzazione della fornitura dell'accesso RadioLAN alle reti e ai servizi pubblici di comunicazione elettronica, nel prevedere la possibilità di adottare un regime di autorizzazione generale per la fornitura di tali servizi, prescrive che non debbano sussistere discriminazioni tra i vari sistemi RadioLAN e le altre tecnologie che danno accesso alle reti e ai servizi di comunicazione (obbligo di mantenere comportamenti "agnostici alle tecnologie"). Le condizioni di accesso al pubblico da parte dei fornitori di servizi di accesso RadioLAN sono anche subordinate alle norme comunitarie in materia di concorrenza e, ove pertinente, alle disposizioni della direttiva 2002/21/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 7.03.2002 (Direttiva quadro).

## 7.4. LA NORMATIVA ITALIANA SULLE WLAN

getto 802, introduceva il sistema WLAN equivalente, commercialmente denominato Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) e normato da una serie di standard detti cumulativamente IEEE 802.11.

In Italia, la materia relativa alle WLAN è stata oggetto di numerosi interventi normativi negli ultimi anni e, pur non potendosi escludere ulteriori disposizioni, può ormai considerarsi consolidata. Pertanto ne richiamiamo di seguito l'evoluzione in modo cronologico, cercando di evidenziare le successive precisazioni e modificazioni normative.

Il quadro regolamentare per l'impiego della tecnologia Wi-Fi in ambito pubblico è stato stabilito dal cosiddetto Decreto Gasparri, "Regolamentazione dei servizi Wi-Fi ad uso pubblico" del 28.05.2003, che regola le condizioni per il rilascio delle autorizzazioni generali per la fornitura al pubblico dell'accesso RadioLAN alle reti e ai servizi di telecomunicazioni.

Successivamente la delibera 102/03/CONS dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni (AGCOM) esentava dall'obbligo di autorizzazione generale gli esercizi pubblici che intendessero offrire alla clientela servizi di connettività di rete se l'attività commerciale esercitata non aveva come oggetto principale le telecomunicazioni (ad esempio per bar, alberghi e centri congressi). Tuttavia, a seguito del decreto "Misure urgenti per il contrasto del terrorismo internazionale" del 27.07.2005, meglio noto come Decreto Pisanu (modificato con Legge 31.07.2005, n. 155), sono intervenute alcune significative modificazioni normative. In particolare il Decreto Pisanu:

- con l'art. 6 ("Nuove norme sui dati del traffico telefonico e telematico") impone la conservazione di tutti i dati relativi al traffico telematico che consentono la tracciabilità degli accessi e dei servizi (esclusi i contenuti delle comunicazioni), modificando anche alcuni articoli del D. Lgs. 30.06.2003, n. 196 ("Codice in materia di protezione dei dati personali") in merito alla durata della conservazione dei dati;
- con l'art. 7 ("Integrazione della disciplina amministrativa degli esercizi pubblici di telefonia e internet") invalida la delibera AGCOM 102/03/CONS citata precedentemente, indicando che è necessario richiedere un'autorizzazione al Questore per chiunque mette a disposizione di terzi terminali telematici, sia nel caso di attività prevalente o esclusiva, sia per chi ha più di tre terminali installati; inoltre richiede la "preventiva acquisizione di dati anagrafici riportati su un documento di identità dei soggetti che utilizzano postazioni pubbliche non vigilate per comunicazioni telematiche ovvero punti di accesso ad Internet utilizzando tecnologia senza fili".

Il relativo Decreto attuativo (Decreto del Ministero dell'Interno del 16.08.2005) "Misure di preventiva acquisizione di dati anagrafici dei soggetti che utilizzano postazioni pubbliche non vigilate per comunicazioni telematiche ovvero punti di accesso ad Internet utilizzando tecnologia senza fili" fissa poi in modo preciso le modalità di

acquisizione dei dati anagrafici dei soggetti utilizzatori. In particolare il Decreto sopra citato richiede:

- l'acquisizione dei dati riportati su un documento di identità, “nonché il tipo, il numero e la riproduzione del documento presentato dall'utente”;
- la raccolta e l'archiviazione di tali dati “con modalità informatiche” (l'archiviazione cartacea è possibile solo in presenza di non più di tre terminali);
- la validità massima di dodici mesi dall'ultima operazione di identificazione, per gli abbonamenti, forniti anche mediante credenziali di accesso prepagate o gratuite, nel caso che il fornitore renda disponibili apparecchi terminali collocati in aree non vigilate;
- la conservazione dei dati per un certo intervallo di tempo;
- inoltre, gli stessi obblighi di identificazione imposti ai titolari o gestori di un esercizio pubblico dal Decreto 16.08.2005 valgono anche per i circoli privati che mettono a disposizione di clienti o soci apparecchi terminali, e per i soggetti che offrono accesso alle reti telematiche utilizzando tecnologia senza fili in aree messe a disposizione del pubblico.

In seguito il “Decreto sul Wi-Fi” del Ministero delle Comunicazioni del 4.10.2005, anche noto come Decreto Landolfi, liberalizza l'erogazione di servizi Wi-Fi nel territorio nazionale, modificando il Decreto Gasparri del 2003. Tra l'altro il Decreto Landolfi:

- nell'art. 1 liberalizza il servizio su tutto il territorio nazionale, eliminando l'obbligo di fornire il servizio in aree a frequentazione pubblica o locali aperti al pubblico;
- nell'art. 2 da un lato obbliga i soggetti autorizzati a consentire l'accesso indipendentemente dalla tecnologia, favorendo di fatto la stipula di accordi di *roaming* tra operatori diversi, e dall'altro introduce il cosiddetto “diritto di antenna” che consiste nel garantire l'installazione di apparati e antenne a condizioni “eque, trasparenti e non discriminatorie” (non è consentita comunque l'installazione di apparati in esclusiva e deve essere favorita la competizione);
- nell'art. 4, riprendendo il D. Lgs. 1.08.2003 n. 259, ripristina il regime di autorizzazione generale per i soggetti che vogliono fornire servizi RadioLan: l'autorizzazione deve essere richiesta alla Direzione generale per i servizi di comunicazione elettronica e radiodiffusione del Ministero delle Comunicazioni.

Riassumendo, nella normativa attuale sulle WLAN:

- non sussistono necessità di richiesta di autorizzazione né per uso privato, né per uso professionale all'interno di uffici o tra differenti uffici appartenenti alla stessa società, a patto che l'accesso non sia pubblico;
- in caso di fornitura di accesso al pubblico è sempre e comunque necessaria una preventiva autorizzazione e devono essere adoperati gli accorgimenti stabiliti per l'identificazione dei soggetti utilizzatori.

## 7.5. LA NORMATIVA PER IL WI-MAX E IL PROBLEMA DELLE FREQUENZE

Le frequenze sulle quali opera la tecnologia Wi-MAX fisso (IEEE 802.16-2004) sono le seguenti:

Banda	Uso	Servizio	Commenti
2.500-2.690 MHz	Licensed	Fisso, nomadico e mobile	
3.400-3.600 MHz (3.600-3.800 MHz)	Licensed		Estensione per il FWA (Fixed Wireless Access)
5.725-5.850 MHz (5.770-5.830 MHz)	Unlicensed	Di radiolocalizzazione	Banda in uso al Ministero della difesa tranne che per una sottobanda ad uso del Ministero delle comunicazioni

I prodotti Wi-MAX fissi sono ormai disponibili nella banda 3,5 GHz, che tra tutte le frequenze previste per il sistema è quella che si è affermata a livello internazionale. In Italia la banda è allocata al Ministero della difesa. Questa l'evoluzione del problema della disponibilità di spettro in Italia:

- realizzata la sperimentazione tecnologica dello standard IEEE 802.16 e successive evoluzioni su un numero limitato di canali ed in alcune località prefissate;
- avviata la consultazione pubblica dell'Autorità delle Garanzie nelle Comunicazioni in merito alla possibile introduzione del Wi-MAX nella banda a 3,5 GHz (644/06/CONS, Consultazione pubblica sull'introduzione di tecnologie di tipo Broadband Wireless Access nella banda a 3.5 GHz, in G. U. n. 285 del 7 dicembre 2006);
- raggiunta un'intesa per l'avvio della nuova tecnologia, rendendo disponibili più lotti di frequenze (nella banda 3.4÷3.6 GHz) per iniziali complessivi 35 MHz, da ripartirsi anche su più macroaree nazionali;
- presa la decisione di stilare un calendario operativo, anche sulla base delle determinazioni dell'Autorità delle Garanzie nelle Comunicazioni e degli esiti della consultazione pubblica avviata dall'Autorità.



## 8. Conclusioni

Il documento ha presentato una panoramica delle tecnologie wireless disponibili e delle relative caratteristiche di massima e prestazioni ottenibili. Le odierne tecnologie wireless sono prevalentemente tra loro eterogenee, in relazione sia alle caratteristiche tecniche e alle potenziali prestazioni, che alle funzionalità a livello applicativo e di servizio. Pertanto è opportuna una conoscenza – sia pure talvolta non di grande dettaglio – di tali tecnologie da parte dei responsabili dei sistemi informativi della Pubblica Amministrazione per indirizzare le scelte nei riguardi di quelle tecnologie che possono portare benefici organizzativi, senza generare aspettative poco realistiche e, al contempo, ottimizzando i processi aziendali.

Un importante obiettivo del documento è consistito, pertanto, nell'offrire una serie di linee guida e di best practices utili ai responsabili della PA per definire disciplinari di gara e capitolati sufficientemente chiari e completi negli interventi di ammodernamento tecnologico che includano componenti e sistemi wireless.

Questo documento segue di qualche mese l'avvio del Sistema Pubblico di Connettività (SPC), che rappresenta una novità importante per estensione del sistema e integrazione dei servizi ICT della Pubblica amministrazione. Grazie a SPC, che fornisce numerosi accessi a larga banda in una rete integrata, si attendono miglioramenti sensibili sia nell'operatività delle funzioni di back office della PA che in quelle di front office. Nel back office si attendono significative riduzioni di costi e aumento di efficienza; nel front office i benefici si vedranno nell'interazione con il cittadino che ben presto dovrebbe iniziare ad apprezzare la maggiore tempestività di risposta del "sistema PA" che deriverà anche dalla migliore integrazione funzionale degli uffici determinata dal SPC.

Ad oggi, tuttavia, SPC prevede ancora un limitato uso degli strumenti wireless che, se attivati e potenziati, potrebbero determinare un ulteriore incremento di efficienza operativa dell'erogazione dei servizi a tutti i livelli. SPC, che già prevede l'impiego del satellite per i servizi di trasporto dell'informazione, mette anche a disposizione della PA anche alcuni accessi wireless. Quest'ultima funzionalità, attivata ancora con pochi accessi in tecnologia Wi-Fi, potrà essere impiegata in modo via via crescente dalla PA a condizione che ne vengano percepiti in modo chiaro i vantaggi potenziali.

Al momento le altre tecnologie wireless esistenti e in via di introduzione in Italia non sono incluse nel SPC e uno scopo del presente documento è stato anche indicare, con linguaggio per quanto possibile accessibile anche ai non addetti ai lavori, quali sono le principali alternative tecnologiche e le possibilità di impiego.

Di certo un importante obiettivo che dovrebbe porsi la PA attraverso i propri uffici centrali e, principalmente, periferici, è svolgere un ruolo di traino per la diffusione della larga banda nelle aree disagiate del Paese, allo scopo di colmare il “digital divide” che, lungi dall'essere superato, rischia di divenire un fenomeno endemico. Alcune tecnologie wireless sono accreditate delle potenzialità tecniche adatte a muovere in questa direzione. Una di queste è la tecnologia Wi-MAX, cui si affiancano, fornendo benefici aggiuntivi, le tecnologie HiperLAN e Wi-Fi. A tal proposito potrebbe rivelarsi utile un piano di innovazione nei sistemi e nei servizi che promuova la penetrazione delle tecnologie wireless a larga banda nelle zone disagiate, a partire dalla fornitura di servizi ICT in una serie di siti pubblici di primaria importanza (scuole, ospedali, uffici periferici dell'Amministrazione centrale dello Stato, etc.).

Da questo punto di vista questo documento fornisce una classificazione con relativi esempi di possibili servizi all'amministrazione e al cittadino che possono essere utilmente forniti attraverso le tecnologie wireless, con particolare riferimento a quelle a larga banda. La sezione del rapporto particolarmente dedicata a questo obiettivo (Cap. 4) è stata redatta anche sulla base dei risultati di un ciclo di consultazioni con alcune aziende tra quelle più impegnate nel settore, anche a livello internazionale, e che hanno fornito utili elementi di conoscenza e di analisi critica dei risultati di esperienze implementative reali. Le aziende che hanno collaborato sono richiamate nell'Appendice E.

Un aspetto importante nella pianificazione degli investimenti nelle nuove tecnologie è relativo alle prospettive evolutive e alle aspettative di stabilità degli standard e, conseguentemente, dei prodotti sul mercato. Specialmente nel settore della larga banda wireless si confrontano le tecnologie che derivano dagli standard della famiglia IEEE 802 (tra cui i menzionati Wi-Fi e Wi-MAX) e quelle che hanno radice nelle evoluzioni del radiomobile, ossia che sono riconducibili alla famiglia di sistemi a standard 3GPP (UMTS e successori). Senza dubbio nella pianificazione a medio-lungo termine il problema di investimenti su infrastrutture di rete deve essere affrontato ponendo attenzione all'eventuale dominanza di questo o di quello standard.

Tuttavia, un esame dei trend tecnologici mostra che almeno su prospettive temporali compatibili con le attuali road map dell'industria sembra più realistico un punto di vista non solo di natura evolutiva entro le tecnologie (classico è l'esempio dell'evoluzione del UMTS attraverso la HSDPA/HSUPA che dovrebbe puntare alla cosiddetta Quarta generazione), ma anche di integrazione di tecnologie eterogenee. Da quest'ultimo punto di vista il presente documento ha messo in luce, nel Cap. 2, l'evoluzione delle reti fisse e mobili (rispettivamente caratterizzate dall'approccio NGN e dall'approccio IMS); simultaneamente sono in corso importanti iniziative per consentire l'accesso alle reti attraverso tecnologie eterogenee. Un esempio è la soluzione UMA del 3GPP che prevede l'impiego nelle reti cellulari (GSM e UMTS) di porte Wi-Fi e di tecniche di handover verticale che consente la connettività seamless indoor/outdoor, coniugando i vantaggi delle reti mobili geografiche con la semplicità e il basso costo delle porte d'accesso Wi-Fi che sono sempre più disponibili sia in ambienti privati che in ambienti pubblici. Un secondo esempio,

che proviene dalle iniziative di standardizzazione del IEEE, riguarda lo standard in itinere denominato IEEE 802.21 che ha lo scopo di definire un nuovo approccio layer/cross-layer che consente l'interoperabilità universale tra soluzioni di accesso IEEE e 3GPP.

Tenuto conto di quanto sopra riassunto, discende che il trend sia dei costruttori che degli enti regolamentari tende a rispettare criteri di migrazione graduale dalle tecnologie wireless esistenti alle tecnologie previste per il prossimo futuro, e ciò dovrebbe offrire sufficienti garanzie per il rispetto della possibilità di ammortizzare gli investimenti in tempi medio-lunghi senza rischi sostanziali dal punto di vista del corretto impiego degli investimenti.

Un'ulteriore tendenza che sembra consolidata è la convergenza della rete voce e della rete dati su un'unica infrastruttura, che avviene sulla base della forte spinta verso l'impiego di Internet come tecnologia dominante e di IP come protocollo di rete universalmente condiviso. Ciò determina sempre di più in ambiente ufficio (specialmente negli edifici di nuova costruzione) la presenza del solo accesso Ethernet, piattaforma unica su cui convogliare anche i servizi voce (VoIP). Tuttavia, nonostante i vantaggi che VoIP porta con sé, la penetrazione di questo protocollo negli uffici della PA potrebbe presentare ritmo di crescita maggiore se venisse affiancato da scelte volte a potenziare l'adesione anche di accessi Voice over WLAN (in pratica il cosiddetto VoWiFi). Con i vantaggi associati della mobilità di accesso, quantomeno entro l'ufficio e entro le differenti sedi di una stessa organizzazione il servizio VoWiFi coniugherebbe ai vantaggi della riduzione della spesa corrente e della gestione centralizzata del servizio di directory (eventualmente in outsourcing), tipici del VoIP, anche la percezione di benefici evidenti da parte dell'utente finale che godrebbe della mobilità e della continua raggiungibilità in ufficio. Il passo è breve, poi, verso soluzioni VoWiFi con accesso universale in ambiente sia privato che pubblico (attraverso gli hot spot Wi-Fi); queste soluzioni sono ormai mature e, un impegno in tal senso da parte della PA, con gli associati volumi di potenziale clientela, potrebbero fornire lo stimolo necessario per la finalizzazione di standard e prodotti in breve tempo. Un impegno nei riguardi del VoWiFi in ambito SPC potrebbe essere la soluzione utile anche a promuovere un nuovo stimolo per l'introduzione tout court del VoIP in ambito PA.

Considerato d'altronde lo stato già piuttosto avanzato degli standard che consentono l'handover entro Wi-Fi, un successivo passo condurrà ragionevolmente anche alla disponibilità di accessi in mobilità generale, sia pure con qualche limitazione sulla velocità di spostamento e con la necessità di risolvere problemi relativi alla diversità di operatore che offre il servizio in hot spot differenti (una delle conseguenze della copertura Wi-Fi "a macchia di leopardo"). Tutto questo potrebbe produrre un nuovo impulso per l'adozione del SPC e volumi di traffico entro la rete crescenti. Si sottolinea quindi che, pur non essendo considerate finora primarie a causa della giusta necessità di concentrarsi sull'allestimento di una rete sicura, l'SPC potrà trovare una serie di servizi utili sulla base di una molteplicità di applicazioni wireless, di cui probabilmente VoWiFi è uno dei più significativi.

Il documento ha anche fornito una serie di indicazioni progettuali utili per l'allestimento di reti wireless sia di tipo indoor (tipicamente basate su Wi-Fi) sia di tipo outdoor (che ricorrono oggi a soluzioni HiperLAN e in futuro al Wi-MAX): lo scopo dei due rispettivi capitoli (Cap. 5 e Cap.6) è fornire una serie di linee guida per quanti dovranno redigere capitolati tecnici di gara per realizzare reti di edificio, per la distribuzione e l'accesso a larga banda, sia per definire le caratteristiche di eventuali tratte di accesso ai POP Internet (i cosiddetti backbone) laddove questi non siano disponibili per l'assenza di copertura delle reti di gestori privati, ovvero per altre simili finalità.

Il documento tuttavia non si è limitato ad esaminare le tecnologie wireless per la larga banda, che al momento appaiono tra quelle all'ordine del giorno nelle priorità del Paese e della PA. Un argomento trattato nei Cap. 2 e Cap. 3 riguarda le cosiddette reti di sensori che promettono di avere sviluppi significativi nel prossimo futuro. Le applicazioni per la PA, finora poco esplorate nei campi del monitoraggio dell'ambiente, dell'automazione degli uffici, della sorveglianza degli accessi urbani, etc. potrebbero dimostrarsi di fondamentale importanza per la PA (nelle sue varie componenti, sia a livello centrale che periferico) per ridurre i costi di servizi e canoni, per una migliore e più tempestiva protezione dell'ambiente e delle risorse comuni e, infine per la sicurezza del cittadino. Si ritiene che in questa direzione ci si dovrebbe muovere con tempestività, proprio per essere pronti alla prevedibile disponibilità generalizzata sul mercato ICT, tra due o tre anni al massimo, di un numero significativo di alternative di prodotti standard a basso costo.

## Appendici

---



## Appendice A - Glossario

2G	2nd Generation
3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization, Accounting
ACL	Asynchronous ConnectionLess
AES	Advanced Encryption Standard
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMT	Automated Model Tuning
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
APN	Access Point Note
ARQ	Automatic Rereansmission reQuest
AS	Autonomous System
AS	Application Server
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BAN	Body Area Network
BE	Best Effort
BGA	Banda Garantita in Accesso
BGP	Border Gateway Protocol
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BRAN	Broadband Radio Access Networks
BSS	Basic Service Set
BWA	Broadband Wireless Access
CAC	Channel Access and Control
CAD	Computer Aided Design
CAPEX	CAPital EXpenditure
CdA	Componente di Accesso
CdS	Classi di Servizio
CdT	Componenti di trasferimento
CEPT	Conference Européenne des Administration des Postes et des Télécommunications
CFM	Convergenza Fisso-Mobile
CIF	Common Intermediate Format

CIP	Servizio di Connettività IP
CIP-BE	Connettività IP- Best Effort
CIPE	Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica
CIP-EQ	Connettività IP-Enhanced Quality
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CPE	Customer Premises Equipment
CSCF	Call Session Control Function
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CA	CSMA/ Collision Avoidance
CSMA/CD	CSMA/ Collision Detection
CTR	Centro Tecnico Regionale
CTS	Clear To Send
DAB	Digital Audio Broadcasting
DCF	Distributed coordination function
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DLC	Data Link Control
DNS	Domain Name System
DOS	Denial Of Service
DSCP	Differentiated Services Coed Point
DPRS	Dect Packet Radio Service
DSLAM	Digital Subscriber Line ATM Multiplexer
DS-SS	Direct Sequence-Spread Spcrtum
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EAP	Extensible Authentication Protocol
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
EDR	Enhanced Data Rate
EIRP	Effective Isotropically Radiated Power
EPC	Electronic Product Code
EQ	Enhanced Quality
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EY-NPMA	Elimination-Yield Non-Preemptive Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FER	Frame Error Rate
FFD	Full Function Device
FFT	Fast Fourier Transform
FH-SS	Frequency Hopping-Spread Spectrum
FLASH	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff

FMCA	Fixed-Mobile Convergence Alliance
FSK	Frequency Shift Keying
FTP	File Transfer Protocol
GAN	Generic Access Network
GFSK	Gaussian FSK
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GI	Gestione degli Indirizzi IP
GIS	Geographic Information Systems
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPS	Global Positioning System
GRE	Generic Routing Encapsulation
GSM	Global System for Mobile Communications
H2GF	HiperLAN2 Global Forum
HARQ	Hybrid ARQ
HCCA	HCF Controlled Channel Access
HCF	Hybrid Coordination Function
HD	Help Desk
HDR	High Data Rate
HDTV	High Definition TV
HipperACCESS	Hight PERformances Radio Access
HiperLAN	HIgh PERformance Radio LAN
HiperLAN/1	HIgh PERformance Radio LAN “Type 1”
HiperLAN/2	HIgh PERformance Radio LAN “Type 2”
HiperMAN	HIgh PERformance Radio MAN
HLR	Home Location Register
HQ	Alta Qualità
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IAPP	Inter Access Point Protocol
ICT	Information and Communications Technologies
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFFT	Inverse FFT
IMAC	Install, Move, Add, Change
IMS	Ip Multimedia Subsystem
IMS	IP Multimedia System
IMT 2000	International Mobile Telecommunication 2000
IP	Internet Protocol
IPTV	IP Television

IPv6	IP version 6
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial, Scientific, Medical
LAN	Local Area Network
LDR	Low Data Rate
LOS	Line Of Sight
LQ	Qualità Standard
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MANET	Mobile Ad-hoc NETwork
MC	Multi Carrier
MCU	Multipoint Control Unit
MDR	Medium Data Rate
MGW	Media Gateway
MIH	Media Independent Handover
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMR	Mobile Multihop Relay
MMS	Multimedia Messaging Service
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MR	Manutenzione e Riparazione
MRF	Media Resource Function
MRFC	Media Resource Function Controller
MRFP	Media Resource Function Processor
MSC	Mobile Switching Center
MTBSO	Mean Time Between Service Outage
MTTR	Mean Time To Repair
NAS	Network Attached Storage
NAT	Network Address Translation
NGN	Next Generation Network
NLOS	Non Line Of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
O-QPSK	Offset - QPSK
OSI	Open Systems Interconnection
PA	Pubblica Amministrazione
PAL	Pubblica Amministrazione Locale
PAN	Personal Area Network
PAS	Punto di accesso al servizio
PBX	Private Branch eXchange

PC	Point Coordinator
PCCM	Provisioning, Configuration and Change Management
PCF	Point Coordination Function
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PHY	PHYSical layer
PIP	Picture in Picture
PLMN	Public Land Mobile Network
PMP	Point-MultiPoint
PoP	Point Of Presence
PPPoE	Point-To-Point Protocol Over Ethernet
PSK	PreShared Key
PTP	Point-To-Point
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCIF	Quarter Common Intermediate Format
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAB	Radio Access Bearer
RAN	Regional Area Network
RAN	Cellular radio access network
RC4	Rivest Cipher 4
RF	Radio Frequency
RFD	Reduced Function Device
RFID	Radio Frequency IDentifier
RLAN	RadioLAN
RNC	Radio Network Controller
ROI	Return Of Investment
RS	Relay Station
RS4	Rivest Cipher #4
RTI	Raggruppamento Temporaneo di Imprese
RTS/CTS	Ready To Send / Clear To Send
RUPA	Rete Unitaria della Pubblica Amministrazione
SCO	Synchronous Connection Oriented
SCR	Servizio di Connettività e di Rete
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDP	Service Delivery Platform
SG/MGCF	Signalling Gateway/Media Gateway Control Function
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIP	Session Initiation Protocol
SIR	Signal-To-Interference Ratio
SMB	Servizio Multimediale di Base

SMS	Short Message Service
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal-To-Noise Ratio
SOHO	Small Office – Home Office
SPC	Sistema Pubblico di Connettività
SRB	Stazioni Radio Base
SRR	Stazioni Radio di Rilancio
SSA	Servizi di Supporto e di Assistenza
SSID	Service Set Identifier
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Turnked Radio
TISPAN	Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TLS	Transport Security Layer
TRU	Terminali Radio d'Utente
TSA	TeleSorveglianza Ambientale
TTA	Telecommunications Technology Association
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
UMA	Unlicensed Mobile Access
UMAN	UMA Network
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UNC	UMA Network Controller
UWB	Ultra-wideband
VDC	ViDeoConferenza
VDC-HQ	Videoconferenza High Qualità
VDC-LQ	Videoconferenza Low Qualità
VHDR	Very High Data Rate
VLAN	Virtual Local Area Network
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP
VoWi-Fi	VoIP over Wi-Fi
VPN	Virtual Private Network
VRF	Virtual Routing and Forwarding
WAN	Wide Area Network
WBA	Wireless Building Automation
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WDM	wavelength division multiplexing

WEP	Wired Equivalent Privacy
WiBro	Wireless Broadband
Wi-Fi	Wireless Fidelity
Wi-MAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WISP	Wireless Internet Service Provider
WLAN	Wireless LAN
WM	Wireless Mesh
WPA	Wi-Fi Protected Access
WR	Wireless Relay
WSN	Wireless Sensor Network
WWAN	Wireless WAN
xDSL	x Digital Subscriber Line
XGA	eXtended Graphics Array
ZED	ZigBee End Device
ZTL	Zona a Traffico Limitato



# Appendice B - Tecniche di trasmissione nel canale wireless

## B.1. GENERALITÀ SUL CANALE WIRELESS

I moderni sistemi di comunicazione wireless si trovano a dover operare in condizioni di canale trasmissivo variabile, specialmente se gli utenti serviti sono in movimento.

