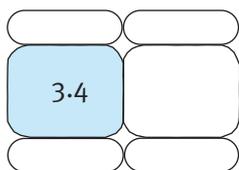




TECNOLOGIE WIRELESS PER LA LARGA BANDA

SCENARI EVOLUTIVI

Roberto Piermarini
Guido Vannucchi



L'offerta tecnologica di soluzioni per la larga banda "wireless" sta diventando sempre più ampia, con differenti soluzioni finalizzate all'offerta di connettività per qualsiasi tipo di applicazione in mobilità e obiettivi molto ambiziosi in termini di *bit-rate* (in *down* e *up-link*) e di efficienza spettrale. Nel presente articolo si offre un panorama su evoluzione e limiti di tali tecnologie contraddistinte anche dalla contrapposizione tra la "filiera 3GPP" che proviene dalla terza generazione di cellulari (UMTS) e la "filiera IEEE", derivata dalle *Wireless-LAN*, che porta avanti lo standard *WIMAX*.

1. PREMESSA

In questo articolo si desidera presentare un panorama dello sviluppo dei sistemi *wireless* verso la larga banda con qualche considerazione sulle problematiche connesse a tale sviluppo nel momento in cui i traguardi tecnologici si stanno ormai rapidamente approssimando al massimo sfruttamento della densità spettrale (limite di Shannon).

Il campo applicativo preso in considerazione non si limita alle sole tecnologie *wireless* nel senso stretto della parola, ma invade anche il campo della **convergenza fisso-mobile** e dei servizi puramente **diffusivi** per Mobile-TV. Questo dinamismo nel mercato per la larga banda *wireless*, è uno stimolo da un lato ad una sempre maggior (e forse eccessiva) concorrenza e dall'altra ad una continua accelerazione dei cicli di vita dei prodotti con le relative conseguenze non sempre positive.

Per aiutare il lettore interessato ad orientarsi in questa complessa materia - caratterizzata dall'impiego, anche nei prodotti di mercato, di un'eccessiva quantità di sigle tecniche di

cui spesso si ignora il significato - abbiamo ritenuto utile introdurre una **classificazione dei sistemi wireless** e tracciare un **profilo della loro evoluzione** storica e prevista. Ciò è utile da un lato per posizionare le tante sigle introdotte e dall'altro per cercare di individuare le ragioni della forte competizione creatasi tra le varie "filieri" in cui può essere allocata l'attuale offerta tecnologica.

Le ragioni che, in ogni caso, spingono al sempre maggior sviluppo della larga banda in mobilità sembrano potersi così riassumere:

- richiesta di ubiquità nell'accesso ai servizi a larga banda;
- stima che, almeno nel lungo termine, l'attuale utilizzo intensivo delle coppie in rame in tecnica ADSL sia destinato, con l'aumento di velocità, ad essere frenato da problematiche tecniche quali i problemi di diafonia tra coppie nel momento in cui l'impiego si estenderà a molti utilizzatori sullo stesso cavo;
- maggiore facilità a risolvere, con soluzioni *wireless*, i problemi di "Digital Divide";
- ampliamento del mercato a tutte le applicazioni "machine-to-machine".

Permangono tuttavia, nelle applicazioni in mobilità, problemi critici ai quali deve essere data una adeguata risposta, pena il successo sul mercato di tutte le nuove proposte. Possiamo citare, come sfide determinanti per il successo:

- l'importanza che il servizio in mobilità sia anch'esso del tipo "always on";
- la capacità di offerta di modelli tariffari adeguati a quelli delle reti fisse e di tipo flat anche se, nel caso del segmento mobile di accesso all'utente, occorre impiegare risorse condivise anziché dedicate (come è invece il caso delle reti cablate).

2. EVOLUZIONE DEI SISTEMI WIRELESS

Come già accennato, il **termine mobilità** (riquadro) è adottato in quest'articolo nel suo significato più generale e, corrispondentemente, le diverse famiglie (o filiere) indicate nello stesso riquadro coprono tutte le possibili applicazioni *wireless* (a parte la cortissima distanza).

Nell'ambito di questa classificazione, il presente paragrafo si propone di sintetizzare in modo semplice l'evoluzione storica e prospettica dei diversi apparati comparsi o che compariranno sul mercato, con particolare riferimento alle soluzioni tecnologiche che sono impiegate in Europa e in Italia.

Nei successivi due paragrafi si approfondiranno invece, con qualche maggiore dettaglio tecnico, le evoluzioni che si ritengono più importanti per la larga banda mobile del prossimo futuro, per poi passare ad accennare l'importantissima tematica dell'utilizzo dello spettro e concludere, nei due paragrafi finali, con una serie di considerazioni che coprono i vari tipi di problematiche.

2.1. La filiera 3GPP

Già dal 1982, si compiono in Europa i primi passi verso il primo sistema in tecnica digitale, denominato di "seconda generazione" (2G) per distinguerlo dai predecessori di tipo analogico come il TACS (*Total Access Communication System*). Nasce così lo standard europeo di grande successo denominato GSM (*Global System for Mobile communications*) che inizia ad essere operativo nel 1993. Il GSM è il primo sistema ad in-

stradamento (*roaming*) europeo, non clonabile, che consente comunicazioni crittografate e che permette uno sfruttamento dello spettro in modo significativamente più efficiente rispetto ai sistemi analogici. In Europa il GSM usa un totale di circa 120 MHz di banda, allocati in parte nella gamma del 900 MHz ed in parte in quella del 1800 MHz, in ambedue i casi con passo di canalizzazione di 200 kHz.

Uno dei componenti distintivi del GSM è la SIM (*Subscriber Identity Module*) ossia la scheda di memoria estraibile sulla quale sono memorizzati i dati dell'abbonato e che introduce un elevato standard di sicurezza nella gestione del servizio, sia per l'utente che per la rete.

IL TERMINE "MOBILITÀ" E LA CLASSIFICAZIONE DELLE "FILIERE" WIRELESS

Nel presente articolo si fa riferimento al termine "mobilità" in tutte le seguenti accezioni.

Accesso nomadico

Il terminale di utente, mentre è in funzione, viene considerato un terminale di accesso fisso e resta sempre associato alla stessa cella. In caso di spostamenti all'interno di una stessa cella la sessione non deve essere necessariamente ripristinata, ma la sua continuità non è comunque garantita.

Accesso "portable"

Il terminale di utente mantiene una sessione operativa mentre viene mosso all'interno della copertura di rete alla velocità tipica di una persona che si muove a piedi.