Un canale radiomobile a banda larga,  $B$ , è caratterizzato da fluttuazioni del segnale (*fading*), ossia da un comportamento non stazionario, dovuto sia alla stessa mobilità dei terminali sia alla variabilità dell'ambiente di comunicazione (numero, distanza e dimensione degli ostacoli posti lungo il collegamento) che determinano il mutare delle condizioni di multipropagazione. Si adotta perciò un modello di canale *fading* selettivo in tempo e in frequenza, con funzione di trasferimento del canale tempo-variante,  $H(f, t)$ .

In condizioni ideali, la funzione del canale  $H(f, t)$  appare quasi costante al segnale in transito, sia in tempo che in frequenza: ciò significa che il massimo sparpagliamento dei ritardi (o *delay spread*) risulta molto minore del tempo di simbolo,  $T_S \approx 1/B$ , e rispettivamente il tempo di coerenza (inverso dello sparpagliamento *Doppler*) è molto più grande di  $T_S$  [71]. Tali condizioni non risultano verificate per trasmissioni di segnali a banda larga; conseguentemente, se si usa un sistema di trasmissione convenzionale, l'equalizzazione di canale può anche risultare assai complessa; in un canale tempo-variante, inoltre, la stima del canale deve essere eseguita più frequentemente, con conseguente aggravio del carico di segnalazione (*overhead*).

Per contrastare gli effetti indesiderati del canale di propagazione sono state proposte numerose tecniche di trasmissione e la presente Appendice intende evidenziare quelle che oggi sono più impiegate o sono ritenute più promettenti. Si descrivono inizialmente le tecniche adattative che si applicano nei sistemi classici di modulazione (a singola portante); quindi, vengono introdotte le tecniche concepite per sistemi multiportante. In particolare ci si soffermerà sulla tecnica MIMO (*multiple input - multiple output*) e sulla tecnica OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*), che si rivelano particolarmente utili per canali radio tempo-varianti e selettivi in frequenza.

## B.2. TECNICHE ADATTATIVE DI MODULAZIONE E CODIFICA

Nei sistemi a singola portante, una tecnica semplice per contrastare le fluttuazioni del segnale consiste nel variarne la modulazione e/o la codifica. La modulazione adattativa

del segnale è una tecnica dinamica, in virtù della quale il trasmettitore cambia la stessa legge di modulazione in dipendenza delle condizioni del canale: ciò è reso possibile dalle moderne tecnologie SDR (*software-defined radio*) che consentono di modificare via software i formati di segnale in tempo reale, senza necessità di aumentare la complessità hardware del ricetrasmittitore.

Quando la qualità del collegamento è buona, si possono usare modulazioni quali la 64-QAM (64-*Quadrature Amplitude Modulation*), ad alta efficienza spettrale (6 bit/s/Hz); se durante la trasmissione le condizioni del canale peggiorano, si può cercare di mantenere inalterata la qualità della trasmissione cambiando la legge di modulazione, ad esempio passando al QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), con più bassa efficienza spettrale (2 bit/s/Hz).

Al cambiamento di formato di modulazione è associata la variazione di valore del rapporto tra la potenza utile e la potenza disturbante (SNR) necessario per conseguire il richiesto tasso di errore, BER (*bit error rate*). A parità di specifica sul BER, modulazioni con più bassa efficienza spettrale richiedono un valore di SNR relativamente basso (ad esempio, per un sistema Wi-MAX si hanno 9 dB nel caso del QPSK per BER pari a  $10^{-6}$ ); d'altra parte, modulazioni più efficienti a parità di BER richiedono SNR anche molto più elevati (22 dB nel caso del 64-QAM, sempre assumendo  $BER = 10^{-6}$  per un sistema Wi-MAX).

Per aumentare la dinamica del SNR, al cambiamento delle modulazioni si affianca di solito anche una codifica adattativa, come previsto dalla più flessibile tecnica AMC (*adaptive modulation and coding*). Il sistema cambia quindi anche ritmo di codifica, ossia il rapporto tra numero di bit di informazione e numero di bit trasmessi in totale nell'unità di tempo. I codici più usati fanno parte delle categorie dei codici convoluzionali e dei codici a blocchi; nei casi in cui la trasmissione non sia sensibile al ritardo, questi codici possono essere sostituiti con i più efficienti codici turbo.

Poiché la potenza ricevuta è generalmente decrescente con la distanza, gli utenti più vicini alla stazione radio base (SRB) sono interessati da valori più elevati di SNR, e viceversa; da ciò discende una dipendenza del data rate dalla distanza (e dalla copertura) e la riduzione della velocità di *download* da Internet che si sperimenta nei sistemi wireless all'allontanarsi dalla porta d'accesso (ciò vale sia nel Wi-Fi che nel Wi-MAX). La *Figura B.1* rappresenta questo fenomeno, con riferimento al sistema Wi-MAX ( $BER = 10^{-6}$ ).

### B.3. TECNICHE DI DIVERSITÀ

Nei sistemi wireless, specialmente se mobili, le tecniche di diversità assumono un ruolo spesso basilare: per mezzo di tali tecniche il segnale radio viene ricevuto in più repliche trasmesse in condizioni quanto più possibile indipendenti. In virtù dell'indipendenza dei modi di trasmissione, le differenti repliche non subiscono lo stesso trattamento da parte del canale, e quindi, con alta probabilità, non sono tutte soggette a condizioni di profondo affievolimento (ossia di forte *fading*). In questo modo si riesce a proteggere efficacemente il segnale dal fading, sia di larga scala che di piccola scala (qualche lun-

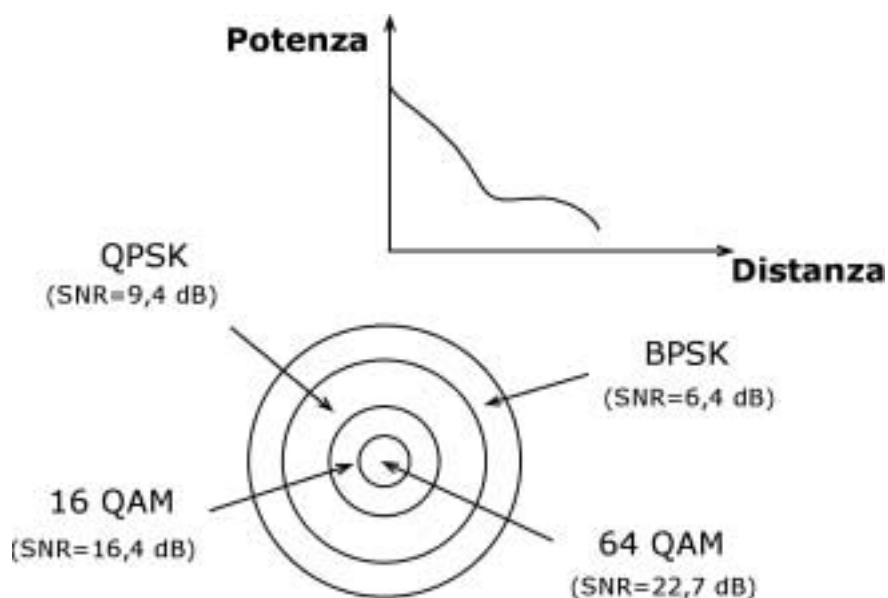


Figura B.1 - - Modulazione e codifica adattative e copertura ( $BER = 10^{-6}$ ).

ghezza d'onda). Come è noto, il fading di larga scala risulta dalla combinazione dell'attenuazione mediana (che va sotto il nome di perdita di percorso o "*path loss*") e del cosiddetto *fading* lento o ombreggiamento ("*shadowing*"); il fading di piccola scala, invece, anche detto *fading* veloce, è dovuto alla somma vettoriale (e quindi generalmente distruttiva) di repliche di segnale con diversi valori di ritardo.

Lo sfruttamento delle diverse repliche idealmente indipendenti del segnale trasmesso è demandato al combinatorio che, posto a valle del ricevitore, permette di ottenere valori di SNR migliori rispetto alla condizione di trasmissione in assenza di diversità.

La comunicazione in diversità realizza una forma di trasmissione multicanale. Poiché ciò equivale a introdurre ridondanza nella trasmissione, un altro utile punto di vista interpreta la diversità come una forma di codifica di canale: se si pensa, ad esempio, alla semplice ripetizione del segnale in due o più canali indipendenti in parallelo, questa forma di diversità altro non è che la ben nota codifica per ripetizione. Come per la codifica di canale, anche per la diversità la massima efficacia statistica si ottiene quando si riesce a realizzare la condizione di indipendenza: è intuitivo, infatti, che se, all'opposto, sui canali in parallelo le repliche venissero trattate in modo del tutto correlato (dando quindi luogo a forme d'onda identiche in ricezione) l'applicazione della tecnica non potrebbe portare alcun significativo beneficio di prestazione.

### B.3.1. VARIANTI REALIZZATIVE DELLE TECNICHE DI DIVERSITÀ

La diversità può essere realizzata secondo differenti modalità che interessano i seguenti quattro domini:

- tempo (*diversità di tempo*);

- frequenza (*diversità di frequenza*);
- polarizzazione (*diversità di polarizzazione*);
- spazio (*diversità di spazio*).

La diversità nel tempo consiste nella ripetizione del segnale dopo un opportuno ritardo e viene realizzata di solito per mezzo della combinazione di codifica di canale e interlacciamento (*interleaving*) dei simboli. Simboli codificati temporalmente adiacenti vengono allontanati artificialmente nel canale. La *Figura B.2* mostra lo schema concettuale del sistema di trasmissione che usa la diversità di tempo nel caso più semplice di una sola replica. L'elemento di ritardo produce la replica del segnale ritardata di un tempo  $\Delta t$  che, se opportunamente scelto, equivale a far transitare i due simboli attraverso canali trasmissivi differenti. Maggiore è la separazione temporale fra le diverse repliche del segnale maggiore è l'indipendenza fra i due canali: in pratica l'indipendenza si ottiene per valori di  $\Delta t$  maggiori di un intervallo detto tempo di coerenza,  $\Delta t_{\text{coh}}$ .

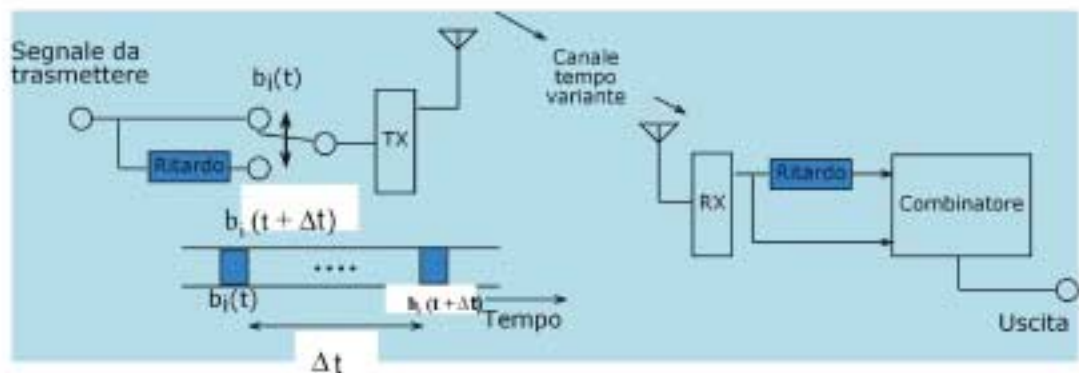


Figura B.2 - Schema concettuale di sistema a diversità di tempo.

La diversità in frequenza si realizza attraverso la comunicazione multiportante (*multicarrier communication*), oppure sulle base delle tecniche a spettro espanso (*spread spectrum*) che distribuiscono il segnale su una banda molto più grande di quella originaria. Lo schema concettuale del sistema di trasmissione, riportato in *Figura B.3*, mostra come sia possibile attuare questo tipo di diversità ripetendo il segnale su portanti differenti che, se sufficientemente distanti in frequenza, possono realizzare canali differenti. Maggiore è la separazione spettrale tra frequenze portanti adiacenti,  $\Delta f$ , maggiore è l'indipendenza fra i due canali: in pratica l'indipendenza si ottiene per valori di  $\Delta f$  maggiori di un intervallo detto banda di coerenza,  $\Delta f_{\text{coh}}$ .

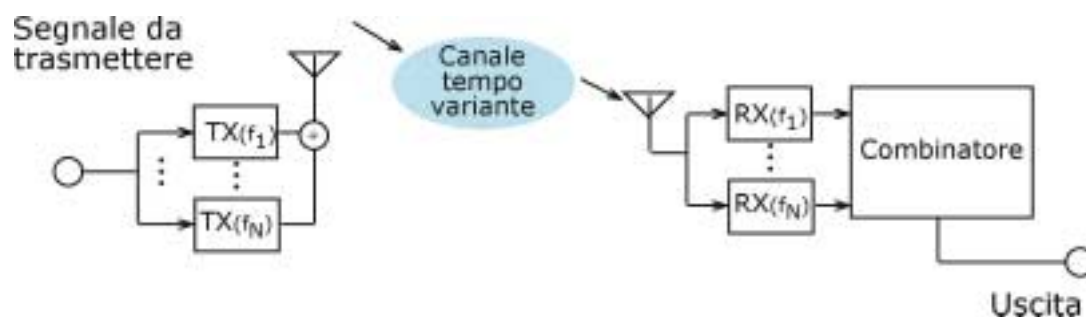


Figura B.3 - Schema concettuale di sistema a diversità di frequenza.

Sia la diversità di tempo che la diversità di frequenza determinano l'espansione del segnale a radiofrequenza su una banda più ampia della banda naturale e, quindi, una riduzione dell'efficienza spettrale della trasmissione.

La diversità di polarizzazione consiste nell'impiegare coppie di polarizzazioni ortogonali delle onde elettromagnetiche (ad esempio lineari orizzontale e verticale, oppure circolare destrorsa e sinistrorsa). Pur essendo spettralmente efficiente, tale tecnica non risulta molto efficace specialmente in ambienti wireless e radiomobili, e quindi non verrà ulteriormente considerata.

L'ultima tecnica considerata, ossia la diversità di spazio, si attua secondo diverse modalità e, già da tempo molto usata nei sistemi radiomobili cellulari, oggi viene più in generale applicata anche nei sistemi wireless. Si hanno due classi di sistemi in diversità di spazio: i primi, detti sistemi a diversità macroscopica (basati sulla "macrodiversità"), operano in diversità di sito di antenna; i secondi, ovvero i sistemi a diversità microscopica (o in "microdiversità"), si attuano localmente in un solo sito con diverse modalità realizzative che possono anche non richiedere antenne multiple.

La macrodiversità è molto impiegata nei sistemi cellulari dove è stata introdotta in origine come *handover* al fine di consentire la continuità della sessione di comunicazione anche in condizioni di mobilità su larga scala del terminale, ossia negli attraversamenti di cella. Successivamente, la tecnica nota come *soft handover* ha consentito di aggiungere alla continuità della comunicazione i benefici di una migliore qualità di trasmissione, specialmente nelle regioni di confine tra celle, ove offre al terminale la connessione simultanea al sistema attraverso due SRB. In questo scenario (Figura B.4), l'indipendenza dei canali necessaria alla diversità è assicurata dalla distanza fra le due Stazioni, che può anche essere di molti chilometri. Una complicazione connessa all'impiego di questa tecnica è legata al trasporto del segnale dalle SRB al combinatore remoto ove si ricostruisce l'unico flusso di segnale.

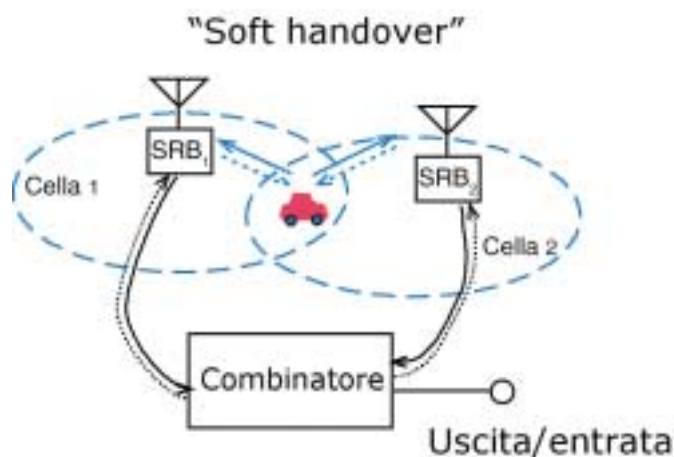


Figura B.4 - Schema concettuale di sistema a macrodiversità di spazio.

Altra tecnica di largo impiego nei sistemi cellulari, è la microdiversità, attuata in un solo sito: si tratta di un particolare tipo di diversità spaziale che si realizza intrinsecamente grazie ai cammini multipli, ossia alle repliche di segnale dovute proprio al *multipath* presente nell'ambiente (Figura B.5). Il sistema può anche essere interpretato come una particolare diversità di tempo implicita (ovvero una codifica a ripetizione), in quanto è lo stesso canale a generare repliche del segnale che, ove ricombinate perfettamente stimando i ritardi nel canale, danno luogo ad un incremento di potenza utile ricevuta (e cancellano l'effetto di interferenza proprio del *multipath*). Per ben operare, quindi, occorre che sia garantita la distinguibilità temporale delle repliche e questo, negli ambienti a *multipath* denso in cui il sistema è potenzialmente più vantaggioso, richiede in pratica di adoperare segnali a banda larga ottenibili a partire dall'originario segnale naturale per mezzo di tecniche *spread spectrum*. Il sistema di ricombinazione, nel caso delle trasmissioni a banda larga, è denominato ricevitore "Rake" ossia "a rastrello", appunto per la proprietà di raccogliere i piccoli elementi di segnale diffusi dagli ostacoli presenti nell'ambiente. A differenza della diversità di tempo esplicita (e a quella di frequenza), pur richiedendo espansione spettrale, questo tipo di diversità può risultare efficiente in spettro se coniugata con un'opportuna tecnica di accesso multiplo.

Infine, la microdiversità può anche realizzarsi attraverso molteplici antenne collocate nel sito ricevente che esegue la ricombinazione delle componenti di segnale: questo sistema rientra nella categoria dei sistemi MIMO su cui si tornerà nel seguito.

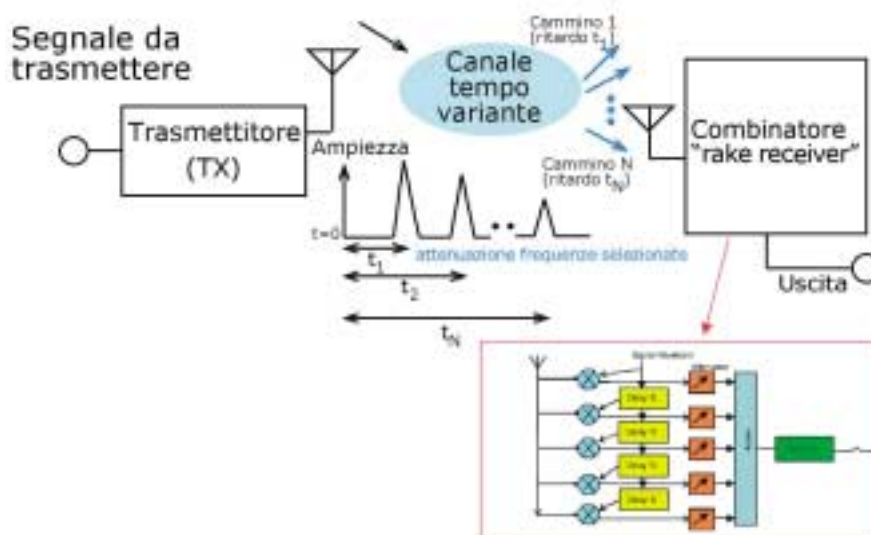


Figura B.5 – Schema concettuale di sistema a diversità per multicammini e ricevitore Rake.

### B.3.2. METODI PER LA COMBINAZIONE DEL SEGNALE

Le osservazioni indipendenti all'uscita di molteplici canali paralleli creati adottando le tecniche di diversità devono essere opportunamente combinate (o selezionate) al ricevitore. I concetti di seguito presentati sono applicabili a tutti i domini della diversità (tempo, frequenza, spazio).

È possibile identificare le seguenti strategie di ricostruzione del segnale in ricezione (Figura B.6):

- Diversità per selezione, SD (*Selection Diversity*)
- Diversità per combinazione, CD (*Combining Diversity*)
  - con uguale guadagno, ECG (*Equal Gain Combining*)
  - a massimo rapporto, MRC (*Maximum Ratio Combining*).

Nel caso di diversità per selezione, SD, attraverso un semplice sistema di commutazione a radiofrequenza in condizioni ideali viene scelto il segnale che presenta il valore istantaneo più elevato di rapporto segnale/rumore (SNR); si possono avere, altresì, numerose soluzioni implementative subottime, ad esempio quella di eseguire la commutazione su un ramo migliore solo se il valore di SNR diventa inferiore ad un livello di soglia prefissato. Nel caso di diversità per combinazione, si opera la combinazione dei segnali ricevuti e si distingue ulteriormente tra combinazione a uguale guadagno (EGC) e combinazione a massimo rapporto (MRC). In linea di principio è irrilevante se la combinazione avviene a radiofrequenza oppure in banda base, purché il sistema di demodulazione sia lineare; viceversa se la demodulazione non è lineare (come ad esempio nel caso della modulazione di frequenza) la combinazione a radiofrequenza (ossia prima della rivelazione) dà luogo a valori più alti di SNR.

Nella combinazione a uguale guadagno (EGC), il ricevitore corregge le differenze di rotazione di fase dei segnali ricevuti che è dovuta ai percorsi multipli e li combina con pari peso; invece, nella combinazione a massimo rapporto (MRC) in aggiunta alla correzione di fase, il ricevitore applica ai segnali un peso proporzionale al rispettivo SNR istantaneo prima di eseguire la somma.

Nel sistema MRC idealmente il valore di SNR è uguale alla somma degli SNR individualmente presi: esso nel canale gaussiano ideale (AWGN) è il sistema di combinazione ottimo (nel senso che consente di raggiungere il valore minimo di BER). In un canale Rayleigh, la prestazione del MRC è la migliore, seguita da quella del EGC e, infine, del SD.

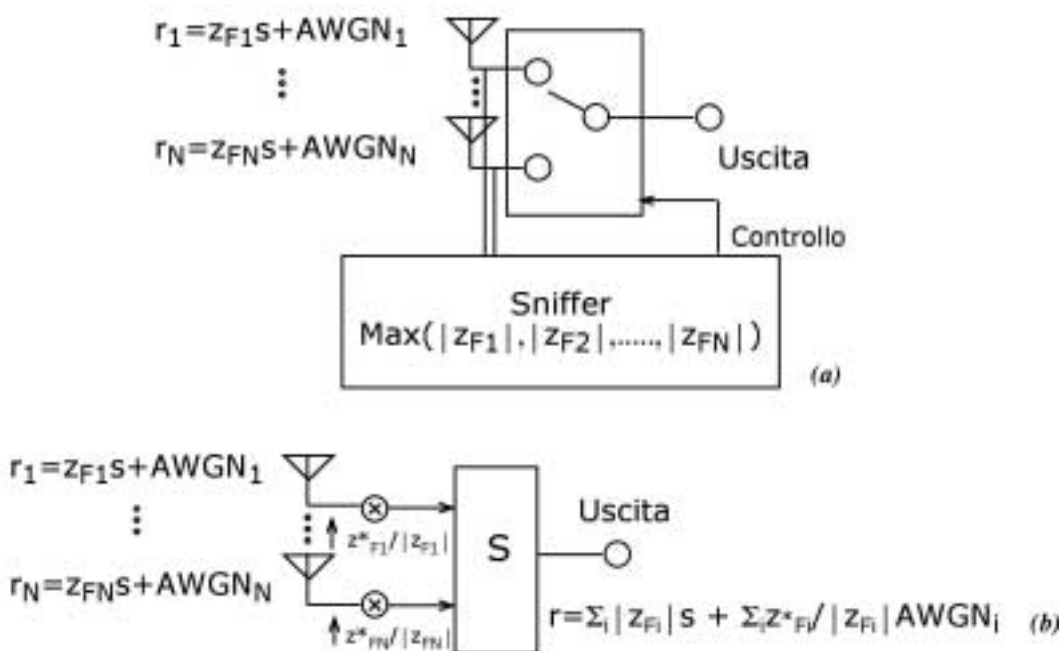


Figura B.6 - Concetti di (a) selezione e (b) combinazione (AWGN = Additive White Gaussian Noise).

### B.4. I SISTEMI AD INGRESSI E USCITE MULTIPLE

Nelle comunicazioni wireless il modello di trasmissione multicanale, o sistema MIMO, consiste nel realizzare la diversità di spazio con l'impiego di una molteplicità di elementi d'antenna, nel loro complesso organizzati come *array* di antenne e collocati in corrispondenza di ciascuna delle due estremità del canale wireless. In altri termini, per configurazione MIMO si intende una struttura composta di  $N$  antenne collocate al lato trasmettente e di  $M$  antenne collocate al lato ricevente (Figura B.7). Con riferimento al segnale in uscita alla  $j$ -esima porta lato ricezione per effetto del segnale all'entrata dell' $i$ -esima antenna lato emissione (assumendo inattive tutte le altre porte d'entrata  $k \neq i$ ), si può definire il guadagno di canale  $g_{ij}$  e, ripetendo la procedura per tutte le porte d'entrata e d'uscita, si costruisce la *matrice dei guadagni di canale*  $[g_{ij}]$ .

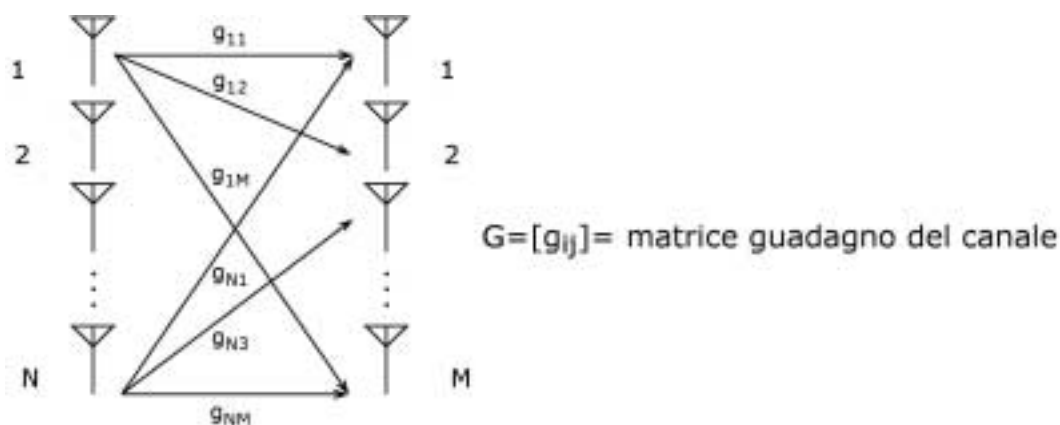


Figura B.7 - Configurazione di sistema MIMO e definizione della matrice di guadagno di canale.

Le comunicazioni *wireless* multicanale con tecniche MIMO traggono beneficio dalla propagazione del segnale mediante cammini multipli per migliorare le prestazioni (in termini di aumento di copertura e/o throughput e/o riduzione di BER) e quindi in questi casi non si tenta di eliminare gli effetti del multipath come accade nelle tradizionali comunicazioni monocanale, SISO (*Single-Input Single-Output*). Gli algoritmi MIMO realizzano la trasmissione delle informazioni attraverso due o più antenne. Le riflessioni nell'ambiente di propagazione creano molteplici cammini che in un radiosistema convenzionale determinano interferenze e fading; al contrario, il MIMO adopera questi percorsi multipli per realizzare un trasporto più efficiente delle informazioni, che vengono ricombinate al ricevitore in virtù degli algoritmi MIMO.

Il canale MIMO sfrutta quindi in generale sia la diversità spaziale (ossia la *diversità d'antenna*) che la diversità temporale (attraverso la codifica di canale). In questo modo la capacità di sistema viene ad essere aumentata in modo significativo, come pure l'affidabilità del collegamento *wireless*.

Sono casi particolari di una configurazione MIMO le seguenti architetture:

- **configurazione SIMO** (*Single-Input Multiple-Output*), caratterizzato da  $N = 1, M > 1$ , in cui si attua la diversità in ricezione attraverso tecniche di elaborazione di segnale nella schiera ricevente (*receive array processing*);
- **configurazione MISO** (*Multiple-Input Single-Output*), caratterizzato da  $N > 1, M = 1$ , in cui si attua la diversità soltanto in emissione;
- **configurazione SISO** (*Single-Input Single-Output*), caratterizzato da  $N = M = 1$ , ossia il caso convenzionale di trasmissione priva di diversità d'antenna.

Consideriamo, per fissare le idee, uno scenario radiomobile classico in cui una stazione radio base (SRB) serva una molteplicità di portatili, ossia terminali mobili (MT). La soluzione generalmente ritenuta più economica per implementare la diversità spaziale è dotare la SRB di più di una antenna (sovente due). Il terminale è dotato, invece, di un'unica antenna, a causa della difficoltà di installarne un numero maggiore al suo interno e

di un beneficio ritenuto spesso modesto in considerazione della piccola distanza che le separerebbe. Più precisamente, nelle implementazioni più frequenti, l'architettura adottata risulta essere una configurazione SIMO per l'uplink ( $N = 1, M = 2$ ) e una configurazione SISO ( $N = M = 1$ ) per il downlink. È frequente, infatti, che sia l'uplink a richiedere l'introduzione di un guadagno di diversità. Attualmente nella maggior parte delle stazioni radio base si usano due antenne riceventi mentre viene usata una singola antenna per trasmettere; al terminale mobile si usa una sola antenna in duplex per le due funzioni di trasmissione e ricezione.

In un sistema MIMO, il segnale ricevuto è combinazione lineare di repliche del segnale trasmesso, che viene riflesso da ostacoli (gli "scatterer") disposti intorno al ricevitore. Questo produce una dispersione angolare (*angle spread*) che, a sua volta, determina il fenomeno della selettività spaziale. Se la dispersione angolare è piccola, è necessaria una grande separazione tra elementi d'antenna per ottenere bassi valori di correlazione tra le repliche del segnale; viceversa nel caso di grandi valori di dispersione angolare è sufficiente una piccola separazione spaziale tra elementi dell'array per ottenere bassi valori di correlazione. Poiché alla SRB la dispersione angolare è spesso piccola, se ne deduce che per un buon vantaggio associato alla diversità occorre una separazione anche maggiore di  $\lambda/2$ .

#### B.4.1. ELABORAZIONE DI SCHIERA IN RICEZIONE

La diversità in ricezione nel caso di configurazione SIMO, è implementata attraverso le ben note tecniche di "receive array processing". Tali tecniche consistono nell'adottare antenne multifascio. Un'antenna di questo tipo, anche detta *smart antenna*, è un'antenna adattativa in grado di inseguire l'utente in movimento nell'ambiente, anche tenendo conto delle variazioni delle caratteristiche dell'ambiente stesso.

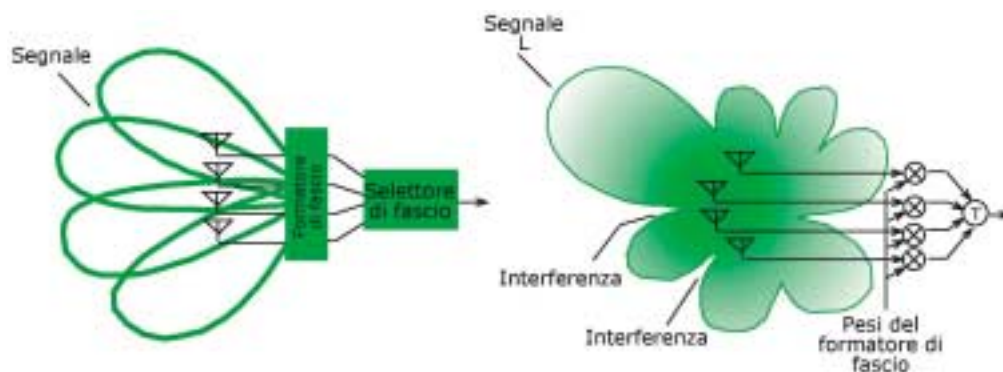


Figura B.8 - Alternative per l'array processing, il beamforming e la smart antenna.

I due tipi fondamentali di *smart antenna* sono mostrati in Figura B.8:

- Il primo tipo usa una antenna multifascio (o antenna *phased-array*) e prevede un formatore di fascio (*beamformer*) che sagoma i molteplici fasci stretti dell'antenna,

nonché un sistema di selezione del fascio che sceglie quello che consente la ricezione con potenza massima. Il processo può anche essere attuato utilizzando molteplici antenne con fasci differenti in cui il selettore di fascio sceglie l'antenna o l'insieme di antenne che consente il massimo trasferimento di potenza.

- Il secondo tipo usa un antenna ad *array* adattativa. Il segnale viene ricevuto dai numerosi elementi d'antenna – ciascuno avente funzione di radiazione simile – e i segnali ricevuti sono pesati e combinati in modo tale da formare il desiderato segnale di uscita (ed, al contempo, in modo da ridurre l'interferenza).

L'antenna multifascio è più facile da implementare, poiché il *beamformer* è fisso e la funzione di selezione del fascio viene attuata solo ogni pochi secondi a causa della mobilità dell'utente. In presenza di *array* adattativi, viceversa, si deve calcolare il complesso dei pesi di *beamforming* assai più in fretta del *fading rate*, che può risultare di alcuni *Hz* per utenti in condizioni di mobilità pedonale.

#### B.4.2. TECNICHE DI DIVERSITÀ IN EMISSIONE

La diversità in emissione, MISO, può attuarsi sia attraverso tecniche ad anello chiuso (*closed loop*) che attraverso tecniche ad anello aperto (*open loop*).

Le tecniche ad anello chiuso implicano una elaborazione di schiera in emissione (*transmit array processing*): in pratica si tratta del caso duale della diversità in ricezione vista nel caso della configurazione SIMO.

Invece la diversità in emissione ad anello aperto rappresenta un approccio relativamente nuovo che consente al progettista di spostare il carico di elaborazione dal terminale alla stazione radio base ove è collocata la schiera d'antenna. Comunque, il principale problema associato alla diversità di trasmissione consiste nella mancanza di conoscenza piena, istante per istante, dell'informazione di stato del canale ("*channel state information*" o CSI). Pertanto, in questo caso, si deve adottare una tecnica di codifica di canale in grado di garantire buone prestazioni per un'ampia casistica di condizioni del canale. La conoscenza piena della CSI corrisponde alla conoscenza in ogni istante della matrice di trasferimento del canale  $G$ .

Nel caso dell'anello aperto sono possibili tre diverse implementazioni:

- *trasmissione ripetuta* (ogni antenna trasmette simultaneamente la medesima informazione accompagnandola con un'univoca forma d'onda di firma),
- *diversità di ritardo* (ogni antenna trasmette la stessa informazione, ma in tempi differenti e, quindi, non è necessaria alcuna forma d'onda di firma),
- *codifica spazio-tempo* o STC ("*space-time coding*"), di cui l'esempio più famoso è rappresentato dalla codifica di Alamouti, caratterizzata dalla scelta  $N = 2, M = 1$ .

Nel caso dello STC, i simboli vengono trasmessi simultaneamente dalle  $N$  antenne, senza alcuna retroazione dal ricevitore al trasmettitore e vengono codificati in dipendenza dell'antenna dalla quale vengono trasmessi. La STC combina i benefici della codifica FEC (*forward error correction*) e della diversità di spazio, ma a differenza delle consuete

implementazioni del FEC non richiede allargamento di banda, in quanto la ridondanza è applicata nello spazio attraverso le diverse antenne e non in tempo o in frequenza.

In altri termini, gli schemi STC combinano il progetto del codice di canale con l'uso di antenne multiple: i dati codificati sono suddivisi in  $N$  flussi dati che vengono trasmessi simultaneamente attraverso le  $N$  antenne. Il segnale ricevuto è una sovrapposizione lineare dei simboli trasmessi simultaneamente, disturbati dal rumore e dalla interferenza intersimbolo (ISI). Gli algoritmi di decodifica spazio-tempo come pure le tecniche di stima del canale sono incorporati nel ricevitore in modo da ottenere sia il vantaggio di diversità che il guadagno di codifica.

Si può avere completa o limitata CSI, ovvero si può operare in assenza di CSI. In un sistema TDD (*time division duplex*) con separazione temporale tra trasmissione e ricezione (il cosiddetto *duplex time*) minore del tempo di coerenza del canale questa informazione è posseduta dall'emettitore, in quanto il canale è reciproco. Nel caso FDD (*frequency division duplex*), invece, deve esistere un canale di ritorno dal ricevitore al trasmettitore per fornire esplicitamente a quest'ultimo l'informazione di CSI. L'informazione può essere adoperata in vario modo, ad es. per stabilire quale antenna (o gruppo di antenne) è nelle migliori condizioni per trasmettere. Si realizzano così sistemi di multiplex spaziale, come il sistema originariamente proposto dai Bell Labs e abbreviato con la sigla BLAST (BellLabs Layered Space-Time).

È anche possibile attuare la diversità in trasmissione senza dotarsi di CSI, ad es. attraverso la codifica di Alamouti di cui si parlerà di seguito.

### B.4.3. CODIFICA DI ALAMOUTI

Si tratta di un sistema molto semplice e efficace che ha già trovato applicazione nel sistema UMTS. Con riferimento alla *Figura B.9*, in un intervallo di simbolo si indica con  $\mathbf{s}_0$  il simbolo trasmesso dall'antenna "0", mentre è detto  $\mathbf{s}_1$  il simbolo trasmesso dall'antenna "1". Durante il successivo intervallo di simbolo l'antenna "0" trasmette il segnale  $-\mathbf{s}_1^*$  e l'antenna "1" trasmette il segnale  $\mathbf{s}_0^*$ .

Assumendo che il fading nel canale si mantenga costante nel tempo che intercorre tra due simboli successivi si ha:

$$\begin{aligned} r_0 &= r(t) = b_0 s_0 + b_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= r(t+T) = -b_0 s_1^* + b_1 s_0^* + n_1 \end{aligned}$$

Dove  $h_i = \alpha_i e^{j\theta_i}$  rappresenta gli effetti sull'ampiezza e sulla fase del segnale trasmesso introdotti dal canale di propagazione.

Il combinatorio mostrato in *Figura B.9* costruisce i due seguenti segnali che vengono inviati al ricevitore a massima verosimiglianza:

$$\begin{aligned} s_0 &= b_0^* r_0 + b_1 r_1 \\ s_1 &= b_1^* r_0 - b_0 r_1. \end{aligned}$$

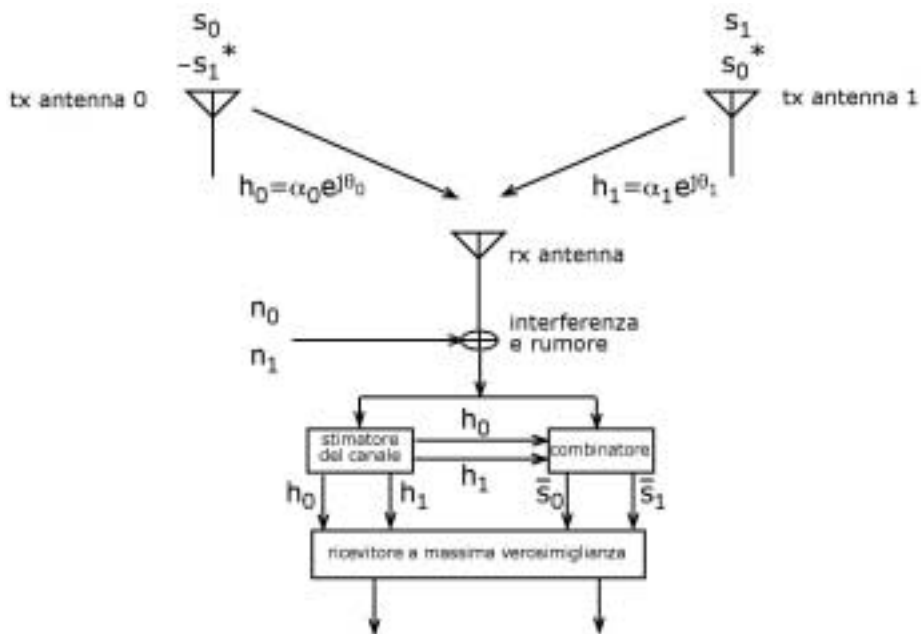


Figura B.9 - Lo schema STC di Alamouti.

Si dimostra che la diversità ottenuta per mezzo di una coppia di antenne trasmettenti e un solo sistema ricevente, equivale al MRC con due canali. Lo schema non determina espansione di banda visto che la ridondanza viene applicata nello spazio per mezzo delle due antenne e non nel tempo né in frequenza.

## B.5. TECNICA OFDM

Alcune delle tecniche presentate finora prevedono l'uso simultaneo di numerosi canali di trasmissione e/o sono efficacemente applicabili solo in canali a banda stretta in quanto basate sulla stima di coefficienti di canale non semplicemente ottenibili per le trasmissioni a banda larga. In questo quadro assume una grande importanza la tecnica indicata come Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), che consente di moltiplicare a minima distanza i canali di base ottenendo un unico segnale a banda larga che non presenta bande di guardia fra i singoli canali tributari.

Come è noto, il principio dello OFDM consiste nel dividere la banda  $B$  in  $N$  parti, in modo da ottenere canali a banda stretta, non selettivi in frequenza, di larghezza  $B/N$ ; in ciascuna sottobanda sono trasmessi dati a ritmo binario ridotto (di  $N$  volte) che sono modulati su portanti ortogonali (i segnali modulati perciò si sovrappongono dando luogo a efficienza spettrale ottima). La Figura B.10 confronta i due casi di trasmissione sequenziale di segnali su singola portante e di trasmissione multiportante OFDM su canali in parallelo.

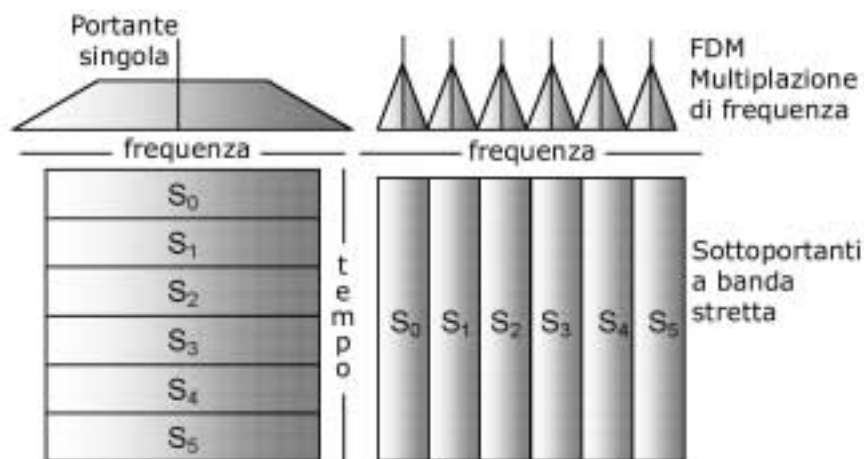


Figura B.10 - Trasmissioni a portante singola e multipla.

In virtù dell'ortogonalità tra le sottoportanti, idealmente non si ha interferenza tra i canali in parallelo; inoltre, grazie all'uso di un opportuno tempo di guardia,  $T_G$ , associato ad ogni simbolo (detto "prefisso ciclico"), si elimina anche l'interferenza intersimbolo (ISI). In pratica, ciò si mantiene vero purché  $T_G$  sia stato scelto maggiore del massimo valore di *delay spread* previsto e il tempo di simbolo nel canale a banda stretta  $T_s' = N T_s$  (essendo  $T_s$  il tempo di simbolo OFDM) risulti minore del tempo di coerenza.

Sotto queste condizioni l'equalizzazione di ciascun canale a banda stretta si riduce a stimare un solo coefficiente complesso del canale per ciascuna sottoportante. La stima si può eseguire inserendo un simbolo pilota noto nel formato dati in trasmissione: sulla base dei simboli pilota il ricevitore può stimare la funzione di trasferimento di ogni canale in ogni istante per interpolazione e ogni segnale di sottoportante può essere demodulato coerentemente. Alternativamente, può adottarsi la demodulazione differenziale che evita l'uso dei simboli pilota. Risultati sperimentali con valori di ritmo binario di oltre 100 Mbit/s hanno riportato BER minori di  $10^{-4}$  in canale affetto da *fading* veloce e *delay spread* di circa 2 ms nella banda dei 5 GHz, con terminali in movimento alla velocità di oltre 200 km/h.

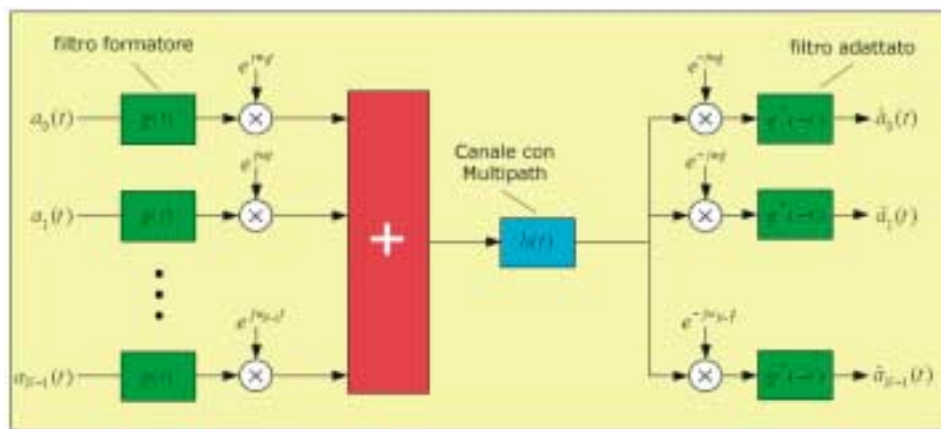
### B.5.1. MULTIPLAZIONE A MINIMA OCCUPAZIONE SPETTRALE

Si può pervenire all'OFDM pensando ad un'evoluzione della modulazione FSK (*Frequency Shift Keying*) in cui  $M$  frequenze ortogonali (non semplicemente due, come nel caso del FSK) vengono adoperate simultaneamente come se fossero veri e propri canali di trasmissione indipendenti. In questo caso l'OFDM è un modo di implementare la modulazione M-FSK e ciascuno degli  $M$  "canali paralleli" trasporta un segnale numerico con impulso rettangolare indipendente da tutti gli altri. Se il segnale in origine è binario con velocità di trasmissione pari a  $R$  bit/s, in ciascun canale fluiscono segnali con ridotto bit rate, pari a  $R/M$  bit/s.

Inoltre, entro ciascun canale, i segnali possono essere modulati per mezzo di una qualsiasi delle leggi di modulazione convenzionali, ad esempio con il PSK (*Phase Shift Keying*) oppure con la QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) e così via. La modulazione prescelta per ciascuno degli  $M$  canali paralleli può essere eventualmente multilivello con  $M_s$  simboli (si ha  $M_s = 2$  per il PSK,  $M_s = 4$  per il QPSK, etc.): pertanto, il ritmo di simbolo in ciascun canale diviene pari a  $R/(M \cdot M_s)$  bit/s. Ad esempio, per un flusso binario di sorgente di 10 Mbit/s,  $M = 50$  canali OFDM e modulazione QPSK (Quadrature PSK, con  $M_s = 4$ ), il ritmo di simbolo nel singolo canale a radiofrequenza risulta pari a soli 50 kbit/s. Sulla base di quanto appena detto, si possono dare due interpretazioni dell'OFDM, che:

- può essere pensato come una combinazione di modulazione armonica e moltiplicazione, quest'ultima con il compito di segmentare un canale di comunicazione in modo tale da consentirne la condivisione da parte di flussi paralleli di segnale;
- può essere visto come un caso speciale di trasmissione multiportante (*multi-carrier*), in cui un singolo flusso dati viene trasmesso attraverso una molteplicità di sottoportanti di più basso ritmo binario.

La *Figura B.11* rappresenta lo schema a blocchi di principio di un sistema di trasmissione OFDM.



*Figura B.11 - Schema di principio di sistema OFDM.*

Visto come sistema di moltiplicazione, l'OFDM è una forma di FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Tuttavia l'OFDM presenta un'importante peculiarità, in virtù dell'ortogonalità che viene imposta tra i segnali in cui è suddiviso il segnale originario che sono trasmessi nei canali paralleli. La convenzionale tecnica FDM, infatti, richiede la presenza di bande di guardia tra le frequenze per evitare l'insorgere di interferenze tra i canali. Al contrario, l'OFDM consente agli spettri di sovrapporsi perché, in quanto ortogonali, i segnali non interferiscono tra loro. Consentendo la sovrapposizione degli spettri, si trae un evidente vantaggio in termini di efficienza spettrale, che nell'OFDM non risulta degradata rispetto alla trasmissione per mezzo di una modulazione convenzionale.

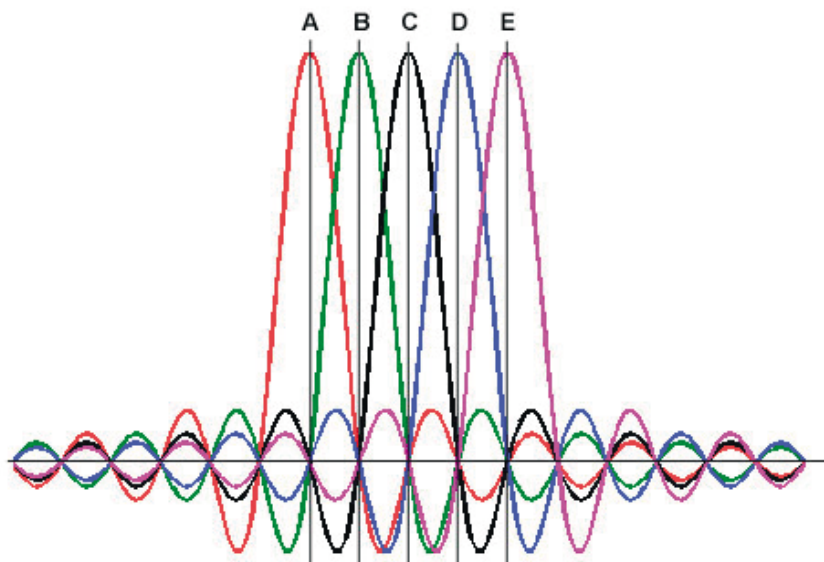
Richiamiamo ora la proprietà di ortogonalità nel dominio della frequenza, così da determinare il valore della separazione in frequenza da imporre alle portanti OFDM. Siano  $f_i$  e  $f_j$  ( $i \neq j$ ) due frequenze e  $T$  la durata dell'impulso rettangolare nel canale parallelo: perché i due toni armonici relativi risultino ortogonali occorre che sia nullo il coefficiente di ortogonalità:

$$\gamma_{ij} = \int_0^{\Delta T} e^{j2\pi f_i t} \left( e^{j2\pi f_j t} \right) dt = \frac{\sin \pi \Delta f T}{\pi \Delta f} e^{j\pi \Delta f T} \tag{1}$$

Pertanto, se  $\Delta f = f_j - f_i$  risulta pari a  $n/T$ , con  $n$  intero non nullo, allora,  $\gamma_{ij} = 0$  e la coppia di oscillazioni armoniche è ortogonale. Come si vede, l'ortogonalità nel dominio delle frequenze può essere ottenuta per un numero arbitrario di segnali. Inoltre, al fine di massimizzare l'efficienza spettrale del segnale OFDM occorre scegliere le frequenze  $f_i, f_j$  in modo che oscillazioni adiacenti siano quanto più vicine possibile, e ciò implica  $n = 1$ , ossia  $\Delta f = 1/T$ . L'occupazione spettrale che ne deriva è mostrata nella *Figura B.12* (si ricordi che la funzione "sinc" è l'andamento associato nel dominio delle frequenze ad un impulso rettangolare nel dominio dei tempi). Poiché nell'OFDM,  $R = M/T$ , la separazione in frequenza (ossia anche la larghezza del singolo canale a radiofrequenza) risulta legata al valore di ritmo binario del flusso di sorgente come segue:

$$\Delta f = R/M. \tag{2}$$

Nel caso dell'esempio precedente di segnale con  $R = 10$  Mbit/s e  $M = 50$  canali OFDM, la larghezza del singolo canale risulta pari a  $\Delta f = 200$  kHz.