Accesso mobile

Il terminale di utente mantiene una sessione operativa (di norma con continuità di connessione) anche per applicazioni *real-time* e mentre ci si muove a velocità veicolare all'interno del raggio di copertura della rete. Le prestazioni di *hand-over* garantite tra celle differenti devono essere in grado di offrire continuità di servizio per tutte le applicazioni.

I sistemi *wireless* finora proposti possono classificarsi in **quattro grandi famiglie o "filiere"**:

A. Tecnologie cellulari di tipo radiomobile, nate per coperture geografiche estese, indicate come **"filiera 3GPP"** (*3rd Generation Partnership Project*). Questo gruppo include in particolare il sistema UMTS (*Universal Mobile Telephone System*) ormai in uso ed il sistema HSPA (*High Speed Packet Access*) che ne estende le funzionalità, ma anche da un lato il sistema capostipite iGSM e dall'altro il futuro sistema LTE (*Long Term Evolution*).

B. Tecnologie cellulari di tipo W-LAN (almeno storicamente parlando), originariamente concepite per realizzare LAN (*Local Area Network*) in tecnologia radio e che ora stanno evolvendo verso obiettivi di coperture più estese ed applicazioni *"full mobility"* del tutto equivalenti alla prima filiera. Tale famiglia di standard, spesso identificata come **"filiera IEEE"**, include, in particolare, Wi-Fi e WiMAX, in aggiunta ad altre varianti inizialmente proprietarie come il *Wi-Bro*.

C. Tecnologie satellitari, per accesso verso il singolo utente in modalità unicast.

D. Tecnologie diffuse multimediali per terminali mobili in modalità broadcast-multicast come il DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) e la famiglia DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*). Appartiene a questa categoria anche il sistema MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) che, di fatto, è una funzionalità dell'UMTS estesa a servizi di tipo diffusivo.

Con il GSM vengono anche introdotti i **primi servizi dati** e, in particolare, il servizio SMS (*Short Message Service*) che ottiene un successo superiore ad ogni aspettativa.

Con la versione denominata 2.5 G (*Seconda Generazione e mezzo*) viene introdotto il servizio GPRS (*General Packet Radio Service*), caratterizzato per i servizi dati dall'adozione della trasmissione a pacchetto (con un valore massimo di velocità dell'ordine dei 30-40 kbit/s per utente). Tale prestazione consente per la prima volta l'impiego del cellulare come "wireless modem" per navigare in Internet e accedere, utilizzando il protocollo di navigazione WAP (*Wireless Access Protocol*), ai siti Web direttamente dal telefono mobile.

La tecnica di accesso normalmente adottata per la famiglia GSM è il TDMA (*Time Division Multiplex Access*) in cui un canale radio, con spaziatura di 200 kHz, può essere assegnato a divisione di tempo ad un massimo di 8 utenti (nel caso del cosiddetto "full-rate" di compressione della voce).

Per la voce (campionata a 8 kHz con 13 bit) viene impiegata una codifica di compressione che porta la *bit-rate* a 12.5 kbit/s (**full-rate**), portata successivamente a 5,6 kbit/s (**half-rate**) con possibilità di coesistenza con la precedente. Nel 1998 è stata introdotta una più efficace tecnica di compressione denominata AMR (*Adaptive Multi-Rate*), oggi largamente impiegata, la quale adatta la velocità di trasmissione alle caratteristiche del canale.

Il multiplo delle conversazioni telefoniche impiega per la trasmissione una particolare modulazione di fase (GMSK) della portante studiata per ottimizzare l'occupazione spettrale. Per quanto riguarda i **dati trasmessi a pacchetto**, il GSM sfrutta un singolo *time-slot* di un canale radio con *bit-rate* di 8, 12, 14.4, 20 kbit/s, a seconda di quattro possibili livelli di protezione di errore adottati. Più *time-slot* possono essere concatenati per realizzare un canale dati condiviso dagli utenti. Oggi le reti e i terminali consentono di aggregare fino a quattro *time-slot* che, a seconda delle codifiche impiegate, raggiungono valori di *bit-rate* che variano tra i 32 e gli 80 kbit/s. Le situazioni interferenziali di rete riducono normalmente questo valore attorno ai 40 kbit/s.

L'evoluzione più spinta della tecnologia 2.5 G è denominata EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) e consiste in un'evoluzione del GPRS. Questa è ottenuta attraverso la possibilità di utilizzare in modo adattativo la modulazione 8PSK (che porta il valore di *bit-rate* di picco teorico da 20 kbit/s a 60 kbit/s per *time-slot*) e nuovi schemi di codifica. In aggiunta sono presenti alcune ottimizzazioni nei protocolli orientate ad aumentare la rapidità di adattamento al canale e uno schema per la ritrasmissione dei pacchetti errati.

Negli anni '90 si comincia a pensare ad una **terza generazione (3G)** di sistemi cellulari puntando a sfruttare anche le bande attorno ai **2 GHz**.

L'ITU (*International Telecommunication Union*) si fa promotore di una famiglia di nuovi standard per la mobilità, denominati IMT-2000 (*International Mobile Telephony 2000*), essenzialmente centrati sull'impiego di tecniche di accesso multiplo di tipo CDMA (*Code Division Multiple Access*), ritenute più efficienti nello sfruttamento delle risorse radio. L'Europa sceglie, tra i sistemi della famiglia IMT-2000, lo standard UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*).

Nella tecnica a dispersione di spettro (*spread spectrum*) CDMA, ogni singolo utente occupa l'intera banda disponibile e tutte le sessioni di comunicazione sono sovrapposte tra loro nell'ambito dello spettro di canalizzazione adottato (5 MHz nel nostro caso in duplex per andata e ritorno). La demodulazione avviene attraverso tecniche di correlazione che sfruttano un particolare "codice" identificativo associato a ciascuna di esse.

In particolare, il sistema UMTS si identifica con l'adozione della tecnica di accesso radio W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), sviluppata dai giapponesi della NTT e proposta all'ITU per ottenere maggiori prestazioni di velocità rispetto ai sistemi CDMA già esistenti. Essa prevede, tra le altre cose, un controllo di potenza adattativo sulla base del rapporto tra segnale utile e interferente. Con l'UMTS, la capacità teorica massima per i **dati** messa a disposizione di un singolo utente risulta pari a **384 kbit/s**, ossia significativamente maggiore di quella ottenibile con il GSM e le sue evoluzioni GPRS ed EDGE. Se si utilizza una configurazione che dedica tutta

la banda disponibile del sistema alle comunicazioni a pacchetto il **“throughput” per un’intera cella**, sui 5 MHz disponibili, risulta pari a 2 Mbit/s da suddividere tra i diversi utenti attivi nella cella.