*Figura B.12 - Spettro di ampiezza del segnale OFDM (insieme di funzioni "sinc").*

B.5.2. ASPETTI REALIZZATIVI

Come si è visto, l'OFDM è una tecnica di modulazione che elabora il flusso binario di sorgente in modo da ottenere un segnale a radiofrequenza che combina l'ortogonalità nel tempo e l'ortogonalità in frequenza. L'ortogonalità in frequenza si realizza suddividendo il flusso binario della sorgente in  $M$  segnali collocati in canali paralleli, ciascuno di larghezza  $\Delta f$ . L'ortogonalità nel tempo in ogni canale è ottenuta semplicemente in virtù della scelta di simboli rettangolari e, quindi, di durata finita  $T$ . Tale modo di procedere lascia inoltre libertà nella scelta della tecnica di modulazione da impiegare in ciascun canale in parallelo, e, come si è detto, vengono tipicamente usate sia le modulazioni della famiglia del Phase Shift Keying (PSK), che quelle della famiglia del Quadrature Amplitude Modulation (QAM).

Poiché un sistema OFDM suddivide il flusso dati in  $M$  flussi dati in parallelo (ciascuno avente ritmo binario ridotto di  $M$  volte rispetto al valore di sorgente) ad ogni flusso viene associata un'unica portante a radiofrequenza. Così facendo, specialmente nei casi di numerosissime frequenze portanti (nell'esempio erano 100), si dovrebbe affrontare una notevole complessità implementativa del modulatore che però può essere evitata ricorrendo alla trasformata inversa di Fourier veloce, IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) in sostituzione del banco di oscillatori, per ottenere la forma d'onda da trasmettere direttamente nel dominio del tempo. Dualmente si opera in demodulazione per mezzo della FFT (*Fast Fourier Transform*).

Una fondamentale caratteristica dell'OFDM è che la realizzazione del modem non richiede oscillatori né integratori grazie alla disponibilità di circuiti digitali che implementano la FFT come blocco funzionale elementare a sé stante.

La *Figura B.13* riporta la sequenza delle operazioni associate ad un completo sistema di trasmissione OFDM.

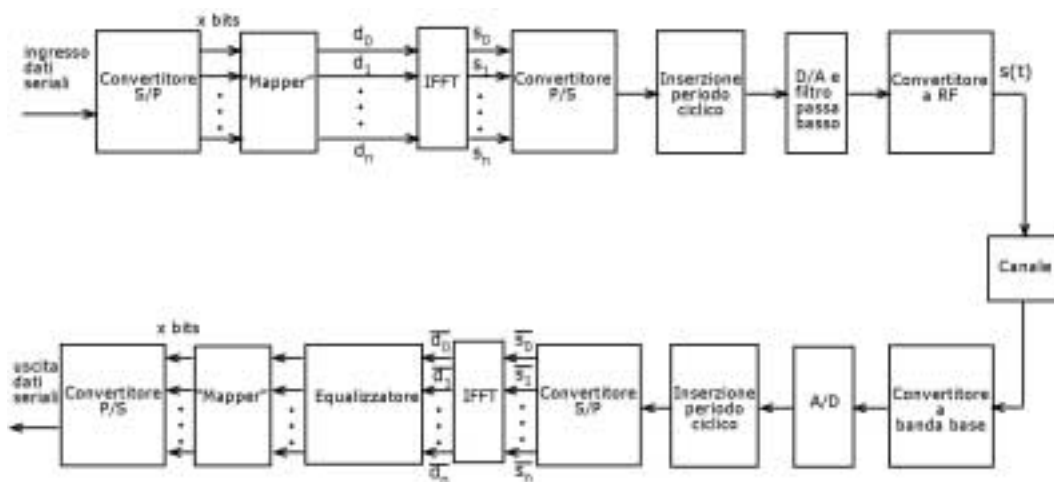
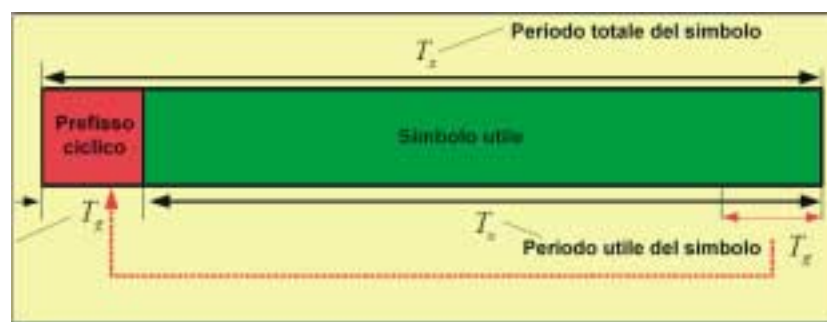


Figura B.13 - Sistema di trasmissione OFDM completo.

Nel lato emissione dello schema a blocchi, all'uscita della sorgente numerica un convertitore serie/parallelo (S/P) distribuisce il flusso binario su  $M$  canali; segue il "mapper", ossia il blocco che su ciascun canale opera l'associazione del simbolo di trasmissione (equivalente in banda base) ad una opportuna sequenza di  $K$  cifre binarie, con  $K = \log_2 M_s$ ; il successivo banco IFFT ha il compito di associare il simbolo a radiofrequenza su ogni canale, svolgendo la funzione del banco di modulatori armonici di *Figura B.13*. Essendo ortogonali i flussi sui canali paralleli, è possibile tramite convertitore parallelo/serie (P/S) riportarli tutti sulla medesima linea fisica; opzionalmente, potrà essere introdotto un intervallo di guardia tra blocchi di  $M$  simboli successivi (in cui inserire il prefisso ciclico di cui si dirà tra breve), prima di procedere con la conversione digitale/analogica (D/A), si ha il filtraggio passa-banda e la conversione di frequenza che ha lo scopo di trasportare il segnale completo nella banda a radiofrequenza ad esso allocata.

Lato ricezione si operano le funzioni duali; dopo la conversione in discesa si ha la conversione A/D (analogica/digitale): segue il recupero del tempo di guardia, la conversione serie/parallelo (S/P), il banco per la FFT, l'equalizzazione e l'associazione dei bit ai simboli ("demapper") e, infine, la conversione serie/parallelo che recupera le cifre binarie.

La riduzione di ritmo binario operata con la suddivisione del flusso di sorgente nei canali paralleli determina una corrispondente espansione della durata del simbolo di trasmissione. A tale espansione è associata l'accresciuta robustezza del segnale OFDM rispetto al delay spread del canale di trasmissione. In aggiunta, l'introduzione di un prefisso ciclico (CP) può eliminare completamente l'Interferenza Inter-Simbolo (ISI), purché la durata del CP sia maggiore del delay spread del canale. Il prefisso ciclico consiste tipicamente in una ripetizione dell'ultima porzione di segnale che viene collocata all'inizio del successivo blocco di dati come mostrato nella *Figura B.14*.



*Figura B.14 - Prefisso ciclico.*

Si ha il vantaggio che l'equalizzazione risulta semplice in quanto nella modulazione multiportante, in virtù della suddivisione del canale a banda larga in numerose sottobande strette, la risposta in frequenza entro ciascuna sottobanda è relativamente piatta. In questo modo si può supportare un valore anche molto alto di ritmo di trasmissione totale mantenendo grande la durata dei simboli, che risulta di regola molto maggiore della memoria del canale.

# Appendice C - Tecniche di accesso al canale wireless

## C.1. GENERALITÀ SULL'ACCESSO AL CANALE WIRELESS

Nei moderni sistemi wireless diverse sono le tecnologie impiegate per l'accesso e per la condivisione del mezzo fisico da parte degli utenti. Nella tradizionale classificazione OSI (*open systems interconnection*) la risoluzione delle problematiche relative è delegata allo strato di livello 2 (*OSI layer 2*) anche detto strato di collegamento (*data link layer*), che spesso viene suddiviso in due sottostrati [72]:

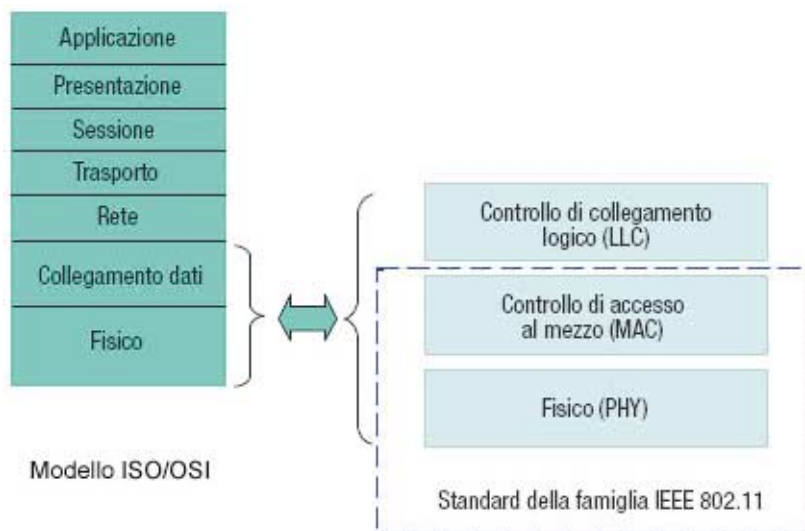
- sottostrato di controllo di accesso al mezzo, MAC (*medium access control*): è il livello inferiore,<sup>19</sup> posto all'interfaccia con il sottostante strato fisico (PHY). Esso include la funzione di indirizzamento e i meccanismi di controllo di condivisione dell'accesso al mezzo, che consentono a più terminali di comunicare all'interno della rete;
- sottostrato di controllo dei collegamenti logici, LLC (*logical link control*): è il sottostrato superiore, posto all'interfaccia con il sovrastante strato di rete, che include le funzioni di:
  - moltiplicazione dei protocolli trasmessi dal livello MAC e demoltiplicazione dei protocolli ricevuti a livello MAC;
  - controllo di flusso, rivelazione e ritrasmissione dei pacchetti persi (funzioni opzionali).

Nel seguito dell'Appendice verrà posta attenzione prevalente sulle funzionalità MAC presenti negli standard wireless della famiglia definita dal IEEE Project 802.

Lo strato MAC fornisce un meccanismo di indirizzamento tramite un indirizzo (*MAC address*), un numero di serie unico assegnato a ciascun adattatore di rete, che rende possibile la consegna del pacchetto dati alla destinazione entro una sottorete (rete fisica non provvista di *router*, come nel caso di una rete Ethernet). Particolarmente importante è la funzione di accesso multiplo residente nello strato MAC che assicura i protocolli e i meccanismi di controllo per l'accesso al canale, consentendo ai numerosi nodi di usarlo in compartecipazione.

<sup>19</sup> Per semplicità di linguaggio nel seguito ci si riferirà ad esso come lo "strato MAC" e analogamente si farà per lo "strato LLC" che segue.

La *Figura C.1* mostra gli strati protocollari di interesse negli standard wireless della famiglia IEEE Project 802.



*Figura C.1- Strati protocollari.*

I protocolli MAC utilizzati nelle comunicazioni wireless si dividono in due categorie, i protocolli a controllo distribuito e quelli a controllo centralizzato [73], come riportato in *Figura C.2*:

- **protocolli MAC a controllo distribuito:** salvo poche eccezioni (ad es. il ben noto Aloha) questi protocolli si basano su concetti di rivelazione della presenza di una portante radio e di tecniche per evitare la collisione; è dunque compito di ciascun nodo della rete rivelare ed evitare i possibili conflitti di accesso al mezzo wireless;
- **protocolli MAC a controllo centralizzato:** in questi casi si ha sempre un nodo (di regola la porta d'accesso o la stazione base) che svolge il compito di regolatore dell'accesso per tutti i nodi; si assume implicitamente perciò che tutti i nodi siano in grado di colloquiare con la porta di accesso e, spesso, anche che tutte le comunicazioni transitino attraverso essa.

Nei protocolli ad accesso casuale (*random access*) al mezzo, i nodi competono nell'accesso. Sebbene sia la strategia solitamente impiegata nell'accesso a controllo distribuito, l'accesso casuale trova talvolta impiego anche nelle configurazioni di reti wireless dotate di controllore centrale. Nell'accesso casuale un pacchetto è consegnato con successo se il nodo che trasmette è l'unico ad accedere al canale in quel momento.

Nel caso dell'accesso garantito, invece, i nodi accedono al canale in modo ordinato: vi sono varie modalità per regolamentare l'accesso, sia attraverso lo scambio di opportuni *token*, sia attraverso un'operazione di *polling* da parte dell'unità centrale (interrogazione

ciclica di tutti i nodi) sia, infine, con un ordinamento temporale preordinato ed eventualmente riconfigurabile dalla stazione centrale.

Infine vi sono anche protocolli ibridi in cui la risorsa viene assegnata dalla stazione a seguito di una richiesta fatta con accesso random dal nodo che informa della durata e della banda necessaria; a ciò segue la autorizzazione del controllore centrale che assegna anche l'intervallo temporale che può essere impiegato.

Poiché esula dagli scopi di questa Appendice fornire un quadro esaustivo delle tecniche di accesso al mezzo, per cui esistono numerosi eccellenti riferimenti in letteratura (si può consultare ad es. [73]), nel seguito si esaminano soltanto le due tecniche di accesso distribuito previsto da IEEE 802.11 e di accesso coordinato previsto da IEEE 802.16.

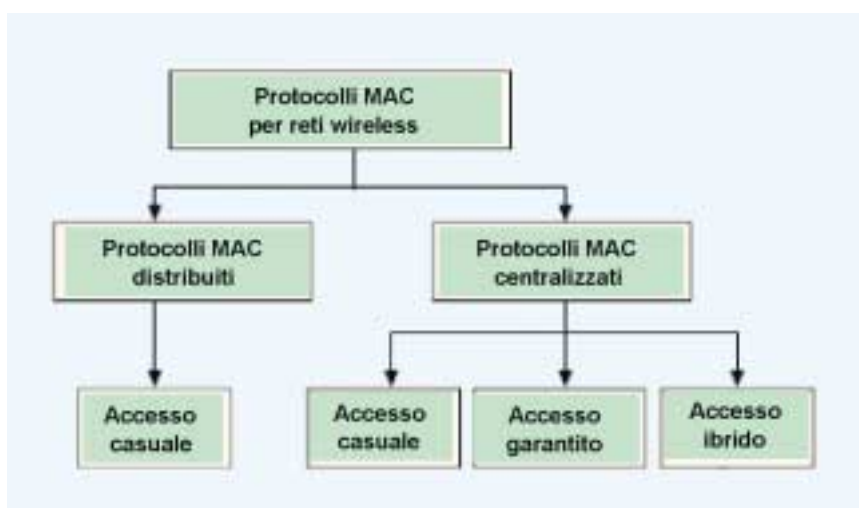


Figura C.2 - Tassonomia dei protocolli MAC.

## C.2. CONTROLLO DISTRIBUITO DELL'ACCESSO MULTIPLO NELLE RETI WIRELESS

Quando in una rete wireless si adotta la gestione distribuita del traffico tra i terminali, di regola ci si basa sulla tecnica di accesso al canale denominata CSMA (*carrier sense multiple access*). L'impiego di tale disciplina svincola dalla necessità di adottare un controllore centrale per autorizzare il flusso ordinato e privo di interferenze. L'idea alla base del protocollo CSMA è che occorra ascoltare il canale prima di effettuare la trasmissione, per accertare che esso non sia già impegnato. Qualora nessun altro terminale trasmetta, è possibile inviare un pacchetto o un treno di pacchetti; in caso contrario, occorre attendere che la trasmissione del terminale attivo termini. Al fine di evitare collisioni sistematiche tra i terminali in attesa, è inoltre previsto che intercorra un tempo di ritardo casuale (*random delay*) tra la fine della trasmissione precedente e l'inizio di una nuova trasmissione. Il meccanismo CSMA è equiripartito, in quanto assicura che in media ogni stazione abbia a disposizione la medesima quantità di risorsa banda-tempo.

L'accesso al canale adottato nelle reti cablate a standard Ethernet, a cui ha inteso rifarsi lo standard IEEE 802.11, prende il nome di CSMA/CD (*CSMA/collision detection*), in quanto, attraverso il continuo monitoraggio dell'attività sul cavo, ogni terminale è in grado di rivelare le collisioni ripetendo, se necessario, la trasmissione. Infatti, poiché sul cavo un terminale ha la possibilità di ascoltare mentre trasmette, esso può rendersi conto se altre stazioni stanno trasmettendo nello stesso istante, anche perché nelle reti cablate di regola i ritardi sono trascurabili e, quindi, le trasmissioni possono agli effetti pratici ritenersi istantanee.

Lo stesso protocollo CSMA/CD non può però essere adottato senza modifiche nei canali wireless ove una sola antenna viene adoperata sia per trasmettere che per ricevere nella stessa banda (e le due funzioni in antenna sono separate attraverso un "diplexer", ossia un interruttore a radiofrequenza). Non può quindi attuarsi il continuo monitoraggio dell'attività nel canale, alla base del CSMA/CD.

### C.2.1. CARATTERISTICHE DEL PROTOCOLLO CSMA/CA

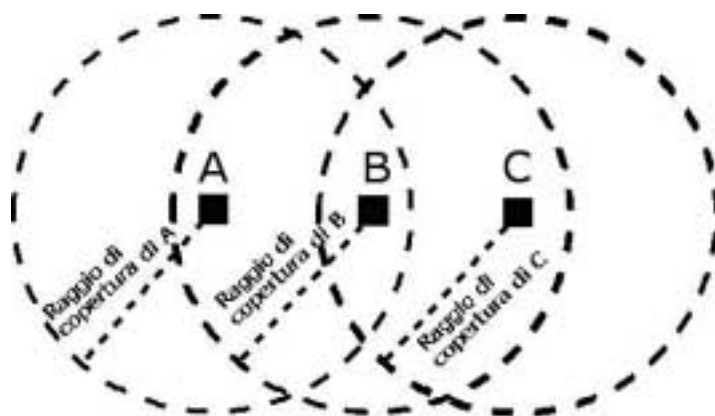
Nel canale wireless il nodo trasmittente che deve emettere un pacchetto, prima si mette in ascolto del canale per determinare se questo è libero o occupato, proprio come prescrive il CSMA. Se il canale è occupato, il terminale attende a trasmettere proprio per evitare la collisione tra pacchetti; se, viceversa, il canale è libero il terminale inizia a trasmettere immediatamente. Ovviamente questo meccanismo da solo non previene del tutto le collisioni. D'altra parte, poiché i terminali non sono in grado di ricevere e trasmettere simultaneamente, essi non hanno modo di rendersi conto se sta avvenendo una collisione. Pertanto di regola si associano al CSMA altri meccanismi di controllo con l'obiettivo di evitare le collisioni, da cui discende la denominazione CSMA/CA (*CSMA/collision avoidance*) per questi protocolli.

Nei sistemi IEEE 802.11b [74] il CSMA/CA è attuato attraverso la tecnica del riscontro positivo (*positive ACK*) e della ritrasmissione a livello MAC che consiste nella seguente procedura. Appena un terminale termina di ricevere un pacchetto, invia un ACK di conferma, prima che incominci, per tutti gli altri terminali, il previsto tempo casuale di attesa. Se la stazione che ha inviato il pacchetto non riceve l'ACK, rileva un'interferenza e ritrasmette immediatamente il pacchetto, in quanto esso viene considerato perso. Il protocollo, fra l'altro, assicura comunque l'inoltro in sequenza dei pacchetti, indipendentemente se trasmessi una volta sola o ritrasmessi. Questo è necessario perché la probabilità di errore è molto più alta nelle trasmissioni wireless rispetto alle trasmissioni su cavo, e se i pacchetti fuori sequenza, o sequenze di pacchetti con omissioni, fossero passati direttamente al livello di trasporto (ossia, in pratica, al protocollo TCP che si trova subito al di sopra dello strato di rete), le prestazioni sarebbero fortemente penalizzate poiché TCP richiederebbe la ritrasmissione di un gran numero di pacchetti. Inoltre in presenza di un mezzo con molti errori è conveniente trasmettere (e ritrasmettere) pacchetti di piccole dimensioni. Questo modo di operare ha due vantaggi: se il pacchetto è piccolo è più facile che arrivi a destinazione intatto; viceversa, se il pacchetto non arriva, la ritrasmissione è più

rapida. D'altra parte la frammentazione in piccoli pacchetti richiede di ripetere su ognuno gli *header* del MAC e quindi si riduce il *throughput* della trasmissione.

Tuttavia, nonostante la denominazione, la tecnica CSMA/CA non può garantire la totale assenza di collisioni al terminale ricevente. Si hanno due fenomeni noti rispettivamente come problema del nodo nascosto (*hidden node*) e problema del nodo esposto (*exposed node*). Per effetto dell'attenuazione di percorso (*path loss*), la potenza di segnale misurata in due posizioni differenti può infatti essere molto diversa. Vediamo di comprendere i due problemi con l'aiuto della *Figura C.3*:

- *Nodo nascosto*: un nodo nascosto C è un nodo che si trova nel raggio di copertura del nodo di destinazione (nodo B in *Figura C.3*) ma fuori copertura per il nodo sorgente A; in altri termini, i nodi A e C non possono rivelarsi a vicenda, essendo reciprocamente fuori portata, e pertanto le rispettive trasmissioni possono collidere al nodo B. In tal caso il nodo C viene detto nodo nascosto per il nodo A (e viceversa).
- *Nodo esposto*: è il problema duale di quello del nodo nascosto che abbiamo appena esaminato. Un problema di nodo esposto risulta in situazioni in cui una trasmissione sarebbe ammessa, ma viene ritardata a causa dell'ascolto di una trasmissione che però non può interferire a destinazione (con conseguente perdita di capacità di trasmissione nella rete). Nella figura il nodo B intende trasmettere al nodo A ma rinvia la trasmissione se è attivo il nodo C che non può essere ascoltato dal nodo A. In questo caso il nodo C è un nodo esposto al nodo B.



*Figura C.3 - Geometria dei problemi del nodo nascosto e del nodo esposto nelle reti wireless.*

Il problema del nodo nascosto in una rete a controllo distribuito determina collisioni inevitabili e quindi riduzione di throughput nel canale a causa delle ritrasmissioni. Per ridurre l'impatto sul sistema di questo problema si possono adottare specifici accorgimenti, alcuni dei quali sono inclusi nella struttura del MAC del sistema IEEE 802.11.

### C.2.2. IMPLEMENTAZIONE DEL PROTOCOLLO CSMA/CA NELLO STANDARD IEEE 802.11

La componente fondamentale del protocollo MAC che attua la tecnica CSMA/CA nello standard IEEE 802.11 è il DCF (*distributed coordination function*). Le stazioni inviano pacchetti dati, detti MSDU (*MAC service data units*) di lunghezza arbitraria, fino a 2304 Byte, dopo aver rivelato l'assenza di altre trasmissioni in corso nel canale. Come previsto dal meccanismo CA, in ogni caso, quando il canale si libera e prima di iniziare la trasmissione, la stazione effettua una procedura, detta di *back-off*. La stazione rimane in ascolto, verificando che il canale rimanga libero, per un intervallo di tempo casuale (*back-off*) pari, al minimo, ad un tempo DIFS (*distributed inter-frame space*); inizia quindi una fase di contesa per l'utilizzo del mezzo, per la quale è prevista un'opportuna finestra temporale, CW (*contention window*), all'interno della trama MAC. L'intervallo di *back-off* ha lo scopo di ridurre la probabilità di collisione, quando, alla fine di una trasmissione, si presume che numerose stazioni possano essere in attesa che il canale si liberi. A seguito di ogni ricezione con successo di una trama, la stazione ricevente invia immediatamente un messaggio di riscontro, o ACK (*acknowledgement frame*). La dimensione della CW aumenta quando una trasmissione non va a buon fine (ossia se non viene ricevuto l'ACK). Dopo ogni tentativo di trasmissione fallito, si esegue un altro *back-off* con dimensione doppia della CW; questo riduce la probabilità di collisione nel caso in cui siano presenti molteplici stazioni che cercano di accedere al canale, ossia nel caso di carico elevato della rete.

La durata del tempo casuale della CW si determina come multiplo di una data finestra temporale, o ST (*slot time*). Ciascuna stazione gestisce autonomamente la finestra di contesa che viene usata per determinare il numero di ST che la stazione deve lasciare trascorrere prima di trasmettere (*Figura C.4*). Se la stazione, in attesa che termini il tempo di *back-off*, sente che il mezzo non è più libero, congela il tempo di *back-off* residuo; quando poi rivela che il canale è tornato ad essere libero per un tempo pari a un DIFS, non sceglie un nuovo intervallo di attesa, ma termina il precedente. In questo modo le stazioni che hanno rinviato l'accesso perché il loro tempo di *back-off* era più grande di quello di altre stazioni hanno priorità maggiore al riprendere dei tentativi di trasmissione. Dopo ogni tentativo riuscito, viceversa, viene generato un nuovo *back-off* casuale (anche se non è in attesa un altro MSDU da inviare); questo viene detto "*post-backoff*", essendo eseguito dopo e non prima di una trasmissione.

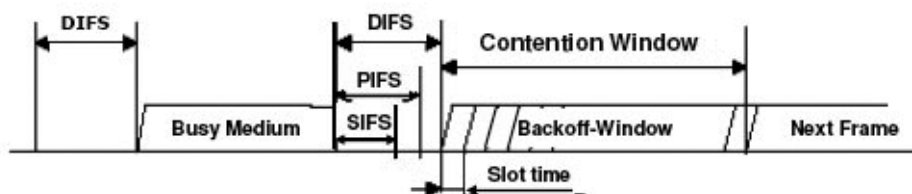


Figura C.4 - Procedura di accesso al canale.

C'è una situazione in cui alla stazione non è richiesto di eseguire il *back-off* casuale prima di iniziare la trasmissione dati. Un MSDU che giunge al MAC dallo strato superiore può essere trasmesso immediatamente senza attendere se l'ultimo "*post-backoff*" è già finito, ossia se la coda è vuota e il canale si è rivelato libero per un tempo minimo pari a DIFS. Tutti i successivi MSDU dopo questo devono essere trasmessi avendo atteso il *back-off* casuale finché la coda di trasmissione non è nuovamente vuota.