L’UMTS, però, è solo la prima tappa della **roadmap 3G**.

Con il nuovo sistema HSPA (*High Speed Packet Access*), sempre con tecnica d’accesso W-CDMA, ma con modulazione della portante a 16 livelli, il *bit-rate* erogato aumenta ulteriormente (si è raggiunto il valore di 3.6 Mbit/s per cella già alla fine del 2006), con l’obiettivo di raggiungere una **velocità massima teorica** (denominata anche di **picco**) pari a 14.4 Mbit/s in *down-link* e di 5.8 Mbit/s in *up-link*, senza che per il singolo utente vi siano, almeno in linea di principio, limitazioni rispetto all’impiego pieno dell’intera capacità della cella qualora egli fosse l’unico utilizzatore.

Per questa tecnologia si adottano i termini **HSDPA** per il tratto in *down-link* ed **HSUPA** per quello in *up-link*.

Una tappa ulteriore del 3G è costituita dal cosiddetto HSPA evoluto, o **HSPA+** che, impiegando la modulazione a 64 QAM in luogo del 16 QAM, porta la capacità del sistema in *down-link* a 21,6 Mbit/s (6/4 di 14,4). Questa *bit-rate* può essere ulteriormente incrementata con l’adozione di sistemi di *diversity* di spazio in trasmissione e ricezione.

L’ulteriore traguardo tecnologico viene oggi indicata con la denominazione LTE (*Long Term Evolution*) e, attraverso l’impiego della stesso tipo di modulazione OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) adottato per il WIMAX, rappresenta una risposta dell’industria della filiera 3GPP a quella della filiera IEEE cui si accenna nel punto successivo.

2.2. La filiera IEEE

I primi sistemi commerciali di tipo *Wireless LAN*, ossia per **“Local Area Network”**, hanno fatto la loro comparsa già all’inizio degli anni ‘90. L’IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), organo primario di standardizzazione delle reti LAN, iniziò in tale periodo un progetto di standardizzazione in tecnologia *wireless*. La fase di progettazione si è conclusa nel 1997, con il pri-

mo standard per W-LAN (*Wireless LAN*), denominato **IEEE 802.11** operante nella banda del 2.4 GHz, gamma di frequenza non licenziata e pertanto condivisa tra i vari utilizzatori.

Nel 1999, l’IEEE modifica e potenzia lo standard, risolvendo i vari problemi di mancanza di interoperabilità e di capacità troppo limitata. Si dà così vita ad un’evoluzione che viene denominata *802.11b*, più nota con l’acronimo Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). Il sistema impiega una modulazione a spettro espanso DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e fornisce connettività con un massimo teorico di velocità pari a 11 Mbit/s. Per il protocollo impiegato, il sistema prende anche il nome di **“Wireless Ethernet”**, per sottolinearne l’impiego di base come tecnologia di *cable replacement*.

Un ulteriore standard denominato IEEE *802.11a*, cerca di mantenere il passo con le LAN cablate. In particolare, l’impiego della modulazione OFDM consente a questo standard di raggiungere una velocità pari a 54 Mbit/s e la frequenza di lavoro viene spostata nella gamma del 5 GHz.

Le pressioni per l’impiego della banda del 2.4 GHz spingono nel 2000 all’uscita dell’ulteriore standard IEEE *802.11g* (combinazione dell’*802.11b* e del *802.11a*). Si tratta dell’evoluzione del Wi-Fi verso la tecnologia OFDM che porta a raggiungere una capacità di 54 Mbit/s (ed arriva fino a 108 Mbit/s adottando le tecnologie proprietarie di vari costruttori). In Italia esistono 2500 *hotspot* pubblici in grado di fornire accessi Wi-Fi, tecnologia che si è rapidamente diffusa con grande successo, anche se l’applicazione rimane confinata al caso nomadico e con coperture per lo più limitate all’interno di edifici pubblici.

Si pone a questo punto, in ambito IEEE, il problema di ottenere coperture geografiche maggiori e gli studi si spostano dalle reti LAN alle reti MAN (*Metropolitan Area Network*), ossia con più ampia copertura geografica. In tal modo l’IEEE tende ad entrare progressivamente in concorrenza con il 3GPP, cui sopra si è già accennato, ed i rispettivi campi di applicazione iniziano così a confondersi.

Il sistema per quest’obiettivo si chiama WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), termine che sta ad indicare il marchio di

interoperabilità per la nuova famiglia di standard **IEEE 802.16**, nata nel 2001.

Il WIMAX nasce con requisiti di coperture *wireless* estese al cosiddetto “ultimo miglio”, ponendosi obiettivi di qualità del servizio (*QoS*) e di gestione della sicurezza, anche se è importante ricordare che sia Wi-Fi che WIMAX non comprendono specifiche per l'intero collegamento *end-to-end*, come per i sistemi cellulari 3GPP, ma si concentrano esclusivamente sulla tratta di accesso radio. Per superare questa limitazione, il WIMAX Forum, organizzazione di operatori e produttori a sostegno del WIMAX, sta cercando di integrare il lavoro dell'IEEE con attività che rendono il sistema realmente implementabile e che prevedono anche lo studio di architetture *end-to-end*. Attività fondamentale del WIMAX Forum, è la definizione e certificazione dei vari profili, ognuno afferente ad una specifica banda e tecnica di *duplexing*.

Le maggiori ambizioni del sistema consigliano l'adozione di **frequenze di tipo “licenziato”** (paragrafo 5) che assicurano maggiori garanzie da interferenze. I costi più alti di aggiudicazione per porzioni di spettro licenziato sono normalmente bilanciati dalle migliori garanzie di controllo sull'uso dello spettro assegnato, anche se l'iter temporale di assegnazione può risultare, come spesso capita in Italia, significativamente più lungo.

Oggi si parla di due versioni fondamentali di WIMAX: la “**IEEE 802.16d**” (chiamata anche **versione 2004**) studiata per offrire servizi a larga banda per apparati fissi o nomadici e la “**IEEE 802.16e**” (indicata come **versione 2005**) che consente la piena mobilità dei terminali d'utente. I due standard non sono compatibili tra loro.

Le due versioni sono caratterizzate da diversi profili nelle **gamme di frequenze** 2.3, 2.5, 3.5, 3.7 e 5.8 GHz con larghezza dei **canali radio** flessibile da 1.25 MHz a 20 MHz.

La realtà europea del WIMAX-2004 vede inizialmente una prevalenza dei profili nella banda 3.5 GHz con canali da 3.5, 5, 7, 10 MHz e con una possibile estensione nel medio periodo alla banda 2.5 GHz (come già possibile in alcuni paesi europei). Per quanto invece riguarda i canali radio, la loro flessibilità è un obiettivo molto interessante. Pertanto, an-

che la filiera degli standard 3GPP che, come già detto, utilizza attualmente canali radio con banda fissa da 5 MHz, sta lavorando con l'obiettivo preciso di raggiungere, per il futuro sistema LTE, un'analogia flessibilità nell'uso dello spettro radio.

Come modulazione il WIMAX ha sposato la tecnologia della **modulazione OFDM** (sia per *down-link* che *up-link*) affermatasi ormai in svariati campi applicativi perchè gode (a meno di vincoli specifici da rispettare) di prestazioni superiori agli altri tipi di modulazioni. Per la versione 2004 con canalizzazione a 10 MHz, tale modulazione consente di raggiungere una *bit-rate* di picco per cella di **33 Mbit/s in down-link** e di **4 Mbit/s in up-link**. Su questa scia anche per il sistema LTE della famiglia 3GPP è stato deciso di abbandonare la modulazione W-CDMA per sposare la scelta OFDM per il *down-link*.

Si rimanda al successivo paragrafo 3 per maggiori dettagli sul cammino e sulle scelte tecnologiche operate dai due sistemi avanzati LTE e WIMAX-2005 che rappresentano, come caratteristiche e filosofia, i sistemi di riferimento del futuro e che, probabilmente, potrebbero tendere a convergere in un sistema unico.

2.3. La filiera satellitare “unicast”

I servizi satellitari per applicazioni commerciali sono complessivamente identificati come **MSS (Mobile Satellite Services)**.

Come è noto, i consorzi *Iridium* e *Globalstar* (che lavorano con satelliti in orbite basse) non hanno portato i ritorni di mercato sperati, nonostante il fatto che dal punto di vista tecnologico si siano compiuti grandi passi avanti ed hanno lasciato una certa diffidenza in investimenti nell'area mobile satellitare.

Immarsat ha lanciato la cosiddetta **B-GAN (Broadband Global Area Network)** in grado di offrire *bit-rate* fino a 492 kbit/s in terminali portatili ovunque sulla terraferma e sui mari, in particolare per situazioni di emergenza, in aree colpite da disastri o conflitti.

In definitiva il satellite, nella generazione 2G, ha avuto un ruolo nell'estensione geografica e complementarità dei servizi, ma non è riuscito a conquistare una porzione significativa del mercato di massa.

Per applicazioni satellitari puramente diffusi-

ve del tipo *multicasting* il ruolo che potrà giocare sembra però assai maggiore.

2.4. La filiera diffusiva multicast

Con la diffusione dei servizi di *Mobile-TV* si sta dando particolare attenzione a tutte le possibili soluzioni che permettano di estendere l'area di copertura e di interesse per tali servizi. Non vi è dubbio che tali sistemi rientrino nel quadro complessivo della multimedialità *wireless*, pur rappresentando un campo particolare. Per tale ragione non si entrerà in eccessivi dettagli che esulano dalle finalità.

In particolare come sistemi terrestri vanno ricordati: il **DVB-H** (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) ed il **T-DMB** (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*). Il primo nasce come *fall-out* della televisione digitale terrestre DVB-T e viene visto con particolare favore dai gestori di *broadcasting* televisivo, consentendo nell'ambito del Multiplex di trasporto, la trasmissione di 10-20 programmi del nuovo servizio in luogo di un programma televisivo normale. Il secondo è un'estensione multimediale, e perciò anche per *Mobile-TV*, del più noto sistema DAB per la trasmissione di segnali audio digitali.

Nell'ambito della filiera diffusiva va ricordato il sistema **MBMS** (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) che deve considerarsi la risposta del 3GPP alle forme diffuse precedentemente citate. Il sistema può considerarsi una versione con protocollo *multicast* dell'HSPA che prevede il trasporto su canali radio comuni a tutti gli utenti, di servizi di tipo punto-multipunto anziché di servizi punto-punto (*unicast*) e verrà implementato nell'*up-grading* previsto delle reti 3GPP per introdurre HSPA. Attualmente, le limitate risorse in frequenza rendono questa prestazione scarsamente appetibile se si desidera trasmettere agli utenti un numero significativo di programmi di *Mobile-TV* tra i quali operare la scelta desiderata. Sono tuttavia previste evoluzioni di MBMS (*Release 7* ed *8*) che potranno porre tale tecnologia in diretta concorrenza con le altre tecnologie diffuse anche in termini di capacità.

Per applicazioni di *Mobile-TV*, un particolare interesse stanno invece assumendo nuovi sistemi satellitari o, per essere più esatti, **si-**

stemi misti satellitari-terrestri che operano nella stessa gamma di frequenze.

3. L'EVOLUZIONE CONVERGENTE DEI SISTEMI WIRELESS VERSO LA LARGHISSIMA BANDA

Data l'importanza che tali sistemi avranno in futuro, è opportuno approfondire qualche aspetto tecnologico dei futuri sistemi LTE e WIMAX-2005.

3.1. Evoluzione dell'UMTS verso LTE

I sistemi UMTS sono stati migliorati per incrementare il *data-rate* sia nella tratta *down-link* che in quella *up-link*. Le denominazioni **HSDPA** (*High Speed Down-link Packet Access*) e **HSUPA** (*High Speed Up-link Packet Access*), nate separatamente per indicare il miglioramento ottenuto nel funzionamento nelle rispettive tratte, sono oggi riunite, come già detto sopra, nell'acronimo unificato HSPA.