Per limitare la probabilità che lunghe trame possano collidere ed essere trasmesse più di una volta, le trame dati possono essere frammentate. Così facendo un lungo MSDU può essere diviso in numerose trame dati più piccole, dette frammenti, che possono essere trasmessi sequenzialmente, come trame dati soggette individualmente ad ACK. I benefici della frammentazione, in caso di trasmissione fallita, sono che l'errore viene rivelato prima e che il pacchetto da ritrasmettere è più breve; l'ovvia penalità consiste nell'aumento del *overhead*.

D'altra parte il meccanismo di *back-off* non esclude la possibilità di trasmissioni simultanee, e quindi non può evitare le collisioni. Per ridurre il problema del nodo nascosto, lo standard prevede un protocollo opzionale, detto di RTS/CTS. Quando una stazione trova libero il canale allo scadere del tempo di *back-off*, invece di inviare subito il pacchetto dati, può trasmettere un breve messaggio RTS (*request to send*) e rimanere in attesa che il terminale ricevente risponda con un CTS (*clear to send*) prima di inviare il proprio pacchetto dati. Se, poi, riceve dal destinatario il breve messaggio CTS allora procede all'invio del *frame*, altrimenti suppone che si sia verificata una collisione e si rimette in attesa per riprovare in seguito.

Conviene osservare che, quando la stazione ricevente invia un CTS, tutti i nodi presenti nel suo raggio di copertura lo ricevono; evidentemente, quelli che non hanno inviato il pacchetto RTS per evitare collisioni rimarranno inattivi per un tempo sufficiente (i pacchetti RTS/CTS contengono l'informazione di lunghezza del pacchetto dati, che consente ai nodi una stima del tempo di attesa necessario). In questo modo teoricamente le collisioni possono avvenire solo per i pacchetti RTS, che sono molto piccoli e quindi non molto tempo è perso. D'altra parte l'*overhead* del meccanismo RTS/CTS determina la diminuzione del throughput totale di rete. Il meccanismo RTS/CTS è mostrato in *Figura C.5*.

Per evitare che durante i messaggi di protocollo si entri nuovamente in una *contention window*, il tempo di attesa per i messaggi di risposta e per l'invio dei dati dopo il CTS è più corto del DIFS; tale tempo è detto SIFS (*short inter-frame space*).

Un vantaggio del meccanismo RTS/CTS è che, mentre con la frammentazione si trasmettono numerosi ACK, tramite esso il MSDU può essere trasmesso efficientemente in una sola trama dati. D'altra parte l'impiego del protocollo RTS/CTS ha due controindicazioni: innanzi tutto, se il pacchetto di dati è corto, l'*overhead* introdotto può essere eccessivo; inoltre, esso non è applicabile nel caso dei pacchetti *multicast* e *broadcast* (in quanto più di una stazione potrebbe rispondere al RTS). Esiste pertanto la possibilità (obbligatoria per pacchetti al di sotto di una certa dimensione definibile a priori) di effettuare la

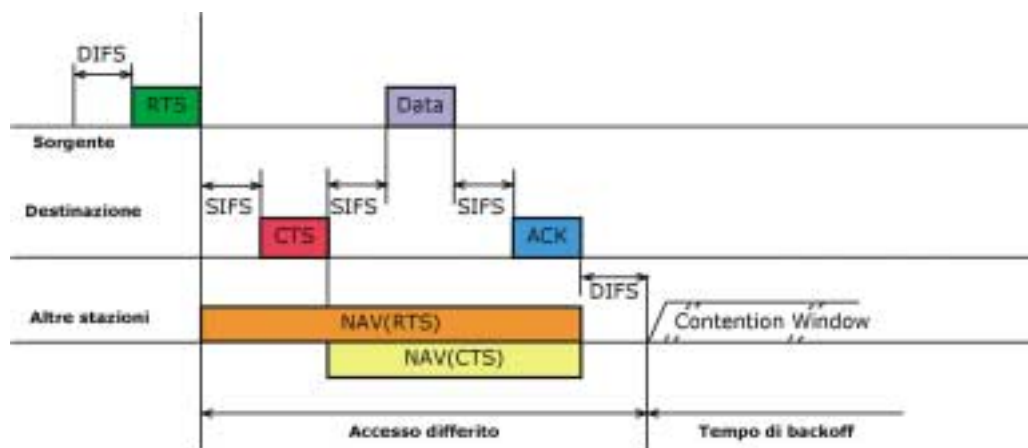


Figura C.5 - Diagramma temporale per la trasmissione CSMA/CA nell'implementazione dello standard IEEE 802.11b.

trasmissione dei dati immediatamente allo scadere del tempo di back-off, se il mezzo è ancora libero. Naturalmente così facendo è possibile che una collisione impedisca la corretta trasmissione dei dati: nel caso di pacchetti indirizzati ad un singolo nodo il messaggio di ACK segnalerà al mittente l'avvenuta ricezione, mentre per i pacchetti *multicast* e *broadcast* non c'è modo di sapere se la trasmissione è andata a buon fine per tutti i destinatari.

Se la stazione trasmittente non riceve l'ACK entro un tempo limite, ritrasmette il *frame* dopo aver partecipato nuovamente alla contesa del canale. La mancata ricezione del pacchetto di ACK, tuttavia, non esclude che il *frame* di dati sia arrivato correttamente, e ciò determina inevitabili duplicazioni: pertanto, ogni *frame* ritrasmesso ha impostato un opportuno bit (*retry bit*) sulla base del quale l'eventuale ricezione di *frame* duplicati viene controllata e, eventualmente, il doppio viene scartato.

Lo standard IEEE 802.11b prevede trasmissioni ad un valore massimo di ritmo binario di 11 Mbit/s: per quanto si è visto non è difficile rendersi conto che il *throughput* effettivo a livello IP può essere al più di circa 6 Mbit/s. Ovviamente questa banda è condivisa tra tutti i terminali presenti in una zona poiché solo uno può trasmettere in un dato istante. Quindi se sono presenti più di due terminali la banda effettiva a disposizione di ognuno di essi nel caso in cui tutti debbano trasmettere può essere di molto inferiore, nel caso peggiore sino a  $6/n$  Mbit/s con  $n$  terminali. Spesso la banda effettivamente disponibile si aggira intorno ai 3 Mbit/s, come per una rete Ethernet a 10 MHz.

### C.2.3. COORDINAMENTO CENTRALIZZATO NELLE RETI IEEE 802.11

In alternativa al controllo distribuito nelle reti wireless il MAC può anche essere realizzato nell'ottica di un coordinamento centralizzato o puntuale della rete. In effetti, il MAC dello standard IEEE 802.11 prevede anche una funzione opzionale PCF (*point coordination function*), che può essere attuata in aggiunta al protocollo DCF di cui si è detto.

Essa però può essere gestita solo da alcune stazioni dette PC (*point coordinator*), come ad esempio gli AP (*access point*) delle reti infrastrutturate. Una stazione PC non è in grado di sovrapporsi con un'altra stazione PC sul medesimo canale trasmissivo. La PCF usa una struttura a Supertrama, SF (*superframe*), dove si alternano il periodo di contesa, in cui è attiva la DCF, e il periodo senza contesa (*contention free*), in cui è attiva la PCF (Figura C.6). La lunghezza della Supertrama è un parametro che può dipendere dai servizi supportati e dallo strato fisico prescelto. La massima durata del periodo senza contesa è pari alla lunghezza della Supertrama meno la lunghezza minima del tempo di contesa (*contention period*), che è pari a quella massima di un *frame*. La PCF coesiste con la DCF disabilitandola temporaneamente grazie ad una scelta opportuna dei tempi per cui si deve attendere che il mezzo sia libero per poter trasmettere.

Il PC dà inizio al periodo di trasmissione senza contesa. Il traffico diretto dal PC ad una stazione associata viene detto *CF-Down* mentre il traffico in direzione opposta viene detto *CF-Up*. Il PC dispone di un accesso prioritario al mezzo trasmissivo. Infatti, all'inizio della Supertrama, prima di iniziare una trasmissione *CF-Down*, attende che il mezzo sia libero per un periodo pari a un PIFS (*priority inter frame space*) mostrato in Fig. C.6, che è più grande di un SIFS ma minore del DIFS: in tale maniera il PC anticipa la normale trasmissione delle stazioni.

Il PC coordina l'accesso al mezzo mediante il *polling*, mantenendo una tabella di quante stazioni ad esso associate hanno fatto richiesta del servizio senza contesa. Per ognuna di esse esegue un'interrogazione ed attende la trasmissione, che deve avvenire dopo un SIFS, altrimenti il PC interroga un'altra stazione. Quando una stazione non trasmette per un lungo periodo viene cancellata dalla tabella. Nel periodo senza contesa non vi sono *frame* di ACK. Il riscontro è trasmesso nel successivo *frame* per mezzo di un bit opportuno.

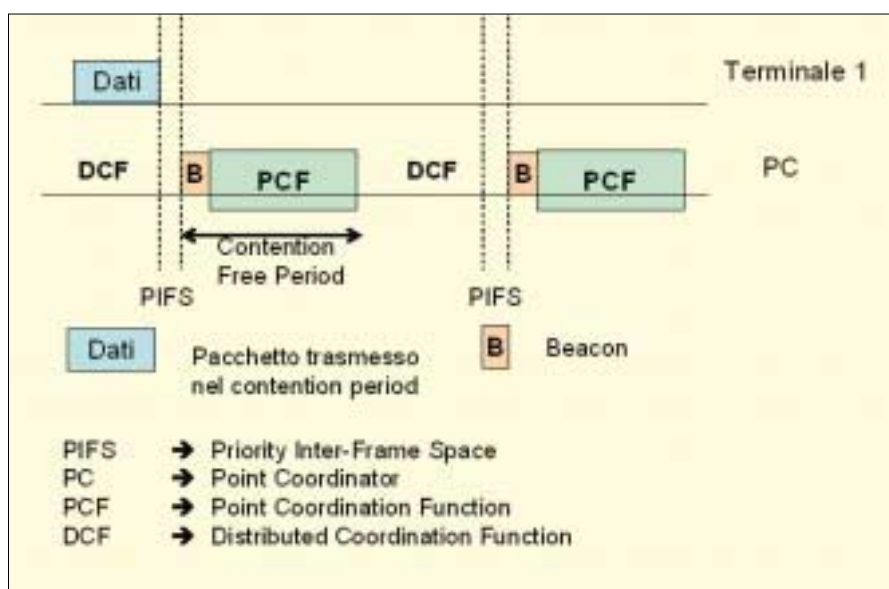


Figura C.6 - Esempio di funzionamento in modalità distribuita (DCF) e centralizzata (PCF) nel IEEE 802.11

#### C.2.4. ARCHITETTURA MAC PER IL SUPPORTO DELLA QUALITÀ DI SERVIZIO

Come abbiamo visto, nella sua versione base il MAC dello standard IEEE 802.11 fa uso della funzione DCF per la condivisione del mezzo radio tra i terminali: il DCF si basa sull'accesso a contesa CSMA/CA con il meccanismo opzionale di RTS/CTS per ridurre la probabilità di collisione. Tra le numerose limitazioni di tale approccio si hanno: l'alta probabilità di collisione in presenza di numerosi terminali attivi; l'utilizzo della banda tendenzialmente equiripartito, che male si concilia con i differenti requisiti di banda delle diverse applicazioni multimediali; la possibilità di accesso al mezzo per un tempo anche lungo da parte di terminali a bassa velocità che può penalizzare tutti gli altri terminali in attesa. In poche parole, tale approccio non fornisce garanzie di qualità di servizio (QoS), e neppure vengono prefissate classi di QoS per le tipologie di traffico a differente priorità. D'altra parte la stessa modalità PCF che prevede una forma di coordinamento da parte dell'AP, oltre ad essere opzionale e poco impiegata, non consente comunque la definizione di classi di QoS.

Una soluzione al problema del QoS nel wireless è offerta dallo standard IEEE 802.11e [75] che aggiunge le funzionalità di QoS e di supporto ai servizi multimediali agli standard preesistenti IEEE 802.11a/b/g mantenendo la piena compatibilità all'indietro con essi.

Alla base dello standard IEEE 802.11e è perciò stata posta la funzionalità HCF (*hybrid coordination function*), che ha lo scopo di assicurare il supporto per la QoS. HCF presenta due meccanismi di accesso al mezzo: EDCA (*enhanced distributed channel access*) e HCCA (*HCF controlled channel access*). EDCA viene usato per l'accesso a contesa e HCCA per l'accesso senza contesa controllato dall'AP (*Figura C.7*). Le code dei pacchetti da trasmettere vengono differenziate a seconda dell'appartenenza a definite *Access Category*. Queste sono caratterizzate da tempi di accesso al servizio differenti, in modo da garantire differenti livelli di priorità. Normalmente i servizi che richiedono minori ritardi di trasmissione, tipicamente servizi in real-time (VoIP, videoconferenze, etc.), sono associati a livelli di priorità più elevati. Al contrario il traffico *best effort* (ossia web browsing e FTP) viene associato ad una priorità inferiore. La possibilità di aggiornare questi parametri durante la trasmissione permette di adattare la rete allo stato di congestione, garantendo una migliore QoS e il comportamento equo (*fairness*) della rete. Alla base di questa modalità operativa c'è la necessità da parte dei terminali di informare l'AP del tipo di traffico che si propongono di generare.

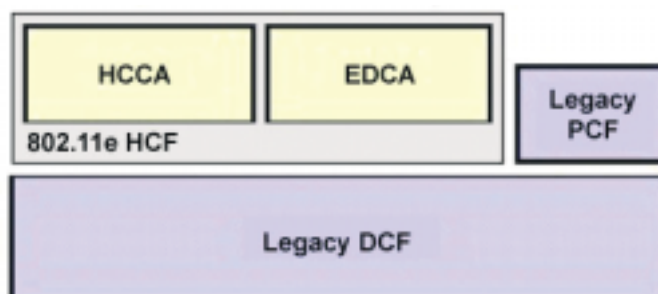


Figura C.7 - Struttura del MAC nello standard IEEE 802.11 e.

### C.3. CONTROLLO CENTRALIZZATO DELL'ACCESSO MULTIPLO NELLE RETI WIRELESS

Per ovviare ai problemi connessi alla difficile implementazione di meccanismi di QoS che ha incontrato lo standard IEEE 802.11, altri standard prevedono in origine l'adozione di architetture a controllo centralizzato. L'architettura MAC dello standard IEEE 802.16-2004 [75] è stato studiato in modo da assicurare le richieste di QoS di ciascuna specifica applicazione.

In questo paragrafo sono descritte in maggior dettaglio alcune caratteristiche dello strato MAC definito dallo standard IEEE 802.16-2004 relativo alla architettura di rete di tipo PMP. Poiché il protocollo Wi-MAX eredita molte delle funzionalità riportate nello standard 802.16, nel seguito si parlerà equivalentemente di protocollo MAC 802.16 o protocollo MAC del Wi-MAX.

Per garantire la qualità di servizio, il protocollo MAC del Wi-MAX adotta una strategia di richiesta e assegnazione della risorsa, attuata con accesso TDMA (*time division multiple access*) sulla tratta di comunicazione in salita (*uplink*), ossia verso la BTS, e in TDM (*time division multiplexing*) sulla tratta in discesa (*downlink*), ossia dalla BTS; inoltre un opportuno processo centralizzato di sequenziamento temporale è in grado di servire correttamente i servizi sensibili al ritardo, come la voce e il video. Ricorrendo perciò ad un accesso privo di collisioni, grazie all'impiego della strategia TDMA/TDM, si può assicurare un buon grado di compromesso tra throughput e efficienza spettrale. Inoltre il TDMA/TDM offre anche un supporto agevole ai servizi broadcast e multicast.

Con riferimento ancora alla *Figura 2.3* riportata nel Capitolo 2 del presente Quaderno il MAC del Wi-MAX è diviso in due sottostrati:

#### **a) MAC-CS (*medium access control – convergence sublayer*)**

Il compito principale del sottostrato MAC-CS è classificare le unità dati provenienti dalle reti esterne e di associarle al servizio di comunicazione specifico offerto dal sottostante sottostrato MAC comune. L'operazione di associazione definisce anche le specifiche di QoS che deve possedere la connessione Wi-MAX sulla quale vengono inviati i pacchetti ricevuti. Sono stati definiti alcuni strati CS che consentono l'interfacciamento immediato di un sistema Wi-MAX con reti basate sui protocolli Ethernet, IP e ATM. Nel caso di trasmissioni con protocollo IP sull'interfaccia radio sono state anche previste le funzionalità di soppressione dell'intestazione del pacchetto IP al fine di ridurre il sovraccarico di segnalazione.

#### **b) MAC-CPS (*medium access control – common part sublayer*)**

La parte comune dello strato di controllo al mezzo, MAC-CPS, definisce le funzionalità di base necessarie per la gestione dell'accesso al sistema Wi-MAX da parte degli utenti, le modalità di allocazione della risorsa radio, l'instaurazione, il mantenimento e l'abbattimento di ogni singola connessione. Il MAC contiene anche un sottostrato separato, destinato alla gestione di sicurezza e privacy della comunicazione sull'interfaccia radio Wi-MAX.

Come già accennato, lo strato MAC è in grado di creare e gestire canali di comunicazione bidirezionali ottenibili sia a divisione di frequenza, ossia in modalità operativa FDD (*frequency division duplex*), che a divisione di tempo, in modalità TDD (*time division duplex*). Nella modalità TDD la trasmissione nei due sensi di trasmissione avviene riutilizzando la medesima banda di frequenza in istanti di tempo diversi: per semplicità, nel seguito si analizzeranno in maggior dettaglio le caratteristiche di quest'ultima modalità operativa.

Nel Wi-MAX fisso con modalità TDD la trasmissione dei dati è organizzata in trame: ciascuna trama ha durata fissa e comprende due sottotrame consecutive, la prima usata per le trasmissioni in downlink e la seconda per le trasmissioni in uplink. Le durate delle due sottotrame possono variare in base alle esigenze di traffico. Per una gestione granulare ed efficiente della risorsa di trasmissione la trama viene suddivisa in un numero intero di finestre temporali (dette *packet slot*). Al singolo utente che desidera comunicare, la SRB assegna un certo numero di finestre temporali per un periodo di tempo definito. Il numero di finestre temporali che viene riservato a ciascun utente dipende dalla sua specifica esigenza di banda e dallo stato di occupazione della risorsa di trasmissione che è funzione del numero di utenti Wi-MAX simultaneamente attivi. Le modalità con cui le finestre temporali sono assegnate dalla SRB ai vari utenti cambiano da trama a trama: la schematizzazione di una tipica trama Wi-MAX è illustrata in *Figura C.8*.

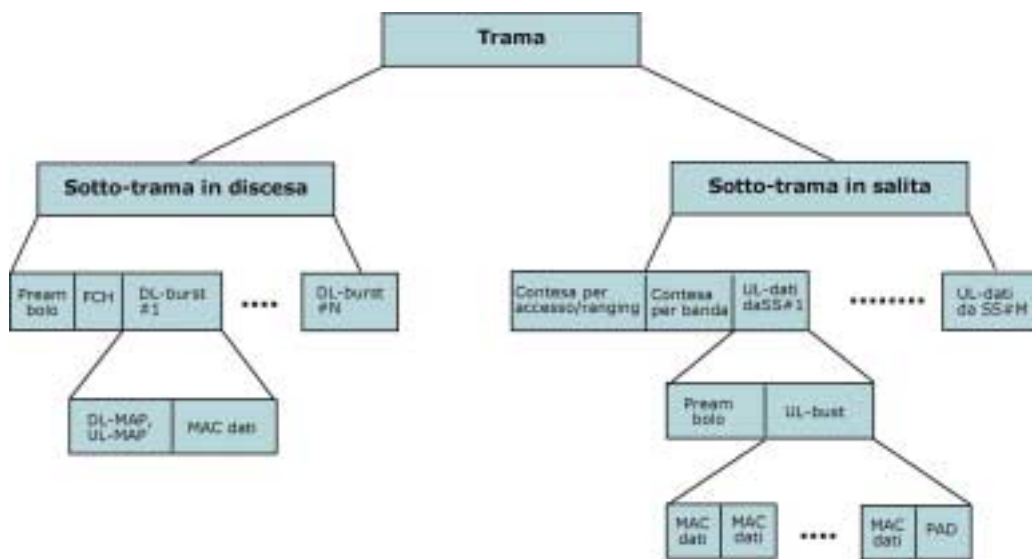


Figura C.8 - Struttura della trama TDMA/TDD nel Wi-MAX.

La sottotrama usata per le comunicazioni in discesa contiene un preambolo di sincronismo, seguito da un campo detto FCH (*frame control header*) contenente informazioni di controllo, e da un certo numero di pacchetti dati o downlink burst; il campo FCH indica l'organizzazione e la lunghezza dei burst dati che lo seguono. All'inizio della sottotrama per la comunicazione in discesa sono trasmessi due messaggi di controllo indicati come

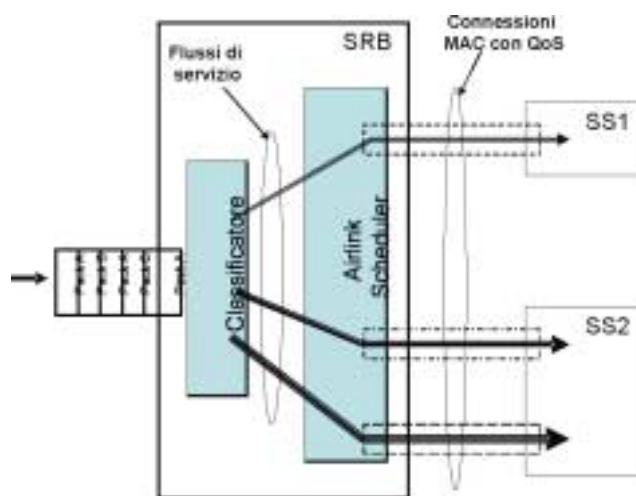
DL-MAP, UL-MAP. Tali messaggi descrivono come sono allocati tra i vari utenti i packet slot contenuti all'interno dei burst che compongono le sottotrame in salita e in discesa. Ciascun burst contiene anche i dati inviati verso uno o più utenti. Il singolo burst è sempre composto da un numero intero (eventualmente variabile) di packet slot. Le due sottotrame contengono anche canali di controllo (non indicati in figura) utilizzati per le operazioni di sincronizzazione tra SRB e terminale.

Come mostrato in *Figura C.8*, all'interno della sottotrama di uplink sono presenti alcuni intervalli di tempo in cui la risorsa radio è condivisa tra gli utenti in modalità di accesso a contesa per due scopi: effettuare le procedure di primo accesso alla rete e chiedere alla SRB l'assegnazione di risorsa di trasmissione. Infine il campo PAD contiene simboli senza significato (*dummy*) utilizzati per completare la trama qualora i dati di utente non siano sufficienti a riempirla.

Se il sistema opera nella modalità FDD le strutture di trama per le trasmissioni in salita e discesa sono del tutto simili a quella mostrata in *Figura C.8* salvo che le due trame sono trasmesse simultaneamente e su canali separati in frequenza per le operazioni in uplink e downlink.

Lo strato MAC dello standard IEEE 802.16-2004 è orientato alla connessione e di conseguenza definisce tutte le procedure per il controllo e per la gestione delle singole connessioni tra le quali: instaurazione, mantenimento e abbattimento della connessione. Altre funzionalità più specifiche sono elencate di seguito:

- **Richiesta di ripetizione della trasmissione**, ARQ (Automatic Repeat ReQuest). Quando un pacchetto risulta illeggibile, il sistema ricevente effettua una richiesta di rinvio. La richiesta di ritrasmissione può essere inviata come messaggio MAC di gestione sull'apposita connessione o, in alternativa, inviato su una connessione attiva.
- **Realizzazione di classi di servizio e gestione della qualità del servizio (QoS)**. Il meccanismo di gestione della QoS adoperato nel Wi-MAX è schematizzato in *Figura C.9* nel caso di trasmissione sulla tratta in discesa.



*Figura C.9 - Gestione della QoS nel Wi-MAX (trasmissione in discesa).*

Come mostrato in *Figura C.9* la QoS viene garantita attraverso i *flussi di servizio* che rappresentano sequenze di pacchetti unidirezionali per ciascuno dei quali è definito un insieme di parametri di qualità da rispettare. A seguito di una richiesta di trasmissione, sulla tratta in discesa o in salita, la SRB e il terminale stabiliscono dapprima una connessione. Il MAC associa la connessione ad un flusso di servizio mediante il classificatore in *Figura C.9*. È compito del processo centralizzato di sequenziamento temporale (*airlink scheduler*) gestire la trasmissione sull'interfaccia radio dei pacchetti verso i terminali rispettando i requisiti di QoS e selezionare i pacchetti di dati che devono essere trasmessi all'interno della singola trama Wi-MAX. Questo processo di selezione tiene conto della classe del servizio associata al singolo flusso di dati, dei valori dei parametri di QoS impostati e, infine, della disponibilità effettiva dei dati per la trasmissione.

I parametri più importanti che definiscono la QoS sono: il massimo rateo di traffico sostenibile, il massimo ritardo ammesso, il jitter tollerato e la policy di richiesta/trasmissione. Essi vengono associati al flusso di servizio e possono essere variati in modo dinamico sulla base delle specifiche esigenze di traffico. Le classi di servizio definite all'interno dello standard 802.16-2004, sono:

- **Unsolicited Grant Service (UGS)**: servizio per traffico in tempo reale composto da pacchetti di lunghezza fissa emessi a intervalli di tempo periodici (es. T1/E1 e Voice over IP).
- **Real-time Polling Service (rtPS)**: servizio per traffico in tempo reale con pacchetti di dati di lunghezza variabile, ad es. pacchetti di tipo video (MPEG).
- **Non-real-time Polling Service (nrtPS)**: servizio per traffico tollerante ai ritardi e composto da pacchetti con lunghezza variabile e per i quali si richiede un ritmo binario minimo di trasmissione (ad es. servizio FTP).
- **Best Effort (BE)**: servizio per flussi di dati per i quali non è specificato alcun livello minimo di servizio e che quindi possono essere gestiti sulla base delle risorse disponibili.