Per quanto riguarda la **tratta di andata**, ossia di *down-link*, il concetto base di HSDPA consiste nel migliorare il *throughput* medio nella cella agendo essenzialmente su due fronti: massimizzando le prestazioni a livello di singolo *link* (con uno schema di modulazione più efficiente e l'adozione di più codici in parallelo) e adottando, a livello di rete, la "*User Diversity*". Questa si concretizza in schemi di modulazione e codifica adattativi e in uno *scheduling* dinamico delle risorse da assegnare ai singoli utenti. Queste tecniche consentono sostanzialmente di ottimizzare in modo estremamente dinamico (con una scala temporale di 2 ms) l'allocazione delle risorse ai diversi utenti. Ciò consente di evitare, ad esempio, di assegnare modulazione e codifica inutilmente robuste (che determinano un basso *bit-rate*) ad un utente che, in un determinato momento, si trova in condizioni propagative particolarmente favorevoli.

Oltre a queste tecniche, vanno sottolineate l'ottimizzazione di alcuni protocolli e lo spostamento di alcune funzionalità nella stazione radio base per ridurre i tempi di risposta. Questo vale in particolare per il meccanismo di ritrasmissione dei blocchi ricevuti errati il cui algoritmo, inoltre, è stato sensibilmente ottimizzato. Per l'accesso alle risorse viene inviata a ogni terminale, da parte della sta-

zione radio base, l'informazione su quando porsi in ascolto sul canale condiviso e su quali, dei codici possibili (fino a 15 assegnati in parallelo ad un singolo utente), viaggia l'informazione a lui destinata. Le caratteristiche trasmissive del canale condiviso, in termini di livello di protezione delle codifiche e schema di modulazione, possono variare ogni 2 ms.

Le modulazioni utilizzate in *down-link* per la portante radio, nell'ambito delle evoluzioni della famiglia HSPA, sono il QPSK, il 16 QAM ed il 64 QAM.

Per quanto riguarda la **tratta di ritorno**, ossia di *up-link*, la necessità di contenere la potenza trasmessa dal terminale non consente di replicare il meccanismo visto in precedenza, anche se i concetti adottati per massimizzare il *throughput* sono sostanzialmente gli stessi. In questo caso si opera su un canale dedicato caratterizzato da una veloce assegnazione adattativa dei parametri trasmissivi (*Fast Link Adaptation*).

Per massimizzare la *bit-rate* a livello di *link* è stata introdotta la possibilità di utilizzare un codice con fattore di *spreading* più basso (richiede più potenza ma trasporta più informazione) e ciascun utente può utilizzare fino a 4 codici in parallelo. Per i miglioramenti a livello di rete si adotta la *user diversity* attraverso codifica e *scheduling* dinamici. In questo caso si opera con canale dedicato e lo *scheduling* viene effettuato stabilendo dinamicamente potenza e codifica che dovranno utilizzare i singoli terminali in modo da sfruttare nel modo più efficiente possibile il *Noise Rise Budget* (ossia il residuo incremento possibile di potenza di rumore complessivo in aria). Il tipo di modulazione adottato in *up-link* è il QPSK per contenere la potenza di uscita del cellulare.

Nella tabella 1 sono riportate le informazioni di base per l'HSPA come definito dal 3GPP.

L'ulteriore evoluzione dell'HSPA assume il nome di **HSPA+** e fa riferimento all'applicazione di tecniche di **diversity di spazio** per le

Release 3 GPP		Release 99/ Release 4	Release 5	Release 6	Release 7		
Principali innovazioni introdotte		W-CDMA	HSDPA	HSPA	HSPA+		
Tratta in Down Link	Modulazioni disponibili	QPSK	QPSK/16QAM	QPSK/16QAM	QPSK 16QAM 64QAM		
	Intervallo di trasmissione	10 ms	2 ms	2 ms	2 ms		
	Nuovi codici	-	15	15	15		
	MIMO	-	-	-	si (da 2 a 4 antenne)		
Tratta in Up Link	Modulazione	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK 16QAM		
	Intervallo di trasmissione	10 ms	10 ms	2 ms	2 ms		
	Nuovi codici	-	-	4	4		
	MIMO	-	-	-	si (da 2 a 4 antenne)		
Velocità di picco in DL (Mbit/s su 5MHz)		0,384	14,4	14,4	21	28	42
					64 QAM	MMO 2x 16 QAM	MMO2x 64 QAM
Velocità di picco in UL (Mbit/s su 5MHz)		0,384	0,384	5,8	12		
Latenza (ms) Ping su 32 byte		120	65	65	<65		

TABELLA 1

Parametri generali della famiglia 3GPP

antenne denominate **MIMO (Multiple Input Multiple Output)** e di impiego di modulazioni a numero di livelli più elevato: 64 livelli anziché 16 in *down-link*, 4 livelli in *up-link* (un ramo di una modulazione 16 QAM). È prevista anche una semplificazione architetturale dell'UMTS per quanto riguarda la rete di accesso, legata all'esigenza di gestire le maggiori velocità con costi di rete contenuti.

Gli obiettivi principali dell'HSPA+ sono i seguenti:

- sostituire completamente la commutazione a circuito con quella a pacchetto anche per la voce;
 - portare al massimo potenziale il sistema UMTS con modulazione W-CDMA, prima di passare al futuro sistema LTE basato sulla modulazione OFDM;
 - predisporre la rete per consentire la coesistenza tra l'evoluzione HSPA+ con W-CDMA ed il futuro sistema LTE; il tutto mantenendo la compatibilità con i sistemi già operanti.
- Per quanto riguarda i sistemi HSPA ed HSPA+ è molto importante sottolineare che essi possono essere **introdotti come aggiornamenti software** e, in entità abbastanza contenuta, **hardware** delle reti UMTS esistenti, conservando in tal modo la compatibilità col passato. Questo è un aspetto assai importante perché tale politica consente un **notevole risparmio dei costi di rete** rispetto ad una soluzione completamente nuova.

A partire da Novembre 2004, il 3GPP ha avviato gli studi per un'ulteriore evoluzione della tecnologia d'accesso radio in grado di fornire un'alta velocità di trasmissione, ottimizzata per l'accesso a pacchetto e con bassi tempi di latenza. Questa iniziativa in ambito 3GPP ha preso il nome di **LTE (Long Term Evolution)** da cui l'acronimo associato a questo nuovo sistema. Tra le caratteristiche più significative il sistema deve garantire la coesistenza con gli standard GSM/GPRS e UMTS e deve fornire un bit-rate di picco di **100 Mbit/s in down-link e 50 Mbit/s in up-link per cella** nella banda di 20 MHz.

La tecnica di accesso radio cambia drasticamente passando dal W-CDMA sulla banda dei 5 MHz alla tecnica OFDMA in *down-link* e SC-FDMA in *up-link* con canalizzazione non più fissa ma flessibile (1.25, 2, 5.5, 10, 15, 20 MHz). La spaziatura tra le sottopor-

tanti OFDM è mantenuta costante a 15 kHz nell'ambito delle diverse canalizzazioni sopra citate. Le modulazioni utilizzabili per ciascuna sottoportante sono il QPSK, il 16 QAM ed il 64 QAM in *down-link* mentre per l'*up-link* è adottato il QPSK ed il 16 QAM.

È previsto l'uso di tecniche di diversity di spazio MIMO con l'impiego di un numero di antenne che va da due a quattro.

Si prevede la commercializzazione del sistema attorno al 2010.

3.2. Evoluzioni verso il WIMAX-2005

Come già accennato, il **WIMAX-2004** ha adottato la modulazione OFDM per la trasmissione punto-punto per le due tratte e l'accesso di tipo OFDMA per gestire gli accessi multipli.

Nel **WIMAX-2005** il passo delle sottoportanti del sistema OFDM è stato fissato in 10,94 kHz (SOFDMA: *Scalable OFDMA*). Sembra che, per non ridurre le dimensioni della cella, sia in revisione l'adozione dell'OFDM in *up-link* con tendenza a portarsi su modulazioni più semplici (tipo SC-FDMA).

La profonda diversità delle interfacce radio rende i due standard 2004 e 2005 non interoperabili e perciò incompatibili tra di loro.

I sistemi LTE e WIMAX-2005 prevedono sia la modalità **FDD (Frequency Division Duplex)** che quella **TDD (Time Division Duplex)**.

Con la tecnica FDD, invece, le due portanti *up* e *down* sono separate in frequenza ed opportunamente distanziate di una banda di guardia prefissata. Tale tecnica si basa, per sua natura, su apparati che devono ricevere e trasmettere simultaneamente richiedendo, pertanto, la presenza di filtri che possano disaccoppiare le due semigamme.

La modalità TDD prevede di impiegare le due tratte sulla stessa portante, ma in *timeslot* differenti. Con la tecnica TDD, d'altro canto, può essere necessario sincronizzare tutte le stazioni base appartenenti ad una rete omogenea attraverso, ad esempio, l'impiego di ricevitori satellitari GPS. La tecnica TDD consente di realizzare ricevitori più economici (non devono trasmettere e ricevere simultaneamente) ed è in grado di gestire in modo flessibile ed ottimale il rapporto tra i *bit-rate* di *down-link* e di *up-link* (variando il rapporto tra i tempi di trasmissione nei due versi) consentendo l'utilizzo di porzioni di spettro non

accoppiate. Per contro presenta delle forti criticità dal punto di vista interferenziale (due terminali vicini connessi a reti diverse potrebbero trovarsi uno a trasmettere l'altro a ricevere su canali adiacenti).

IEEE ha proposto di includere la sola TDD nella versione 2005, mentre FDD è la tecnica prevalente nelle implementazioni dello standard 2004.

Anche nei sistemi WIMAX è previsto l'impiego di tecnologie avanzate di antenna quali l'**AAS (Adaptive Antenna System)**, in grado di indirizzare il fascio di irradiazione per consentire di inseguire un terminale in movimento massimizzando la potenza trasmessa nella sua direzione. Inoltre, in alternativa od in aggiunta, è previsto l'uso del sistema MIMO già menzionato per incrementare il *bit-rate* fornito a parità di qualità od aumentare l'area di servizio a parità di *bit-rate*.

Per la versione WIMAX-2005 con **canalizzazione a 10 MHz**, per esempio, nel caso di un rapporto temporale 3:1 tra le due direzioni ed utilizzando il MIMO a due antenne trasmettenti e due riceventi, la velocità massima in **down-link è di 46 Mbit/s**, mentre in **up-link è pari a 4 Mbit/s**.

Nel prossimo futuro si prevede che le velocità in *down-link* possa raggiungere i 50-70 Mbit/s con l'introduzione di più portanti per ogni settore, congiuntamente all'utilizzo di tecniche AAS e MIMO di tipo avanzato.

La portata delle **coperture radio** dipende molto dalla banda di frequenza, ma è possibile comunque poter coprire distanze **fino a 10 km in zone rurali**, non densamente popolate. In ambienti urbani e in condizioni di mobilità, distanze e capacità si riducono, analogamente a quanto succede per gli altri sistemi radio mobili.

Uno dei primi **prodotti commerciali** ispirato allo standard del WIMAX per la mobilità è il **WiBro**, lanciato in Corea ed in alcuni altri paesi orientali. Il WiBro, basato sul TDD e funzionante nella gamma dei 2.3 GHz, è nato da "un salto in avanti" rispetto allo standard IEEE ed è recentemente confluito, dopo opportune modifiche ed estensioni, nello standard WIMAX-2005.

Fatta eccezione per il servizio avviato in Corea con il WiBro, al momento ci sono in esercizio commerciale solo sistemi WIMAX-2004, men-

tre si prevede il lancio commerciale della versione 2005 nella seconda metà del 2007 attraverso diversi piani di realizzazione di cui il più noto è quello annunciato nell'estate del 2006 da *Sprint Nextel*, che prevede il collegamento con WIMAX mobile di decine di milioni di utenti entro la fine del 2009 nella banda 2.5 GHz.

3.3. Alcune considerazioni su velocità di picco e "throughput" di utente nei sistemi wireless

In precedenza si è sempre parlato di *bit-rate* o velocità di picco per cella. Per le reti *wireless* a larga banda, è opportuno chiarire alcuni concetti di base per una corretta comprensione della differenza tra le velocità massime teoriche (picco) raggiungibili e quelle effettivamente disponibili ai clienti (*throughput*).

Nel caso di comunicazioni a pacchetto, a differenza delle comunicazioni a circuito utilizzate per la voce, i dati trasmessi devono essere consegnati con un tasso di errore trascurabile o nullo. Questo significa che sono necessari dei meccanismi di ritrasmissione dei pacchetti errati (protocolli ARQ) che, di fatto, riducono la capacità trasmissiva a disposizione dell'applicativo che sta usando quel canale radio.

Il degrado introdotto dal canale radio è quindi visto in termini di riduzione del *throughput* rispetto alla velocità di picco e come variazione del tempo di latenza per effetto del *jitter* introdotto.