La particolare flessibilità dello standard IEEE802.16d nel supportare classi eterogenee di qualità di servizio deriva dalle tecniche impiegate per realizzare l'accesso multiplo al canale di trasmissione. Tra le varie possibilità si hanno le seguenti:

- OFDM-TDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing- Time Division Multiple Access*);
- OFDMA-TDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access- Time Division Multiple Access*).

Nel sistema d'accesso OFDM-TDMA, tutte le sottoportanti sono attribuite ad un dato utente per un periodo di tempo solitamente multiplo intero del periodo di simbolo OFDM. Pertanto un utente può avere disponibilità dell'intera banda ciclicamente, ossia ogni tempo di trama,  $T_F$  (allocazione statica), oppure può ricevere un numero variabile di simboli OFDM per trama in base al requisito di banda (allocazione dinamica). Secondo questo protocollo di accesso, le operazioni, da un lato, di modulazione e moltiplicazione dei flussi generati dal

terminale (che sono oggetto dell'OFDM) e, dall'altro, quella di accesso multiplo, che avviene secondo la classica disciplina della divisione di tempo (TDMA), risultano di fatto disgiunte. Il vantaggio principale di questo metodo consiste nella riduzione del consumo delle batterie del terminale per effetto della intermittenza del funzionamento. Per una maggiore flessibilità si è introdotta la disciplina OFDMA che si esamina nel seguito.

L'approccio OFDMA-TDMA permette di supportare un maggior numero di utenti con ritardo minore rispetto all'approccio OFDM-TDMA perchè è possibile assegnare non solo i time slot ma anche le frequenze di trasmissione. In tal modo si ottiene una gestione più efficiente delle risorse in funzione delle esigenze degli utenti e delle condizioni del canale. L'approccio OFDMA-TDMA ha, però, lo svantaggio dell'alto costo a causa della maggiore complessità realizzativa. Nel caso dell'OFDMA le sottoportanti sono distribuite tra gli utenti. È possibile supportare un certo numero di flussi dati per utente di ritmo binario uguale o differente (ad esempio assegnando a ciascuno un numero differente di sottoportanti). Tenuto conto delle differenti condizioni dello specifico canale di trasmissione si possono adottare diversi schemi di modulazione sulla singola sottoportante tra cui QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Si può ricorrere a due diversi metodi di allocazione delle sottoportanti; si ha:

- allocazione statica se le sottoportanti sono assegnate all'utente per tutta la durata della connessione; il metodo è semplice ma, quando una o più sottoportanti è soggetta a *fading*, la degradazione di prestazione che ne consegue può persistere anche per tempi relativamente lunghi;
- allocazione dinamica se si dispone di informazione quasi istantanea delle condizioni del canale (CSI) per ciascun utente; questo metodo, che si può attuare in svariati modi, prende il nome di DSA (*dynamic subcarrier allocation*).

Nella DSA l'informazione di CSI è usata in tempo reale per assegnare le sottoportanti più adatte ad ogni collegamento (tecnica di sottocanalizzazione), in modalità contigua o interallacciata (Figura C.10). In quest'ultimo caso, ossia nella sottocanalizzazione interallacciata, che è il più efficace in termini di guadagno di diversità, la sincronizzazione dell'intero segnale OFDMA diviene più difficile. Un'ulteriore penalizzazione della DSA consiste nella necessità di aggiuntivo carico di segnalazione (*overhead*) ogniqualvolta si debbano riassegnare le sottoportanti.

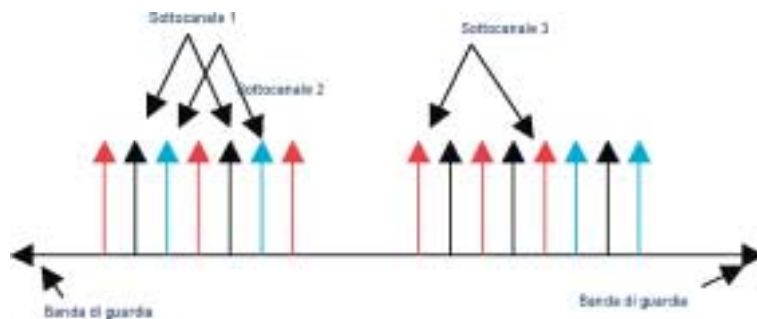


Figura C.10 - Sottocanalizzazione OFDMA.

Grazie alla sottocanalizzazione, la potenza trasmessa si concentra su un numero limitato di portanti, incrementando la potenza disponibile per singola portante e aumentando così la portata radio, ovvero contrastando le perdite di penetrazione attraverso le pareti degli edifici. Il numero e la posizione delle portanti che realizzano il sottocanale di trasmissione può cambiare su base *burst* o su base trama e ciò consente una gestione dinamica della risorsa di radiotrasmissione sia nel dominio del tempo che in quello della frequenza.

Quando non sia possibile, oppure non sia conveniente, rendere disponibile in emissione l'informazione di CSI, un'alternativa alla DSA consiste nella tecnica di salto di sottoportante o SCH (*sub-carrier hopping*) che rappresenta l'applicazione all'OFDMA del salto di frequenza. Pertanto, la tecnica SCH-OFDMA è un modo di combinare le caratteristiche dell'OFDMA con quelle dello *spread-spectrum*. Quando l'utente salta casualmente sulle sottoportanti disponibili si ha il cosiddetto RSCH-OFDMA (*random sub-carrier hopped OFDMA*): un esempio di questa tecnica è rappresentato dal cosiddetto FLASH-OFDM proposto per lo standard *in itinere* IEEE 802.20. Come di consueto per le tecniche di salto di frequenza, anche in questo si distingue tra FSCH-OFDMA (dove la prima lettera indica "Fast") e SSCH-OFDMA ("Slow"), a seconda che il salto di frequenza possa, o non possa, rispettivamente avvenire tra simboli contigui.

#### C.4. ESTENSIONI DEL MAC PER IL SUPPORTO DELLA MOBILITÀ

Le principali novità introdotte nello standard IEEE 802.16e [77] a livello di strato MAC per quanto attiene al supporto della mobilità sono:

- Estensione dei servizi multicast e broadcast del Wi-MAX sfruttando la macrodiversità;
- Aggiunta delle funzionalità per la gestione delle procedure di handover secondo differenti modalità;
- Introduzione di procedure di controllo orientate alla riduzione del consumo di potenza nei terminali mobili: *sleep mode*, *idle mode*.
- Aggiunta della classe di servizio denominata *ERT-VR Extended Real-Time Variable Rate Service* usata per supportare applicazioni di tipo real-time con ritmo binario variabile e che richiede un ritardo garantito. Un esempio è rappresentato dal VoIP con soppressione dei momenti di silenzio.

Per migliorare la qualità del collegamento durante trasmissioni di tipo broadcast o multicast, gruppi di SRB si sincronizzano tra loro e trasmettono lo stesso messaggio con gli stessi parametri di trasmissione (la rete Wi-MAX diventa di tipo Single Frequency Network - SFN). In tal caso i segnali provenienti da più stazioni secondo percorsi diversi sono ricombinati all'interno del ricevitore ottenendo così un guadagno di diversità.

Lo standard IEEE 802.16e introduce alcune funzionalità per la gestione delle procedure di handover. In particolare, sebbene lo standard non specifichi l'algoritmo di decisione per l'attuazione della procedura di handover, ogni SRB può inviare segnali di controllo utilizzabili per attuare almeno tre distinte procedure di handover:

1. La procedura tradizionale, in cui la comunicazione con la vecchia SRB è bruscamente interrotta nel momento in cui il mobile passa in carico alla nuova SRB.
2. Il soft-handover (SHO), o Macro Diversity Handover (MDHO), che consente ad un utente di ricevere e trasmettere utilizzando per un periodo limitato di tempo due o più SRB contemporaneamente. In questo caso, i segnali ricevuti o trasmessi da/verso le SRB vengono poi ricombinati per migliorare la qualità del collegamento. Nel caso di trasmissioni sulla tratta in salita, le SRB coinvolte scelgono solitamente il segnale migliore (selection diversity). Nel caso di SHO sulla tratta in discesa, le due o più SRB si sincronizzano e trasmettono lo stesso segnale al terminale mobile, che ricombina poi i segnali ricevuti ottenendo così un guadagno di diversità. La procedura di SHO termina quando il terminale mobile raggiunge una SRB in grado di garantire da sola la qualità del collegamento desiderata.
3. La modalità di handover (opzionale), indicata come *fast base station switching* (FBSS). Questo tipo di handover si attua in zone in cui la densità di SRB è piuttosto elevata e l'utente è in grado di comunicare potenzialmente con più SRB. Tra esse, il terminale mobile sceglie una stazione, detta *anchor SRB*, con la quale comunica in entrambe le direzioni. Quando la qualità del collegamento rispetto a questa SRB degrada, il terminale mobile esegue una procedura di "switching" della SRB senza invocare la procedura di handover.

Un'ulteriore funzionalità prevista dalla versione 'e' dello standard IEEE 802.16, al fine di supportare e gestire la mobilità, riguarda le modalità di funzionamento dei terminali. Per aumentare la durata della batteria del terminale mobile sono stati definiti due modi di operazione: *sleep mode* e *idle mode*. Prima di entrare in sleep mode, il terminale indica alla SRB i periodi di tempo in cui sarà indisponibile per comunicazioni sia sulla tratta in salita che su quella in discesa. Un terminale in idle mode è in grado di leggere periodicamente i dati inviati dalla SRB sul canale di broadcast senza necessariamente essere registrato con alcuna SRB. Questo modo operativo presenta numerosi vantaggi soprattutto quando l'utente si muove in un'area con densità di SRB elevata e attraversa più aree di copertura associate a SRB differenti. Grazie al modo idle l'utente può leggere i canali di broadcast di tutte le SRB con cui viene in contatto senza attivare alcuna procedura di handover. Infine, in idle mode il terminale diventa attivo solo ad intervalli di tempo periodici e ciò consente di risparmiare potenza.

Al fine di supportare l'accesso mobile e garantire ottime prestazioni in scenari operativi eterogenei, la versione 'e' dello standard IEEE802.16 introduce un'ulteriore tecnica di trasmissione-accesso multiplo: la tecnica SOFDMA (*Scalable OFDMA*). Si tratta di una variante dell'OFDMA, che implementa tutte le funzionalità di quest'ultimo, aggiungendo

ad esse la scalabilità: il numero delle portanti associate ad ogni canale non è, infatti, costante, come nel caso dell'OFDMA, ma variabile in funzione della larghezza di banda del canale considerato. Sono invece fissate la spaziatura tra sottoportanti adiacenti e la durata del simbolo OFDM. Ciò consente di migliorare l'efficienza spettrale per trasmissioni su canali ad elevata larghezza di banda, riducendo, nel contempo, i costi dei dispositivi nel caso di trasmissioni su porzioni di banda più contenute.

È importante osservare, infine, che le tecniche di accesso OFDMA e SOFDMA non sono tra loro compatibili; terminali che adottino strategie di accesso al mezzo differenti non possono, quindi, comunicare tra loro.

## Appendice D - Estratti dalle tabelle del PNRF

FREQUENZE (MHz)	SERVIZIO (Note)	GESTORE	UTILIZZAZIONI
2300,00 - 2440,00	FISSO <u>43</u> <u>146</u> <u>155</u> <u>156</u> <u>158</u> <u>158A</u> <u>158B</u> <u>158C</u>	Ministero delle Comunicazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISM</li> <li>SRD apparati non destinati ad uso specifico</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>SRD radio LAN</li> <li>Reti fisse ad uso privato</li> </ul>
	Radioamatore <u>43</u>	Ministero delle Comunicazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISM</li> </ul>
2440,00- 2450,00	FISSO		
	<u>43</u> <u>156</u> <u>158</u> <u>158A</u> <u>158B</u> <u>158C</u>	Ministero delle Comunicazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISM</li> <li>SRD apparati non destinati ad uso specifico</li> <li>Reti fisse analogiche per trasporto segnali audio</li> <li>SRD radio LAN</li> </ul>
	Radioamatore <u>43</u>	Ministero delle Comunicazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISM</li> </ul>
	Radioamatore via satellite <u>43</u>	Ministero delle Comunicazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISM</li> </ul>

(Ndr: I servizi in "MAIUSCOLO" sono primari, i servizi in "Minuscolo" sono secondari)

**Note:**

<b>43</b>	Le bande di frequenze 13.553-13.567 kHz (frequenza centrale 13.560 kHz), 26.957-27.283 kHz (frequenza centrale 27.120 kHz), 40,66-40,70 MHz (frequenza centrale 40,68 MHz), 2.400-2.500 MHz (frequenza centrale 2.450 MHz), 5.725-5.875 MHz (frequenza centrale 5.800 MHz) e 24,00-24,25 GHz (frequenza centrale 24,125 GHz) sono anche utilizzate dagli apparecchi per applicazioni industriali, scientifiche e medicali (ISM). I servizi di radiocomunicazione operanti in queste bande devono accettare i disturbi pregiudizievoli che possono verificarsi a causa delle citate applicazioni. Ogni misura praticamente possibile deve essere adottata per assicurare che le irradiazioni delle apparecchiature usate per tali applicazioni siano minime e che al di fuori della banda il livello delle irradiazioni sia tale da non causare disturbi pregiudizievoli ai servizi di radiocomunicazione ed in particolare alla radionavigazione e ad ogni altro servizio di sicurezza operante in accordo con le prescrizioni del presente piano.
<b>146</b>	Fino al 31.12.2001, fatto salvo quanto previsto alla successiva nota 150, per i collegamenti relativi al pubblico servizio di radiodiffusione viene utilizzata la banda di frequenze 1.900-2.300 MHz per ponti radio televisivi, completi di fasci ausiliari, secondo lo schema di canalizzazione raccomandato dall'UIT-R. Sono ammessi quindi eventuali debordamenti nella banda di frequenze 1.885-1.900 MHz, previo coordinamento con il Ministero della difesa e a condizione che non arrechino interferenze, né pretendano protezione dal sistema DECT. Sono altresì ammessi debordamenti nella banda 2.300-2.302,5 MHz. Previo coordinamento con l'autorità civile competente sono altresì ammessi debordamenti da parte di utilizzazioni del Ministero difesa nella banda 1.900-1.909,5 MHz. A partire dal 1.1.2002 le bande di frequenze riservate a tale tipo di utilizzazione sono 2.040-2.110 MHz e 2.215-2.290 MHz da impiegare secondo lo schema di canalizzazione adottato dalla CEPT nella raccomandazione T/R 13-01.
<b>155</b>	La banda di frequenze 2.300-2.440 MHz è utilizzata per ponti radio ad uso privato analogici e numerici, aventi capacità fino a 60 canali telefonici o equivalente.
<b>156</b>	Le bande di frequenze 2.368-2.372 MHz, 2.440-2.450 MHz e 2.468-2.483,5 MHz sono utilizzate per ponti radio di collegamento a sussidio della radiodiffusione sonora privata con canalizzazione a passi di 200 kHz.
<b>158</b>	<i>In accordo con la decisione CEPT ERC/DEC/(01)07 frequenze della banda 2.400-2.483,5 MHz possono essere impiegate ad uso collettivo per usi civili da reti locali ad uso privato mediante apparati a corto raggio per la trasmissione di dati a larga banda con tecniche a dispersione di spettro (R-LAN) aventi le caratteristiche tecniche della raccomandazione della CEPT ERC/REC 70-03 (Annesso 3).</i> Tali utilizzazioni non debbono causare interferenze ai collegamenti del servizio fisso, né possono pretendere protezione da tali collegamenti. Tali applicazioni rientrano negli scopi di cui al dPR 5 ottobre 2001, n. 447, articolo 5, comma 1, lettera b), numero 2.2) ad eccezione di quanto disposto dall'articolo 6, comma 1, lettera b).
<b>158A</b>	<i>In accordo con la decisione CEPT ERC/DEC/(01)05 frequenze della banda 2.400-2.483,5 MHz possono essere impiegate ad uso collettivo da apparati a corto raggio non destinati ad impieghi specifici, aventi le caratteristiche tecniche della raccomandazione CEPT ERC/REC 70-03 (Annesso 1).</i> Tali applicazioni rientrano negli scopi di cui al dPR 5 ottobre 2001, n. 447, articolo 6, comma 1, lettera q).
<b>158B</b>	<i>In accordo con la decisione CEPT ERC/DEC/(01)08 frequenze della banda 2.400-2.483,5 MHz possono essere impiegate ad uso collettivo da apparati a corto raggio usati per il rilievo di movimenti e sistemi di allarme aventi le caratteristiche tecniche della raccomandazione CEPT ERC/REC 70-03 (Annesso 6).</i> Tali applicazioni rientrano negli scopi di cui al dPR 5 ottobre 2001, n. 447, articolo 6, comma 1, lettera d). Tali utilizzazioni non godono di protezione nei confronti dei servizi previsti in tabella.
<b>158C</b>	<i>Frequenze della banda 2.400-2.483,5 MHz possono essere impiegate ad uso collettivo da apparati a corto raggio usati per la trasmissione di dati a larga banda con tecniche a dispersione di spettro ("bluetooth") aventi una potenza equivalente isotropa irradiata non superiore a 10 mW.</i> Tali applicazioni rientrano negli scopi di cui al dPR 5 ottobre 2001, n. 447, articolo 6, comma 1, lettera q)

FREQUENZE (MHz)	SERVIZIO (Note)	GESTORE	UTILIZZAZIONI
3400,00 - 3500,00	FISSO	Ministero della Difesa	
	FISSO VIA SATELLITE (s-T) <u>172 173</u>	Ministero delle Comunicazioni	
	RADIOLOCALIZZAZIONE <u>172</u>	Ministero della Difesa	
3500,00 - 3600,00	FISSO <u>174</u>	Ministero della Difesa	
	FISSO VIA SATELLITE (s-T) <u>172 173</u>	Ministero delle Comunicazioni	
	Radiolocalizzazione <u>172</u>	Ministero della Difesa	
3600,00 - 4200,00	FISSO <u>177</u>	Ministero delle Comunicazioni	• Reti fisse numeriche per trasporto segnali di TLC e video
	FISSO VIA SATELLITE (s-T)	Ministero delle Comunicazioni	

(Ndr: I servizi in "MAIUSCOLO" sono primari, i servizi in "Minuscolo" sono secondari)

**Note:**

<b>172</b>	Nell'utilizzare frequenze della banda 3.400-3.600 MHz per il servizio di radiolocalizzazione devono essere prese particolari precauzioni per proteggere il servizio fisso via satellite.
<b>173</b>	Nella banda di frequenze 3.400-3.600 MHz il servizio fisso via satellite è soggetto a preventivo coordinamento con le utilizzazioni per il servizio fisso.
<b>174</b>	Nelle bande di frequenze 3.500-3.600 MHz e 5.850-5.925 MHz, previo accordo con il Ministero della difesa, può essere autorizzato l'impiego di ponti radio temporanei per riprese televisive esterne.

TABELLA D.2 - Allocations dello spettro tra 3400 e 4200 MHz.



## Appendice E - Consultazioni sulle tecnologie wireless

In questa appendice sono riportate le schede delle aziende che hanno collaborato con il gruppo di lavoro per la stesura delle Linee Guida. Nelle schede è riportato, oltre ad un profilo dell'azienda, anche un overview dei progetti che l'azienda in questione porta avanti nell'ambito della Pubblica Amministrazione. I contenuti di questa appendice rappresentano il punto di vista delle aziende che hanno collaborato e non sono, in alcun modo, riconducibili a posizioni ufficiali del CNIPA.

### E.1. ACCENTURE

#### **L'azienda**

Accenture è leader mondiale nel settore della consulenza e dei servizi di management e tecnologici e apporta continue innovazioni che aiutano aziende, organizzazioni e PA a realizzare in tempi rapidi la loro visione. Il gruppo dedicato al "Government" offre alte performance ed è in grado di vincere le sfide di un settore pubblico in rapido cambiamento. Accenture fornisce servizi e soluzioni alle PA guardando al mondo così come è e portando l'innovazione per raggiungere la propria visione di come dovrebbe essere. Accenture si colloca come partner per le Pubbliche Amministrazioni nella realizzazione di soluzioni di rete e servizi in ambito mobile e wireless, in virtù della vasta esperienza di consulenza al cliente, conoscenza del settore e dell'ampia gamma di asset nell'ingegnerizzazione dei processi aziendali e nell'integrazione tecnologica. Le soluzioni wireless, come qualsiasi investimento strategico di tipo tecnologico, non dovrebbero essere perseguite allo scopo unico di fornirsi di una nuova tecnologia. Le iniziative strategiche richiedono piuttosto un esame approfondito dei processi operativi, uno studio degli obiettivi aziendali e una valutazione dei fornitori di tecnologia. Oltre al proprio gruppo di consulenza operativa presso il cliente, Accenture dispone nel mondo di alcune strutture interne specializzate in ambito tecnologico e in molti casi specificatamente nel mobile/wireless: Accenture Technology Labs (ATL), Accenture Innovation Center Mobility Center of Excellence (COE), Accenture Global Architecture & Core Technologies (GACT).

#### **I progetti per la PA**

Le soluzioni fornite da Accenture per la pubblica amministrazione spaziano tra vari settori, quali: difesa, istruzione, sanità pubblica, servizi previdenziali/assistenziali, immigrazione, giustizia e pubblica sicurezza e trasporto pubblico. Nell'ambito della amministrazioni che fanno parte della PA sono state realizzati da Accenture alcuni servizi nei quali

il wireless è elemento fondamentale. Uno di questi è stato realizzato presso l'INPS per rispondere all'esigenza di fornire un supporto agli utenti dislocati sul territorio e che consentisse agli ispettori dell'Ente di gestire la pratica della visita fiscale molto più rapidamente.

## E.2. ALCATEL

### L'azienda

Alcatel è una consolidata realtà dello scenario internazionale, basata sulla presenza capillare in 130 paesi con oltre 50 centri di R&D e 5.000 centri di Integrazione e servizi professionali. Alcatel effettua anche programmi di Partnership con i propri clienti fondati su: sviluppi congiunti, l'analisi delle soluzioni, integrazione, il supporto di livello 1 & 2, outsourcing di rete o servizi.

Nell'ambito delle reti wireless, Alcatel ed il Governo Indiano, hanno steso un importante accordo di sviluppo congiunto per la soluzione delle problematiche del Digital Divide, che in India e nei paesi emergenti rappresentano un problema rilevante. In particolare Alcatel ed il Ministero delle Comunicazioni indiane (C-DOT) hanno creato una nuova società per l'analisi e lo sviluppo della copertura delle zone rurali indiane con Wimax 16e. Primo risultato dell'accordo è stata la produzione di terminali Wimax low cost per la fornitura di servizi VoIP e accesso internet a medio-bassa velocità (le richieste in termine di servizio di queste popolazioni è ancora limitato) ma con grande copertura. A tal scopo verrà utilizzata la banda attorno i 700MHz che con la sua bassa frequenza permette un raggio di copertura di diverse decine di chilometri per ogni BS.

### I Progetti per la PA

In Italia Alcatel sta portando avanti numerosi progetti riguardanti sia le reti Wi-Fi che le reti WiMax. Per quanto riguarda le prime ricordiamo tra le altre le esperienze legate alla copertura Wi-Fi dell'Ospedale di Vicenza, del Comune di Milano e delle ville pubbliche di Roma (progetto Roma Wireless). Per quanto riguarda invece il Wimax, Alcatel ha portato avanti sperimentazioni in diversi comuni italiani, tra cui Arezzo, Siena, Ivrea e Milano. Riportiamo qui di seguito in **Figura E.1**.



Figura E.1 Le caratteristiche principali del trial di Arezzo.

## E.3. AVAYA

### L'azienda

Avaya permette alle aziende di ottenere migliori risultati grazie alla progettazione, creazione e gestione delle loro infrastrutture e soluzioni di comunicazione. Oltre un milione di società in tutto il mondo, tra il cui il 90% delle aziende che figurano nell'elenco FORTUNE 500®, si affidano alle soluzioni integrate di Avaya per accrescere il valore degli investimenti, incrementare la produttività ed ottenere un vantaggio competitivo.

Avaya è leader mondiale nei sistemi di telefonia IP sicuri ed affidabili, nelle applicazioni per le comunicazioni e nei servizi dedicati ad aziende di ogni dimensione. All'avanguardia nell'integrazione di comunicazioni convergenti voce e dati con le applicazioni di business e rinomata per la completa gamma di servizi a livello mondiale, Avaya aiuta le aziende di tutto il mondo a incrementare i propri profitti sfruttando le infrastrutture di rete nuove o esistenti.

La combinazione esclusiva di applicazioni, sistemi e servizi offerta da Avaya permette quindi di semplificare le complessità, affiancandosi alle tecnologie esistenti di altri vendor e garantendo così ai propri clienti di sfruttare tutto il valore e il potenziale delle reti, tutelando gli investimenti.

Le tecnologie best-in-class, ottenute dal perfetto binomio di tradizione e competenza nelle nuove tecnologie IP, unite alla capacità di fornire la gamma di servizi più completa e vasta del settore, consentono ad Avaya di distinguersi dai propri competitor.

### I progetti per la PA

Leader mondiale nel segmento della comunicazione IP, Avaya è ben consapevole delle specifiche caratteristiche e bisogni del settore Pubblico Italiano in quanto ha partecipato attivamente fin dal principio al "Gruppo di Lavoro per l'inserimento di servizi VoIP nella PA", volto a definire le linee guida all'evoluzione al VoIP, gli standard di interoperabilità e specifici servizi fondamentali per la Pubblica Amministrazione (integrazione-fisso-mobile).

I primi due Service Providers classificati nella gara pubblica SPC hanno scelto di offrire la soluzione IPT Avaya. L'architettura individuata è basata su Avaya Communication Manager Software, Avaya Media Servers and Media Gateway e telefoni IP Avaya. Su questa piattaforma vengono supportati i servizi di convergenza addizionali quali IM, Videoconference, Fix-Mobile convergence, Unified Communication, Contact Center.

Avaya è uno dei leader mondiali nel VoIP e la Pubblica Amministrazione è uno dei suoi maggiori mercati. Sono documentabili referenze per quasi tutte le tipologie di settore pubblico (Ministeri, Comuni, Regioni, Università, Ospedali).

In Italia possiamo menzionare alcuni casi che potrebbero avere uno specifico interesse in ambito SPC quali:

- ENAC – Ente Nazionale Aviazione Civile through FW/SPC "1° customer"
- Regione Lombardia (Italy) – 5000 utenti IPT in diverse sedi
- Comune di Napoli (Italy) – 5000 utenti IPT in diverse sedi

- Progetti wireless con integrazione PDA per comunità montane
- Applicazioni IP e dual mode (WIFI-GSM) per il CNIPA.

## E.4. BULL

### L'azienda

Bull oggi è concentrata in Francia per la maggior parte e in misura minore in Italia con le principali sedi tra Milano e Roma (divisione mobile) gli altri uffici sono utilizzati per CRM. In particolare a Roma Bull ha il Competence Center.

L'offerta di Bull riguarda i prodotti/servizi innovativi e abbraccia almeno due categorie di servizi a cui l'azienda è particolarmente interessata, ovvero VOIP- fornitore di tecnologia VoIP per servizi centralizzati e Fixed to Mobile Convergence (FMC, integrazione del fisso con il mobile).

### I Progetti per la PA

Bull sta partecipando a diversi bandi per l'estensione del VoIP nelle PA. In particolare lo scenario che Bull propone si compone di un unico telefono dotato di diverse interfacce radio. L'utente connesso alla rete cellulare è in grado di cambiare connessione utilizzando quella "residenziale" a basso costo non appena è coperto da una rete Wi-Fi della PA. L'utente è quindi in grado di connettersi a larga banda con la rete locale dell'amministrazione per parlare e scambiare dati.

Questa soluzione basata su SIP, consiste di due componenti fondamentali a livello middleware:

- Wi4Talk Client: Un modulo software che può essere facilmente integrato con terze parti
- Wi4Talk Server ovvero un proxy server totalmente trasparente agli esistenti SIP Server/Call Control

I servizi offerti da questa soluzione sono:

- Integrazione trasparente con i server già esistenti
- SIP Register;
- Call Management VoIP;
- Centralised Provisioning.

## E.5. CISCO

### L'azienda

Cisco è leader mondiale nella fornitura di soluzioni di rete che trasformano il modo con cui le persone comunicano e collaborano, la società ha sede a San Josè, California,

impiega oltre 54.000 dipendenti nel mondo e nell'anno fiscale 2006 (concluso il 31 luglio 2006), ha registrato un fatturato di 28,5 miliardi di dollari. Dal 1993 ad oggi, l'azienda ha acquisito complessivamente 119 società e annualmente investe oltre 3,22 miliardi di dollari in Ricerca e Sviluppo.

Oggi, le reti sono diventate una componente essenziale della vita professionale, accademica e domestica di ogni cittadino e le soluzioni di networking basate sul protocollo IP di Cisco costituiscono le fondamenta di queste reti. L'offerta di Cisco (soluzioni hardware, software e servizi) viene utilizzata per la creazione di soluzioni Internet che permettono a persone, aziende e nazioni di aumentare la propria produttività, migliorare la soddisfazione dei clienti e rafforzare il proprio vantaggio competitivo.

Sin dalla propria fondazione, Cisco ha guidato lo sviluppo di tecnologie di networking basate sul protocollo IP: una tradizione di innovazione e di eccellenza che rende oggi Cisco protagonista nello sviluppo di prodotti all'avanguardia nelle aree tradizionali delle soluzioni di routing e switching, oltre che nella progettazione di soluzioni avanzate per la Sicurezza, IP Telephony, Storage Networking, Wireless LAN, Optical e Home Networking.

#### Cisco in Italia

Cisco è presente in Italia dal 1994 ed è guidata da Stefano Venturi, Amministratore Delegato di Cisco Italy e Vice President di Cisco Inc. Sotto la sua guida la filiale italiana è cresciuta da 12 a circa 700 persone in cinque sedi: Vimercate (MI) sede principale, Roma, Torino, Padova e Monza, dove ha sede il laboratorio R&D Cisco sulla fotonica, creato a seguito dell'acquisizione del settore Sistemi Ottici di Pirelli, avvenuta nel Dicembre 1999.

Cisco Italy partecipa attivamente allo sviluppo tecnologico del nostro Paese non soltanto affiancando le principali aziende (carrier, service provider, grandi e piccole/medie imprese) nella messa a punto delle loro infrastrutture di rete, ma anche investendo nella formazione di figure professionali in grado di rispondere alle nuove esigenze che la diffusione di Internet ha creato. A tale proposito, Cisco Italy ha lanciato Networking Academy, un programma di studi teorico/pratici gratuito – già sviluppato in altre sedi Cisco nel mondo - che consente agli studenti di imparare a progettare, realizzare e mantenere reti in grado di supportare organizzazioni nazionali e globali. Nel nostro paese sono presenti 300 Academy.

Anche la formazione dei propri Partner riveste una particolare importanza per Cisco Italy: la società ha messo a punto un insieme di programmi dedicati che prevedono vari livelli di certificazione e specializzazione.

Per ulteriori informazioni su Cisco consultare l'indirizzo Internet <http://www.cisco.com/it>

#### **I Progetti per la PA**

La Provincia di Brescia utilizzerà una rete wireless a banda larga per connettere oltre 200 nuclei rurali nel corso dei prossimi sei anni. L'Azienda speciale del Comune di Roma

adotta l'Unified Communication Cisco alla base della propria infrastruttura di rete. Grazie a CallManager e IP Phone Cisco, anche le organizzazioni dell'arte e della cultura possono contare sui servizi a valore aggiunto che conferiscono al VoIP una marcia in più rispetto alla telefonia tradizionale. (Fonte Cisco System)

## E.6. ERICSSON

### L'azienda

Ericsson azienda globale leader nel mondo delle telecomunicazioni fornisce agli operatori telefonici ed alle principali aziende pubbliche e private soluzioni tecnologiche avanzate di comunicazione come piattaforme mobili, reti multi-servizio, reti di trasporto, applicazioni verticali e servizi (Consulenza, Progettazione, Sviluppo e System Integration, Managed Services).

Ericsson (come Ericsson Telecomunicazioni S.P.A.) è attiva in Italia dal 1918 ed è il fornitore di riferimento dei principali operatori di telecomunicazioni fisse e mobili, come Telecom Italia, TIM, Wind e 3, e offre i propri servizi anche a Vodafone, Albacom, Tiscali e ad altri operatori regionali. Ericsson è presente su tutto il territorio italiano in modo estremamente capillare con sedi commerciali ed operative distribuiti su tutte le province italiane per il supporto dei nostri maggiori clienti con più di 2000 dipendenti.

Ericsson è da tempo impegnata anche nell'offerta di prodotti e servizi al mercato delle aziende, della pubblica amministrazione e delle forze di sicurezza, a cui offre tecnologie e soluzioni di comunicazione specifiche; in particolare vanta nel mercato italiano una base installata di PBX di oltre 2,5 milioni di utenze distribuite tra più di 1.000 clienti presenti in tutti settori.

### I Progetti per la PA

La proposta di Ericsson comprende un ampio portafoglio di soluzioni convergenti, una forte capacità di integrazione ed una consolidata esperienza nei servizi di outsourcing e di consulenza tecnologica per il settore della pubblica amministrazione - centrale e locale -, la sanità, il "public safety", le multiutilities, i trasporti, le banche ed i media. Nell'ambito della progettazione di reti outdoor Ericsson è il partner tecnologico e main contractor per la realizzazione della rete a banda larga in fibra ottica per la città di Mantova; Ericsson ha gestito per conto di Teanet, società della multiutility mantovana Tea, tutte le attività di pianificazione, project management e realizzazione della rete e collaborato per la messa a punto del business plan e del marketing territoriale.

La rete è basata su tecnologia Gigabit Ethernet e si estende per 90 chilometri nel territorio cittadino permettendo a enti pubblici, cittadini e imprese di collegarsi ad alta velocità e sfruttare servizi che vanno dalla semplice navigazione e trasferimento dati fino alla tele-sanità e video sorveglianza.

È ora partita la seconda fase del progetto che porterà la banda larga ai comuni limitrofi dell'area metropolitana di Mantova con l'utilizzo di tecnologie wireless Wi-Fi, Hyperlan e

successivamente WiMax. Una prima sperimentazione di copertura e servizi wireless è già in corso in alcuni comuni.

Per quanto riguarda le nuove tecnologie wireless Ericsson, che ha sempre avuto un ruolo importante nella definizione degli standard aperti, è membro del WiMax Forum l'organizzazione che si occupa dello sviluppo, del controllo e della diffusione di questa emergente tecnologia.

Ericsson, nell'ambito del programma di sperimentazione coordinato dalla Fondazione Ugo Bordoni, ha lanciato l'iniziativa "Wi-MAX Open Trial" per valutare caratteristiche e applicabilità delle soluzioni Wi-MAX a portafoglio; il programma prevedeva la presenza di numerosi partecipanti, fra i quali Albacom, Create-Net, Iniziative Industriali Italiane, Infratel, Labcoop, Maxfon, Mobilmente, Tele2, Wind e altri operatori, a diversi livelli di coinvolgimento, in modo da massimizzare l'efficacia delle attività, in termini di rapidità di condivisione dei risultati e di sinergie conseguibili nel perseguimento degli obiettivi di verifica.

## E.7. FASTWEB

### L'azienda

FASTWEB è il secondo operatore di telefonia fissa in Italia e il primo operatore al mondo ad aver sviluppato una rete completamente IP per l'offerta di servizi Triple Play. È presente in oltre 130 città italiane tramite una rete lunga più di 23.000 km. FASTWEB utilizza un modello tecnologico unico che combina l'uso intensivo di IP (Internet Protocol) per la trasmissione di voce, dati e video su fibra e con tecnologia xDSL. Nel segmento business FASTWEB, riconosciuta come fornitore d'eccellenza per affidabilità e competitività dei servizi, offre soluzioni avanzate e competitive in tutti i segmenti del mercato: enti pubblici, organizzazioni piccole, medie e grandi, aziende, università e gruppi di ricerca.

### I Progetti per la PA

Nel corso del 2006, in particolare, FASTWEB ha arricchito la sua base clienti con la presenza della Pubblica Amministrazione: grazie all'espansione della propria rete e al ricorso da parte della PA a gare multifornitore, FASTWEB si è aggiudicata due importanti contratti per la fornitura di servizi di telefonia fissa e dati a CONSIP e CNIPA. Le imprese rappresentano il 16% dei clienti di FASTWEB e contribuiscono per il 60% al fatturato. A FASTWEB sono riconosciuti livelli di prim'ordine per la qualità dei servizi offerti, l'efficienza tecnologica della trasmissione dati e degli aspetti legati alla sicurezza.

Con l'offerta residenziale gli utenti possono disporre dell'accesso a Internet alle velocità più elevate oggi disponibili in Italia: fino a 10 Mbit/sec su fibra ottica, 6 Mbit/sec per l'ADSL, la possibilità di aumentare la velocità di accesso fino a 20 Mbit/sec con la tecnologia ADSL 2 PLUS e la velocità di trasmissione fino a 1 Mbit/sec, oltre a un più ampio portafoglio di servizi a valore aggiunto, come il video on demand.

## E.8. LINKEM MEGABEAM

### L'azienda

Megabeam Italia S.p.A. attualmente opera esclusivamente sul territorio nazionale. Le partecipazioni ad eventi oltreconfine, unitamente ai continui rapporti con partner esteri porta comunque Megabeam ad avere una buona conoscenza dello scenario internazionale. A livello di strategia aziendale vengono costantemente monitorate ed analizzate le "Best practices" messe in atto in Paesi diversi dall'Italia, dove le tecnologie wireless e la loro penetrazione sono molto più diffuse.

Megabeam Italia S.p.A. è l'operatore che nel 2001 ha aperto il mercato italiano dei servizi di connettività basati su tecnologie wireless, iniziando la commercializzazione del servizio Wi-Fi nelle location più prestigiose del paese (aeroporti, hotel, centri congresso). La gestione di reti wireless di tipo Hot spot, spesso molto diverse tra di loro e caratterizzate da una situazione radiofrequenziale complessa (ad es, gli aeroporti), ha permesso a Megabeam di maturare una significativa esperienza nella gestione delle radiofrequenze. Le aumentate competenze hanno quindi consentito di realizzare e gestire progetti sempre più complessi, quali quelli delle reti wireless territoriali, caratterizzate da una rilevante estensione geografica.

Megabeam è attualmente leader nazionale nella progettazione, realizzazione e gestione di soluzioni di connettività a banda larga attraverso tecnologie wireless (Wi-Fi, Hiperlan e Wi-MAX). Nel 2004 è nata così la divisione Hot zone con l'obiettivo di portare la banda larga ed i suoi applicativi nei territori dove per vari motivi l'ADSL non arriva o non arriva in maniera efficiente e completa. Nel 2005 Megabeam lancia il brand aziendale Linkem. Dagli inizi di tale anno tutti i servizi di Megabeam vengono commercializzati con il marchio Linkem.

Tutte le reti wireless di proprietà o in concessione a Megabeam sono state ad oggi costruite utilizzando tecnologie Wi-Fi o hiperlan; sono però upgradabili ad eventuali tecnologie future (tipo wimax) nel momento in cui le stesse dovessero raggiungere la giusta maturità tecnologica e regolatoria.

### I Progetti per la PA

Ad oggi Megabeam gestisce un network di oltre 130 reti wireless, offrendo connettività a banda larga a oltre 300 comuni e 110 siti ad alta frequentazione (c.d. Hotspot) per un totale di oltre 800 antenne posizionate sul territorio nazionale. Inoltre, Megabeam ha portato avanti 2 sperimentazioni Wi-MAX, regolarmente autorizzate e licenziate dal Ministero delle Comunicazioni, nella provincia di Arezzo e nell'intera regione Abruzzo, in modo da poter essere pronta di fronte ai prossimi scenari evolutivi del mercato della connettività wireless a banda larga

## E.9. NORTEL

### L'azienda

Nortel conta su una forte presenza globale con 30mila risorse presenti in oltre 150 paesi tra Nord America, Europa, Medio Oriente, Africa, Asia e America Latina. Oltre alla sede centrale di Brampton, Ontario (vicino a Toronto), esistono altre sedi importanti per l'azienda sul territorio canadese. Ottawa, la capitale del Canada, ospita il centro di ricerca e sviluppo più grande dell'organizzazione. Inoltre sono presenti diversi uffici di supporto e sedi di vendita in tutto il Canada occidentale e centrale, in Quebec e nelle Marittime. L'azienda ha inaugurato la prima sede degli Stati Uniti nel 1971; conta oggi oltre 86 sedi dislocate negli Stati Uniti con centri per la ricerca e lo sviluppo allo stato dell'arte, centri di ingegneria software e centri per la gestione delle vendite in molti stati, tra cui California, Florida, Georgia, Maryland, Massachusetts, Carolina del Nord, Tennessee, Texas e Virginia. Nortel è attiva nell'area caraibica e in America Latina sin dalla metà degli anni Sessanta, e fornisce Paesi che vanno dalle Bermuda alla penisola meridionale del Sud America. La sede principale per la regione si trova a Sunrise, in Florida, con uffici in Argentina, Brasile, Cile, Columbia, Puerto Rico e Messico, offrendo supporto a livello locale anche su altri mercati. Nortel è attiva nei Paesi del Sud Est asiatico da oltre 30 anni (il primo contratto con la Repubblica Popolare Cinese è stato siglato nel 1972). Oggi, Nortel fornisce infrastrutture e servizi di comunicazione per i clienti dislocati in 18 paesi del Sud Est asiatico, tra cui Cina, Hong Kong, Corea, Giappone, Singapore, Thailandia, Malesia, India, Pakistan, Australia e Nuova Zelanda.

Nortel è un'organizzazione di dimensioni notevoli anche in Europa, nel Medio Oriente e in Africa. Attualmente opera in 31 Paesi di questa regione, in 25 lingue differenti. Nortel ha di recente rafforzato l'impegno nei confronti dell'Europa, grazie a filiali interamente proprietarie, quali Nortel S.p.A. in Italia, Nortel France e Nortel Germany.

### I Progetti per la PA

In ambito di reti cittadine e municipali il prodotto che Nortel sta attualmente introducendo sul mercato italiano è il Wireless Mesh Network. La soluzione è fondamentalmente costituita da Access Point a doppio apparato radio, sia outdoor sia indoor, e il Wireless Bridge, un apparato in grado di instaurare connessioni Ethernet punto-punto su tratte di diversi chilometri e basato su tecnologia OFDM, per il trasporto dei dati da aree di copertura diffusa Wireless Mesh Network.

Nortel ha anche a disposizione apparati Wi-MAX 802.16-2004, per servizi di tipo WLL, per trasporto di traffico Wi-Fi, ecc., inoltre già dal 2007 Nortel sarà in grado di offrire prodotti 802.16-2005. Nortel è attiva con numerosi progetti in Italia, visto il grande interesse da parte delle PA verso le soluzioni wireless. Le motivazioni di questo interesse sono di diverso tipo: il risparmio economico che si ottiene sostituendo linee dati tradizionali affittate è sicuramente la ragione principale che spinge molte amministrazioni a

intraprendere questo tipo di progetti. Allo stesso tempo è innegabile che grazie alle nuove tecnologie basate su IP, integrate con le principali piattaforme applicative e presenti ormai in una vastissima gamma di terminali e dispositivi è possibile immaginare tutta una serie di servizi in grado di rendere la PA più efficiente nei propri processi e più pronta a rispondere alle richieste dei cittadini.

## E.10. ORACLE

### L'azienda

Presente in oltre 145 paesi nel mondo con circa 68.000 dipendenti e oltre 275.000 clienti, Oracle Corporation è la più grande società al mondo di software per le imprese. In Italia, è presente dal 1993 con sedi principali a Milano e Roma e con filiali a Torino, Padova, Bologna, Vercelli ed è oggi una realtà di circa 900 dipendenti.

Oracle Corporation sviluppa, produce, commercializza e offre servizi legati alla propria infrastruttura tecnologica (database e middleware) e alle applicazioni business, perfettamente integrabili e costruiti su standard aperti per assicurare il massimo di scalabilità, affidabilità e flessibilità. Le sue soluzioni assicurano elevati livelli di efficienza, grazie alla razionalizzazione dei processi e al conseguente abbattimento dei costi di gestione.

Oracle collabora da 10 anni con gli ISP italiani e per quanto concerne i servizi a clienti mobili la strategia di Oracle prevede la suddivisione in due business. In particolare, si distinguono due piattaforme per la fornitura di servizi in mobilità:

- una piattaforma classica con il network provider che è anche fornitore di contenuti
- una piattaforma in cui il network provider è distinto dal fornitore di contenuti ovvero la SDP (service delivery platform).

L'idea di Oracle è quella di utilizzare un "Mediation Layer" per la fornitura di servizi. In particolare l'utilizzo della service delivery platform permette da un lato di interfacciarsi con l'infrastruttura di rete e dall'altro di agire direttamente sul bouquet di servizi messi a disposizione dell'utente.

Questa piattaforma standard utilizza Java ed è basata su IP. Questo consente di rendere i servizi più flessibili, più scalabili ma soprattutto grazie all'utilizzo di IP renderli standard e fruibili a tutti. Java consente di creare nuovi servizi in modo molto semplice e immediato. Il business di Oracle non è nella fornitura dei servizi ma nel creare una piattaforma che renda facile l'implementazione di nuovi servizi. (SDP), consente quindi anche di sviluppare servizi innovativi in modo molto veloce.

In figura **Figura E. 2** è mostrata l'architettura di base per la fornitura dei servizi. Il fatto di avere su un application server il sip profile garantisce l'esplosione non prevedibile di servizi basati sulla voce, ad esempio, in caso di ricezione di una chiamata VoIP quando l'utente è impegnato, risponde la segreteria che accetta il messaggio e poi avvisa l'utente via email.

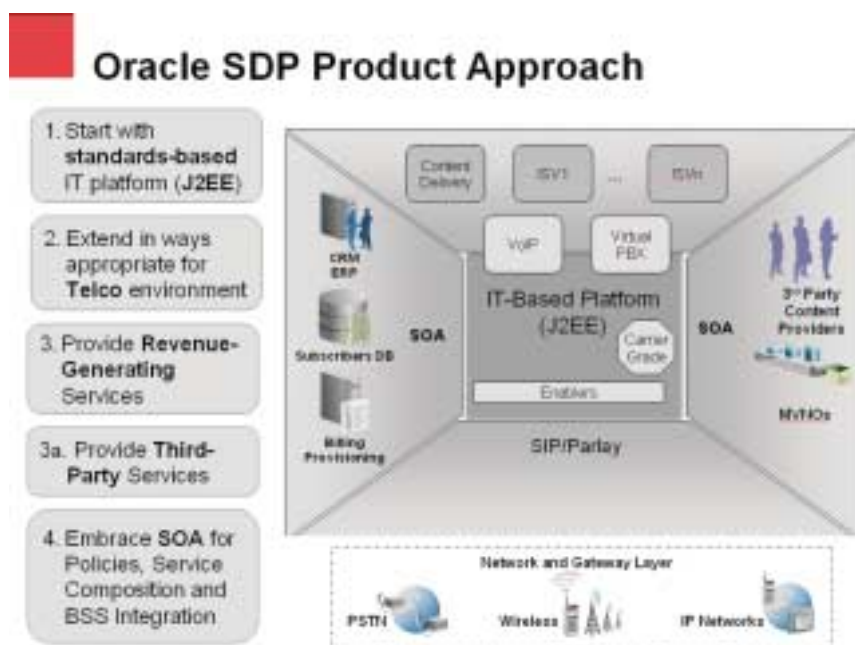


Figura E.2

## I Progetti per la PA

Oracle Italia sviluppa la propria offerta con particolare attenzione alle esigenze della Pubblica Amministrazione Centrale e Locale e delle Aziende Sanitarie, grazie a un team di professionisti dedicati che conoscono approfonditamente i processi, le dinamiche e le normative che regolano il settore. I campi di azione sono molteplici e tangibili. Si basa ad esempio su tecnologia Oracle il portale Internet per l'accesso ai servizi e tutta la piattaforma per la gestione degli acquisti della Pubblica Amministrazione realizzato da Consip, così come i molteplici portali del cittadino realizzati in accordo al piano di eGovernment. Particolarmente innovativa la realizzazione del sistema di gestione delle risorse umane, della contabilità e del controllo di gestione di INAIL e delle Agenzie del Ministero dell'Economia.

La collaborazione di Oracle Italia con la pubblica amministrazione è volta a stimolare nuovi percorsi di innovazione e sviluppo anche attraverso specifiche partnership con il mondo accademico e la creazione di centri di competenza mirati.

Importante è l'impegno sul fronte delle tecnologie di pervasive computing, attraverso le partnership con il Laboratorio per le tecnologie Wireless e RFID dell'Università di Messina e il Laboratorio RFID dell'Università La Sapienza di Roma.

Nel 2006, Oracle ha definito inoltre una partnership con il consorzio italiano COMETA – i cui fondatori sono l'Istituto Italiano di Fisica Nucleare, l'Istituto Italiano di Astrofisica, l'Istituto Italiano di Geofisica e Vulcanologia, l'Università di Catania, l'Università di Messina, l'Università di Palermo e il Consorzio SCIRE - per la realizzazione del progetto pilota S-Sicilia, volto a promuovere la diffusione di applicazioni grid scientifiche e industriali nell'isola.

La collaborazione con la Pubblica Amministrazione si articola anche attraverso il Centro di Competenza sull'eGovernment che Oracle ha lanciato nel 2006 in partnership con la Regione Puglia e Tecnopolis Csata, società consortile pugliese senza fini di lucro che sostiene lo sviluppo economico locale attraverso l'uso strategico dell'innovazione. Obiettivo del centro è diffondere l'utilizzo e l'integrazione di soluzioni applicative per la PA locale basate su tecnologie open source e su piattaforma Oracle.

## E.11. RAYTALK

### L'azienda

Raytalk è un produttore di tecnologia wireless che spende molte energie nella formazione e sulla ricerca e sviluppo di soluzioni innovative. Il centro di Ricerca & Sviluppo RayTalk, è costituito interamente da sviluppatori italiani, specializzati in Telecomunicazioni, Elettronica e Networking. Il Team R&D conduce ricerche specifiche sulla radiofrequenza progettando moduli radio ad altissima efficienza ed utilizzando componentistica industriale ad alte prestazioni per garantire standard di affidabilità elevatissimi. RayTalk sviluppa i software e le funzionalità avanzate degli apparati, così come le special release firmware per applicazioni wireless innovative in grado di rispondere alle reali esigenze della PA e permettendo lo sviluppo di servizi fra le diverse pubbliche amministrazioni con l'obiettivo di presentare le diverse pubbliche amministrazioni al cittadino e all'impresa, in modo omogeneo e unitario. I numerosi contatti di collaborazione con aziende europee, statunitensi e del far east, ci permettono di essere continuamente aggiornati sullo sviluppo delle tecnologie wireless in paesi molto più sviluppati a livello tecnologico. Lo scenario tecnologico futuro prevede una fortissima integrazione tra il Wi-Fi e l'Hi-perlan per la creazione di Wi-Fi City e la nascente tecnologia Wi-MAX ad uso degli operatori di telecomunicazioni. Il Wi-MAX nasce infatti come trasporto di flussi primari a larga banda da affiancare alle dorsali di trasporto in fibra ottica. Alcune delle più note Wi-Fi City che stanno nascendo nel mondo, non dimenticando che nello stesso concetto si identificano coperture territoriali non cittadine, bensì estese aree rurali, intere vallate, comunità montane. La city in fondo la si intende come una grande porzione di territorio, completamente coperta da segnali wireless e servizi distribuiti, attraverso una rete magliata (mesh) che ne garantisce la scalabilità, il controllo funzionale, e l'omogeneità.

### I progetti per la PA

Numerose sono le attività, che RayTalk pur essendo un produttore di tecnologie wireless professionali e non un system integrator sta portando avanti con la pubblica amministrazione. RayTalk, ad esempio, già dal 2005, in collaborazione con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, la Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia Romagna, la Provincia di Rimini ed il Comune di Verucchio, è sponsor tecnologico ufficiale degli Scavi Archeologici di Verucchio. Il Comune di Verucchio è attualmente il banco di prova

di una complessa rete wireless territoriale destinata a vari utilizzi, tra cui il VoIP e la Videosorveglianza. RayTalk ha inoltre iniziato da qualche mese un'importante attività di sperimentazione da una parte, e di fornitura dall'altra, di sistemi wireless per la Gendarmeria delle Repubblica di San Marino.

In questo caso il network magliato territoriale previsto, è a totale utilizzo delle Forze dell'Ordine, che possono contare su coperture radio estese, sulle quali far convergere comunicazioni radio full duplex, utilizzando Wi-Fi Phone, oltre a connettività in mobilità su automezzi o palmari, per le consultazioni dati presso la centrale operativa, o della rete internet in genere, gestione verbali, ecc.