I fattori che influenzano la diminuzione della velocità di picco sono legati ad una molteplicità di fattori quali la qualità della copertura radio, il carico di traffico della cella, l'eventuale strozzatura del collegamento dalla stazione radio-base alle infrastrutture dell'operatore, il dimensionamento insufficiente del *core* della rete con conseguente congestione.

Non è quindi semplice dare una risposta alla domanda su quale può essere il vero *throughput* di utente.

A titolo di esempio si può ricordare che il Consorzio 3G-Americas ha fatto recentemente alcune campagne di misure su una rete UMTS dove è attivo l'HSDPA assieme alle tradizionali comunicazioni a circuito ed a pacchetto della rete UMTS standard. L'HSDPA considerato è la versione commercia-

le che presenta attualmente una velocità di picco per cella di 3,6 Mbit/s.

I test si riferiscono ad un terminale in grado di gestire una velocità di picco di 1,8 Mbit/s con il quale si richiede la consegna di un file con il protocollo FTP (*File Transfer Protocol*). Nel caso di rete scarica e con buone condizioni radio con terminale non in movimento, il valore mediano del *throughput* (a livello applicativo) è risultato di circa l'80% la capacità del terminale. Con rete in condizioni degradate per quello che riguarda la propagazione e con terminale non in movimento, il valore mediano si attesta attorno al 50%. Infine, nel caso di terminale in movimento e condizioni di propagazione radio favorevoli, il valore mediano del *throughput* si attesta attorno al 65% della capacità massima del terminale.

4. CENNI ALLE ARCHITETTURE DI RETE PER LE RETI WIRELESS A LARGA BANDA

L'evoluzione dei sistemi di accesso radio verso la gestione efficiente di comunicazioni a pacchetto è legata alle evoluzioni delle architetture di rete.

Un'architettura di rete è il complesso dei principi, delle regole di progetto, delle configurazioni fisiche, dell'organizzazione funzionale, dei pro-

tolli necessari per realizzare e gestire una rete in grado di erogare una serie di servizi.

Le architetture di rete si dividono in **architetture di accesso e di core**. L'accesso si riferisce al modo con cui viene gestita la raccolta del traffico *wireless*, il core definisce tutto ciò che è necessario per erogare i servizi richiesti.

Le architetture tradizionali per i sistemi GSM ed UMTS devono gestire le due tipologie di traffico a circuito (per la voce) ed a pacchetto per i dati in modo differenziato. Esse presentano pertanto un'architettura di accesso e di core "verticale", ossia con funzionalità distinte per le due tipologie di traffico. Nella figura 1 è riportato lo schema generale dell'architettura per il GSM e l'UMTS. Si noti la separazione dei dati dalla voce a livello core e la presenza di un nodo di controllo per la gestione dell'accesso radio (BSC - *Base station Controller* nel GSM ed RNC - *Radio Network Controller* per l'UMTS).

Le nuove architetture (Figura 2) si basano sull'adozione del protocollo IP come **standard di trasporto multiservizio** e si semplificano, sia nella parte di accesso sia nel core, tendendo a strutture più "piatte", cioè con un minor numero di nodi consentendo tempi di latenza più ridotti rispetto al caso precedente.

In particolare, per quanto riguarda la rete d'accesso, scompare il nodo RNC e la gestione del-