Gli apparati territoriali raccordano poi una serie di telecamere distribuite, consultabili in modalità wireless sia dagli agenti in mobilità (tramite palmari o PC portatile su automezzo), che dalla centrale operativa stessa. Il sistema prevede già da Settembre 2007, l'utilizzo da parte degli agenti, di telecamere wireless indossabili, per azioni extraveicolari, che si linkano al network e quindi a disposizione delle pattuglie e della centrale operativa.

## E.12. SELEX COMMUNICATION

### L'azienda

SELEX Communications è una società internazionale che genera circa due terzi del proprio fatturato sul mercato internazionale. Ha uffici, stabilimenti produttivi e laboratori di Ricerca & Sviluppo in Italia, Gran Bretagna, Germania, Turchia, Romania, Brasile, Sud Africa e S. Domingo. Grazie al vasto catalogo di prodotti ed alla capacità di integrazione di sistemi, SELEX Communications è in grado di progettare reti di telecomunicazioni civili e militari "chiavi in mano" rispondenti ai requisiti di massima sicurezza e di offrire servizi di installazione, logistica, addestramento e manutenzione. Le caratteristiche dei prodotti e delle tecnologie utilizzate consentono l'applicazione e la commercializzazione delle soluzioni offerte anche in settori diversi da quello della difesa, nei quali la sicurezza e l'affidabilità sono requisiti primari. L'offerta include apparati, sistemi e reti conformi allo standard NATO, nonché ai principali protocolli di comunicazione internazionali, per garantire la completa integrazione e interoperabilità tra i vari sistemi di comunicazione.

### I progetti per la PA

SELEX Communications è tra le aziende che hanno partecipato alle attività nazionali di sperimentazione della tecnologia Wi-MAX in Italia, in collaborazione con il Ministero delle Comunicazioni, il Ministero della Difesa e con FUB – Fondazione Ugo Bordoni, responsabile del coordinamento dei test sul territorio nazionale.

In particolare SELEX Communications è stata impegnata nelle città di Parma e L'Aquila, in partnership con enti locali, pubblica amministrazione, Università e con Fastweb. Le attività di sperimentazione su Parma hanno avuto come obiettivo la rea-

lizzazione di una rete wireless multiservice dedicata al superamento del digital divide nelle aree rurali e montane non raggiunte dalla tecnologia cablata xDSL, consentendo alla pubblica amministrazione di erogare efficientemente servizi di e-government per i cittadini.

Le attività di sperimentazione ha portato alla definizione e alla verifica di nuovi servizi a valore aggiunto destinati agli operatori ed alla pubblica amministrazione: VoIP e Videoconferenza tra sedi, servizi di Information Technology in aree montane, data streaming per applicazioni e-learning ed e-government, collegamenti backhaul per hot spot Wi-Fi e reti di sensori. Tali applicazioni consentiranno poi a varie entità quali Polizia Municipale, Vigili del Fuoco, Protezione Civile e altri tipi di agenzie di utilizzare la rete Wi-MAX per comunicazioni ordinarie, accesso a database centralizzati, condivisione di files, etc... Per Le Forze di Polizia sarà possibile impiegare la tecnologia Wi-MAX come un overlay di reti PMR, in particolare della rete TETRA o SIMULCAST per le comunicazioni multimediali e la trasmissione di dati ad alta velocità. Promuovendo l'interoperabilità tra HyperLAN, Wi-MAX, Wi-Fi e soluzioni Mesh, e mantenendo la connettività verso le reti pubbliche fisse e mobili, SELEX Communications si propone per la realizzazione di architetture di rete integrate, scalabili e robuste perfettamente rispondenti ai requisiti di uno o più gruppi di enti pubblici, garantendo all'utente l'accesso a servizi e applicazioni complessi, indipendentemente dalle tecnologie di accesso radio utilizzate, con elevata qualità di servizio.

## E.12. TELECOM ITALIA

### L'azienda

#### Il Gruppo Telecom Italia in sintesi

I principali obiettivi strategici del Gruppo Telecom Italia, per il triennio 2007-2009, riguardano:

- Superare il digital divide per offrire a tutti servizi innovativi, grazie ad una solida leadership nelle telecomunicazioni fisse e mobili nel Paese
- Arricchire la propria offerta puntando anche ai contenuti multimediali e all'ICT
- Sviluppare ulteriormente la presenza internazionale

A questi obiettivi nel triennio sono destinati investimenti significativi, pari a 15 miliardi di euro.

L'ampia penetrazione raggiunta dalla larga banda in Italia sarà il punto di partenza per la diffusione dell'offerta innovativa del Gruppo Telecom Italia, un'offerta caratterizzata dalla trasparenza e dalla flessibilità alle diverse esigenze: servizi dual e triple play, IPTV, pacchetti convergenti fisso/mobile, servizi di messaggistica avanzata, servizi VAS su reti mobili di terza generazione.

Il passo successivo, alla fine del 2009, diffusa la larga banda e superato il digital divide, sarà l'evoluzione di queste reti verso la rete ultrabroadband fissa (Next Generation Network-NGN 2) e mobile (4G).

Per mantenere e rafforzare la propria leadership, accanto all'innovazione tecnologica, Telecom Italia punta anche al miglioramento della qualità del servizio offerto e del customer care, e su questi obiettivi il piano prevede investimenti e programmi specifici.

Fra le priorità del Gruppo, nel piano triennale, vi è lo sviluppo, accanto ai servizi di telecomunicazioni avanzate, dell'offerta di contenuti per le piattaforme innovative della televisione via internet e della mobile TV.

Analogamente sarà diretta all'offerta di servizi ICT per la clientela business, dalla piccola e media impresa alle grandi aziende e a settori della Pubblica Amministrazione, valorizzando l'integrazione delle strutture di Information Technology del Gruppo e le nuove piattaforme di distribuzione ICT, ed avvalendosi di partnership con player di primo piano a livello nazionale ed internazionale.

### **I Progetti per la PA**

Telecom Italia ha attive molteplici iniziative e progetti con la Pubblica Amministrazione, che spaziano dai progetti operativi, agli accordi con le Regioni, alle collaborazioni con le Università e i Centri di Ricerca italiani.

In tale scheda se ne evidenziano alcuni, per le correlazioni che presentano con la tematica "wireless", in termini di tecnologia di rete e/o di servizi/applicazioni per le quali il wireless è un abilitatore essenziale.

#### Progetti operativi Wi-Fi con la Pubblica Amministrazione

Telecom Italia è presente come WISP (Wireless Internet Service Provider) con il brand "Wi-Fi Area" con più di 1.500 Hot Spot sul territorio nazionale.

Inoltre Telecom Italia grazie agli accordi di roaming con i partner della Wireless Broadband Alliance e con aggregatori di livello internazionale è collegata ad una rete di Hot Spot che conta più di 33.000 location worldwide.

Al momento attuale Telecom Italia non fornisce soluzioni PTP o PMP basate su tecnologie Wi-Fi o Hyperlan2; per alcune applicazioni particolari (progetti per Clienti Corporate, bandi di gara) sono proposte soluzioni chiavi in mano ingegnerizzate con il fornitore di riferimento.

Analogamente, Telecom Italia non realizza coperture Hot Zone ad estensione metropolitana se non nell'ambito di progetti specifici in collaborazione con le pubbliche amministrazioni locali.

Tra i progetti operativi con la Pubblica Amministrazione, si evidenziano i seguenti:

- Comune di Bologna: sperimentazione rete Wi-Fi Mesh. Il progetto prevede copertura outdoor per accessi Wi-Fi area tramite hot spot pubblici alla intranet del comune.
- Comune di Pisa: vinta la gara per copertura mista indoor e outdoor, con accesso pubblico e privato alle reti della pubblica amministrazione.

- Progetto ospedale di S. Bartolo di Vicenza: prevede una copertura parziale tramite Wi-Fi area che integra la rete che fornisce supporto informatico ai servizi ospedalieri.
- Sperimentazione Università di Ferrara: realizzazione di una Wi-Fi area per accesso indoor alla rete dell'università per i dipendenti.

#### Accordi con le Regioni

La strategia di Telecom Italia si basa anche sullo sviluppo di iniziative con cui mettere i cittadini e altri soggetti economici e sociali in grado di fruire di una gamma sempre più vasta di servizi ICT.

Si evidenziano a tal proposito l'accordo siglato nel 2006 con la Regione Piemonte che prevede di fornire entro il 2008 la copertura ADSL al 96% delle linee dell'intero territorio.

In questo modo un milione di cittadini e 125.000 imprese finora escluse dalla possibilità di accedere a servizi a larga banda verranno serviti.

La Regione Piemonte, in parallelo, svilupperà iniziative perché i cittadini e le imprese trovino servizi di loro interesse, realizzando così una nuova convergenza non più vista a livello delle infrastrutture ma sviluppata sul piano dei ruoli che aziende ed istituzioni di rilevante importanza possono sviluppare per la crescita del Paese.

Nell'ambito dell'Accordo siglato con la Valle d'Aosta per il superamento del Digital Divide, invece, si evidenziano le possibili sperimentazioni da parte di Telecom Italia per l'estensione del broadband mobile anche ad aree remote e/o rurali.

In particolare è possibile prevedere una sperimentazione della tecnologia HSDPA di Fase 2 e successivamente della tecnologia HSUPA in alcuni Comuni raggiunti dal servizio UMTS, come i principali Comuni della provincia, le località turistiche, le aree industriali/commerciali e le aree remote.

Grazie allo sviluppo del broadband sia per la componente downlink sia per la componente uplink, sarà possibile usufruire di tutti i servizi a banda larga in piena mobilità.

La diffusione dei servizi broadband in mobilità può rappresentare una chiave per l'ulteriore sviluppo sia della piccola e media impresa già molto attive nella regione, sia del turismo.

#### Servizi di E-Tourism Context Aware

Il riferimento è a servizi di E-Tourism per i gestori di parchi per la raccomandazione contestualizzata di contenuti, servizi di comunità virtuale di utenti che esprimono giudizi (e.g. votano gli esercizi commerciali visitati e ricevono di conseguenza raccomandazioni sui siti da visitare secondo i voti (anonimi) di utenti a profilo simile), per la condivisione di contenuti e commenti.

Grazie a tali servizi, gli esercenti hanno la possibilità di inserire contenuti propri sul por-

tale (veicolati ai turisti su base contesto), e il Gestore del Parco può monitorare la qualità dei servizi percepiti dai visitatori.

Le Progettazioni in corso riguardano:

Ente Parco 5-Terre; il contributo si inserisce in un progetto più ampio volto a gestire l'accesso ai varchi e fornire Broadband services al parco.

Savoy Greenways – in fase iniziale – servizi contestualizzati sulla pista ciclabile che collega 11 reggie sabaude – rastrelliere bici “intelligenti” (in rete gprs/umts + rfid); totem informativi, servizi contestualizzati al turista dotato di PDA.

#### Il Progetto “GAL-PMI” con Torino Wireless

Il Progetto “GAL-PMI” (Anticipando Galileo: Prodotti e servizi a supporto della Mobilità e della Sicurezza) fa riferimento ad un contesto caratterizzato in proiezione dalla disponibilità di un sistema satellitare (Galileo) atto a consentire la localizzazione e dalla possibilità di introduzione e utilizzo di varie classi di servizi e applicazioni riferentesi sostanzialmente alla mobilità di persone e veicoli, il tutto visto in un'ottica di sostenibilità rispetto alle problematiche ambientali, energetiche e dei trasporti.

L'obiettivo di anticipazione fa riferimento da un lato alla opportunità di attivare, in modo integrato, risorse di ricerca e di impresa perché, operando in ambito preindustriale e precompetitivo, possano costruire interessi e competenze nell'area di business futura della infomobilità, dall'altro lato di effettuare le valutazioni e le messe a punto necessarie, per determinare la complessità dei sistemi, prototipalmente rappresentati dai dimostratori, e la gestibilità dei servizi, tramite le sperimentazioni.

In relazione alle già segnalate problematiche dei trasporti (pubblici e privati) connessi aspetti ambientali ed energetici è inoltre da sottolineare l'interesse primario pubblico (con particolare riferimento ai servizi) relativo al tema della mobilità sostenibile.

Infine le opportunità di business prevedibilmente conseguibili tramite il sistema Galileo possono determinare opportunità di prodotti e servizi per l'imprenditoria: a tale scopo il progetto prevede la presenza significativa, in qualità e dimensione, dei players di base nel settore e delle PMI interessate e capaci di investimento in innovazione.

Promotore è la Fondazione Torino Wireless, e tra i soggetti mandanti, oltre a Telecom Italia, si evidenziano il CRF, il CTT, l'Istituto Superiore Mario Boella, il Politecnico di Torino.

#### Collaborazioni universitarie

Diverse sono le collaborazioni avviate con le università italiane e altri centri di ricerca, relative ad un ampio set di tematiche di innovazione.

Si evidenziano in particolare, tra quelle in vigore per il 2007:

- Servizi di Teleassistenza Innovativa basati su tecnologia ZigBee, con l'Istituto Superiore Mario Boella.

- Seamless roaming tra assetti comunicativi mobili e fissi (mobile-home, mobile-office), con il Consorzio di ricerca RADIOLABS
- Tecniche di signal processing avanzate per sistemi OFDM multi-antenna in fase di definizione nel comitato di standardizzazione 3GPP E-UTRA, con il Politecnico di Torino
- Valutazione dell'induzione di stress ossidativo in linee cellulari umani normali e tumorali in seguito ad esposizioni a campi elettromagnetici alle frequenze in uso per la telefonia cellulare, con CNR-IREA.
- Mobile TV: studio e prototipazione di applicazioni interattive per Mobile TV broadcast (DVB-H) e convergenza al mondo IPTV, con l'Università degli studi di Torino
- Architettura eEPC per l'interazione terminale-lettore RFID basata sul protocollo Zig-Bee, con l'Università degli studi di Verona.
- Definizione di modelli per lo studio delle prestazioni dei sistemi OFDMA (in particolare con parametrizzazione WIMAX nel supporto di servizi multimediali e real-time a pacchetto), con l'Università degli studi di Pisa
- Tecniche di signal processing avanzate per collegamenti radio ad alto throughput (wireless broadband), con l'Università degli studi di Pisa
- Wireless video sensor networks for smart home environments and energy harvesting techniques, con Alma Mater Studiorum-Università di Bologna
- Definizione di modelli per lo studio delle prestazioni dei sistemi HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) e HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), con Università degli studi di Pisa

## E.14. VODAFONE

### L'azienda

Vodafone Italia fa parte di Vodafone Group Plc. Vodafone Group Plc offre una gamma completa di servizi di telecomunicazione mobile, inclusi quelli di comunicazioni vocali e di dati, ed è la società di telecomunicazioni mobili più grande del mondo, con una presenza significativa in Europa compreso il Regno Unito, negli Stati Uniti e in Estremo Oriente, attraverso le sue imprese consociate, associate e i suoi investimenti. Le consociate di telefonia mobile del Gruppo operano sotto il marchio 'Vodafone'. Negli Stati Uniti l'associata del Gruppo opera come Verizon Wireless. Nei due ultimi anni finanziari, il Gruppo ha anche stretto degli accordi con operatori di rete in Paesi in cui il Gruppo stesso non ha quote di partecipazione azionaria. Secondo questi Partner Network Agreements, il Gruppo e le reti partner collaborano allo sviluppo al marketing dei servizi globali usando i loghi di entrambi i marchi. In base al numero dei clienti registrati con le imprese di telecomunicazione mobile in cui aveva una cointeressenza alla data del 31

dicembre 2005, il Gruppo aveva 179,3 milioni di clienti, esclusi quelli di paging (cerca-persone), calcolati proporzionalmente in base alla percentuale di cointeressenza del Gruppo in tali imprese.

### **I progetti per la PA**

La naturale evoluzione delle soluzioni già disponibili in ambito e government è rappresentato dal mobile government, vale a dire quella classe di servizi che completano l'e-government avvalendosi delle più moderne tecnologie offerte dalla telefonia mobile e quindi disponibili in mobilità'.

L'infomobilità, intesa come possibilità di disporre di accesso continuo interattivo ed intelligente alla rete associata alla disponibilità di nuovi servizi è destinata a migliorare efficacemente le relazioni fra il mondo pubblico ed i cittadini. In questa direzione va quindi lo sforzo che le aziende di telefonia mobile e Vodafone in particolare stanno compiendo, rendendo disponibili nuovi servizi in ambiti che vanno dalla sicurezza alle informazioni sulle attività riguardanti il tempo libero o la propria salute. Alcuni esempi di soluzioni già rilasciate riguardano informazioni sulla viabilità e traffico, servizi abilitanti ai pagamenti per il cittadino (es pagamenti parcheggi), servizi per il coinvolgimento dei cittadini nei processi decisionali (es votazione elettronica, sondaggi), servizi per la salute del cittadino (telemedicina ed assistenza) servizi di alerting in caso di emergenza e pericolo (invio sms di alert), servizi per l'efficienza dei processi operativi degli Enti Pa (tracking e localizzazione squadre di emergenza), servizi di autenticazione tramite SIM. In un prossimo futuro le Pubbliche Amministrazioni, attraverso portali dedicati, potranno agevolmente dialogare con il cittadino informandolo e recependo le opinioni (telesondaggi/e-democracy), così come sarà possibile in futuro ideare nuovi servizi ancora più sfidanti quali ad es gestione certificati on-line, anagrafica elettronica

## 10. Riferimenti bibliografici

- [1] H. Holma, A. Toksala, *WCDMA for UMTS*, J. Wiley & Sons, 2000.
- [2] H. Kaaranen, et al., *UMTS Networks*, J. Wiley & Sons, 2001.
- [3] ETSI ETS 300 652 - Radio Equipment and Systems (RES); High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Functional Specification
- [4] ETS 300 893 - Radio Equipment and Systems (RES); High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Functional Specification
- [5] ETSI TR 101 031 - Broadband Radio Access Networks (BRAN); High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 2; Requirements and architectures for wireless broadband access
- [6] TS 101 961
- [7] ETSI TR 102 003 - HIPERACCESS system overview
- [8] ETSI TS 101 999 - HIPERACCESS PHY specification
- [9] ETSI TS 102 000 - HIPERACCESS Data Link Control (DLC) Layer
- [10] ETSI TS 102 115 e ETSI TS 102 117 - Convergence Layers for the cell and packet based core networks
- [11] ETSI TS 102 177 PHY layer
- [12] ETSI TS 102 178 DLC layer
- [13] ETSI TS 102 210 System profiles
- [14] ETSI TS 101 999 HIPERACCESS PHY specification
- [15] ETSI TS 102 000 HIPERACCESS Data Link Control (DLC) Layer
- [16] ETSI TS 102 115 e ETSI TS 102 117 - Convergence Layers for the cell and packet
- [17] ETSI TS 102 389 MIB
- [18] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", 1 October 2004.
- [19] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Part 16: "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", IEEE Std 802.16e™-2005, 28 February 2006.
- [20] <http://www.ieee802.org/>
- [21] <http://www.wimaxforum.org>
- [22] C. A. Marchi, F. Vatalaro, "Wireless LAN: Stato dell'arte e prospettive", *Mondo Digitale*, pp. 50-63, n.2, giugno 2003.
- [23] B. Friedrichs, "BRAN Summary", <http://portal.etsi.org/bran/Summary.asp>, 5.2.2007.

- [24] A. Vaillant, "HSPA: UMTS, ma con una marcia in più!", *Notiziario Tecnico Telecom Italia*, Anno 15, n. 3 - Dicembre 2006, pp. 61-64.
- [25] IEEE Std 802.11e™-2005, 11.11.2005.
- [26] S. Mangold, S. Choi, et al., "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service", *Proc. European Wireless 2002*, Florence, Italy, February 2002.
- [27] A. Nascimbene, "ETSI Project - Broadband Radio Access Networks (BRAN) – HIPERACCESS", Doc. N. IEEE 802.16l-00/08, 1.03.2000, Albuquerque, NM.
- [28] IEEE Std 802.11b-1999, Supplement To IEEE Standard For Information Technology-Telecommunications And Information Exchange Between Systems- Local And Metropolitan Area Networks- Specific Requirements- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) And Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-speed Physical Layer Extension In The 2.4 GHz Band.
- [29] IEEE Std 802.11a-1999, Supplement to IEEE standard for information technology telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements. Part 11: wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: high-speed physical layer in the 5 GHz band.
- [30] IEEE Std 802.11g-2003, Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band.
- [31] Andrew S. Tanenbaum, "Computer Networks", Fourth Edition, Ed. Prentice Hall, 2003.
- [32] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", 1 October 2004.
- [33] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Comm. Mag.*, Aug 2002.
- [34] Pulsers project: <http://www.pulsers.info>
- [35] "GSM 05.05 version 5.4. 1: Digital cellular communication system (Phase 2+); Radio transmission and reception," *Eur. Telecommun. Standards Inst.*, ETSI 300 190, 1997.
- [36] G. Faria, J. A. Henriksson, E. Stare, P. Talmola, "DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices", *IEEE Proc.*, Vol. 94, No. 1, Jan. 2006
- [37] 3GPP TR101.112V3.2.0 (1998-04) "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)"; Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS (UMTS 30.03 version 3.2.0).
- [38] 3GPP, "Radio Frequency (RF) system scenarios", *Tech.Spec. Group Radio Access Networks; (Release 6)*, 3GPP TR 25.942 V6.4.0, Mar 2005.
- [39] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Part 16: "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", IEEE Std 802.16e™-2005, 28 February 2006.

- [40] IEEE Standard for Information technology, Specific requirements: Part 15.1 “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs)”, 14 Jun. 2002.
- [41] IEEE Standard for Information technology, Specific requirements: Part 15.4: “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, 1 Oct 2003.
- [42] K. S. Gilhousen and I. M. Jacobs, et al., “On the capacity of a cellular CDMA system,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [43] “The evolution of UMTS/HSDPA”, 3GPP release 6 and Beyonds, Jul 2005.
- [44] 3GPP, “Radio Frequency (RF) system scenarios”, Tech. Spec. Group Radio Access Network, (Release 7), 3GPP TR 25.942 V7.0.0, Mar. 2007.
- [45] <http://www.ieee802.org/21/>
- [46] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “A Survey on Sensor Networks”, IEEE Comm. Mag., Aug 2002.
- [47] I. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, “Wireless mesh networks: a survey”, Computer Networks, Volume 47, Issue 4, Pages 445-487.
- [48] Pavel Mach, Robert Beňák, “Wireless Mesh and Relay Networks” 4/12/2006 <http://fireworks.intranet.gr/Docs.asp?Type=Publications>.
- [49] T. Ulseth, P.E. Engelstad, “Voice over WLAN (VoWLAN) – A wireless voice alternative?”, Teletronikk, Vol. 1 - 2006, April 2006.
- [50] V. Trecordi, ICT Consulting e Politecnico di Milano, “Le tecnologie wireless nella PA”, Seminario di studio su Le tecnologie wireless, 21 Marzo 2006.
- [51] “Rapporto mobile & wireless business: una leva di innovazione organizzativa”, School of Management del Politecnico di Milano, AITech - Assinform, nov. 2006.
- [52] “Cisco thought leadership series wireless LAN benefits study”, conducted by NOP World – Technology on behalf of Cisco systems, fall, 2001.
- [53] “Livelli di servizio e penali” – Gara a licitazione privata per l'appalto dei servizi di connettività e sicurezza nell'ambito del sistema pubblico di connettività, Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione.
- [54] “Capitolto tecnico alla gara multifornitore” – Gara a licitazione privata per l'appalto dei servizi di connettività e sicurezza nell'ambito del sistema pubblico di connettività”, Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione.
- [55] L. Goasduff, “Press release: Gartner Says Corporate Wireless Is One Of The Most Significant and Immediate Technology Shifts”, 2003.
- [56] E. Frezza, “Le telecomunicazioni wireless nelle nuove infrastrutture della PA”, Presentazione Cnipa, 4.04.2006, <http://www.wirelessforum.it/spring2006/>.
- [57] W. Stallings, “IEEE 802.11: Wireless LANs from a to n,” IT Professional, vol. 06, no. 5, pp. 32-37, Sept/Oct, 2004.

- [58] Cisco White Paper, Design Principles for Voice Over WLAN, <http://www.cisco.com/>
- [59] Cisco White Paper, Capacity Coverage & Deployment Considerations for IEEE 802.11g, <http://www.cisco.com/>
- [60] Cisco White Paper, Deploying High Capacity Wireless LANs, <http://www.cisco.com/>
- [61] P. J. Welcher, Designing Wireless LANs, <http://www.netcraftsmen.net/>
- [62] Ya Wen, ENTERPRISE IP LAN/WAN DESIGN, version 1.1, <http://www.taos.com>
- [63] Spectralink White Paper, DEPLOYING NETLINK WIRELESS TELEPHONES BEST PRACTICES, version 1.3, may 2006, <http://www.spectralink.com/>
- [64] S. U. Foppa, "Digital Divide, Azioni e Percorsi per Combatterlo", Mondo Digitale, Giugno 2002, N. 2, pp.66-70.
- [65] <http://www.osservatoriobandalarga.it/>
- [66] <http://www.comitatobandalarga.it/>
- [67] G. Cayla, S. Cohen and D. Guigon, "Wi-MAX - An Efficient Tool to Bridge the Digital Divide", <http://www.wimaxforum.org>
- [68] D. Sweeney, "WiMax Operator's Manual Building 802.16 Wireless Networks", 2nd Ed., Apress, 2006.
- [69] White Paper, "Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on Wi-MAX Technology and the 802.16 Standard", <http://www.wimaxforum.org>
- [70] D. Pareek, "The Business of Wi-MAX", John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [71] R. Steele, L.Hanzo (Eds.), "Mobile Radio Communications", Wiley, 2nd Ed., 2000.
- [72] A.S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Fourth Edition, Ed. Prentice Hall, 2003.
- [73] A. C.V. Gummalla, J.O. Limb, "Wireless Medium Access Control Protocols", IEEE Comm. Surveys & Tutorials, Second Quarter 2000, pp. 2-15. <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>
- [74] Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part 11: "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 802.11b-1999, 2003.
- [75] IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 11: "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", Amendment 8: "Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements", IEEE 802.11e-2005, 11 November 2005.
- [76] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", 1 October 2004.
- [77] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Part 16: "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", IEEE Std 802.16e™-2005, 28 February 2006.







# CNIPA

Centro Nazionale per l'Informatica  
nella Pubblica Amministrazione

via Isonzo, 21/b - 00198 Roma

tel. 06 85264.1

[www.cnipa.gov.it](http://www.cnipa.gov.it)