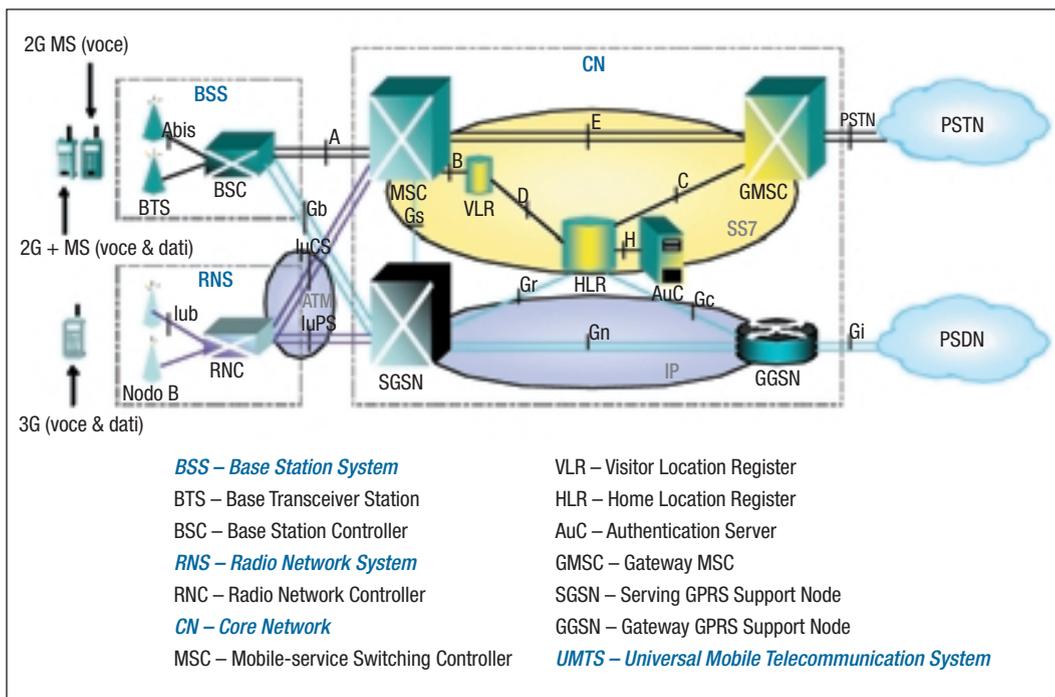


FIGURA 1
 Architetture tradizionali GSM ed UMTS

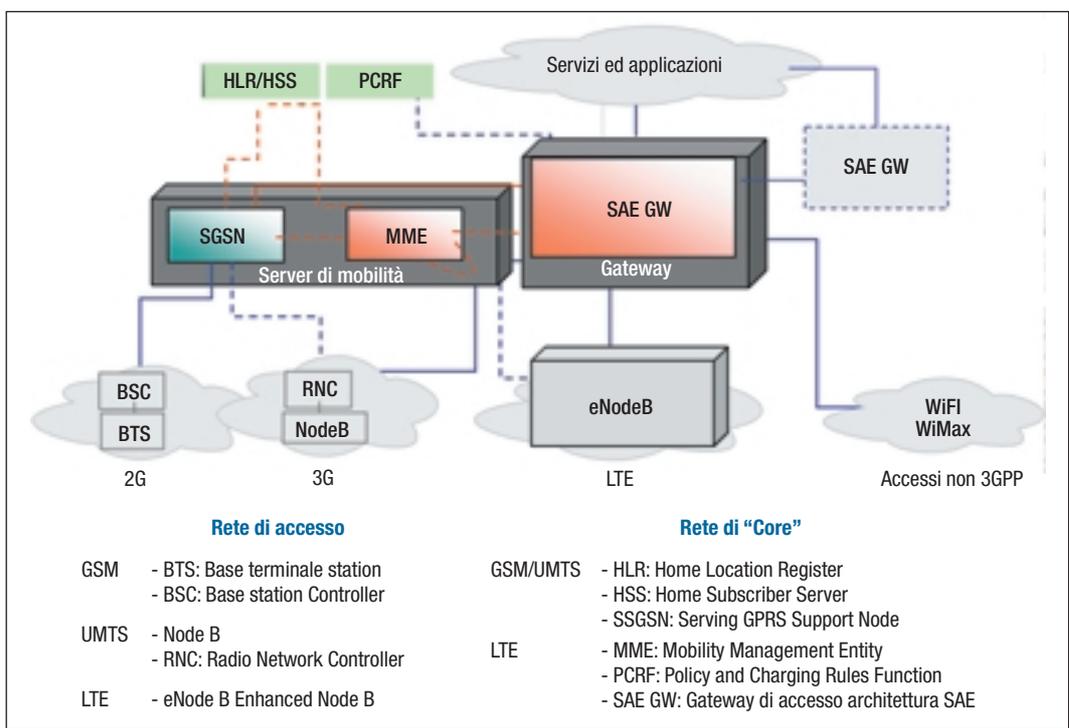


FIGURA 2
Evoluzione dell'architettura delle reti radiomobili a larga banda

la comunicazione e della mobilità è demandata al cosiddetto eNodeB (*enhanced NodeB*) che dialoga verso un **Access Gateway**. Questo, a sua volta, ha il compito di interfacciarsi verso lo strato superiore dei servizi e delle applicazioni, di gestire le varie tecnologie di accesso e di collegarsi ad altre reti IP private o a Internet. Il nodo detto MME (*Mobility Management Entity*) ha il compito di gestire gli aspetti di mobilità e di accesso alla rete ed è una funzionalità che fisicamente potrebbe essere ospitata nello stesso apparato di *Access Gateway*.

L'HLR (*Home Location Register*), rispetto al passato, assume delle funzionalità più avanzate di profilatura del servizio del cliente necessarie per gestire le comunicazioni tra i vari accessi. La funzione PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) ha il compito di assicurare la trasparenza delle politiche di qualità del servizio del cliente indipendentemente dalla tecnologia di accesso considerata. Sono scomparsi i nodi di commutazione in quanto *Gateway* specializzati provvedono alla interconnessione verso la tradizionale rete *PSTN*.

I concetti di base di questa architettura sono validi qualunque sia la tecnologia di accesso adottata. In questo modo il *core* della Rete a larga banda diventa agnostico ri-

spetto alle tecnologie di accesso utilizzate. In particolare la semplificazione dell'architettura di rete, permettendo di connettere un nodo di accesso radio con il *Gateway* per il traffico dati a pacchetto che raccoglie migliaia di stazioni radio, si traduce in un costo dell'infrastruttura poco dipendente dal traffico generato in rete, permettendo in tal modo una **struttura adatta a tariffe di tipo flat** (non basata cioè sul volume di traffico) che in tal modo potrebbe diventare sostenibile anche da parte degli operatori mobili. Resta tuttavia il vincolo importante di un'occupazione della risorsa spettrale comune agli utenti per quanto riguarda l'accesso nonché un corretto dimensionamento delle reti di *back-hauling*, in linea con le aumentate capacità di traffico generate.

5. GESTIONE DELLO SPETTRO NEI SISTEMI WIRELESS

La tabella 2 riassume le allocazioni attuali e le nuove opportunità spettrali per i servizi *wireless*. In particolare, può essere importante ricordare le seguenti posizioni assunte dall'ITU:

- necessità e opportunità di una restituzione di frequenze nel passaggio dall'analogico al digitale in campo televisivo come conse-

Nome	Frequenze [MHz]	Assegnazione corrente	Possibili tecnologie	Applicazioni
III	(217,5 - 230)	Canali televisivi	TV A/ TDD	
UHF	(450 - 470)	Assegnata da WRC come estensione della banda per IMT-2000	TV A/ TDD, WIMAX	Solo 50 MHz, liberazione canali TV lunga e difficile in Italia
	(470 - 854)	In USA ed India è stata assegnata parte della banda per applicazioni WIMAX		
GSM	(900)	GSM 900	GSM, UMTS 900	In fase di estensione a UMTS
L	(1452 - 1492)	Banda L per T-DAB	T-DAB	
3G	(1900 - 2170)	IMT-2000 / UMTS	UMTS	Estensioni UMTS
MSS	(1900 - 2170)		MSS, SAT	Broadcasting Satellite/ Terrestre
Banda UC-WCS	(2305 - 2360)	Bande ISM, Reti private	WIMAX	WIMAX- Forum l'ha definita "banda standard WIMAX" (in uso in USA e Far East)
Banda ISM	(2400 - 2480)	Banda non licenziata per Wi-Fi, ISM, radioamatori	Wi-Fi	Banda densamente saturata da apparati eterogenei
Banda MMDS	(2500 -2690)	Assegnata da WRC come estensione della banda per IMT-2000	UMTS, WIMAX.	Attualmente per IMT-2000 WIMAX-Forum chiede estensione per WIMAX-16e
	(2700 - 2900)	Radar meteorologici	UMTS, WIMAX	Non disponibile attualmente in Italia
Banda 3.3 GHz	(3300 -3400)	Radar marini	WIMAX	Non disponibile in Italia WIMAX Forum spinge per estensione a 3.3 - 3.8 GHz
Banda 3.4 GHz	(3400 - 3600)	Banda licenziata per WIMAX. In Italia già assegnata al Ministero Difesa, ora a gara	WIMAX-UMTS	Attualmente una delle bande principali previste per WIMAX
Banda 3.6 GHz	(3600 - 4000)	Varie assegnazioni	WIMAX	Non disponibile in Italia WIMAX Forum spinge per estensione a 3.3 - 3.8 GHz
Banda 5 GHz	(5150 - 5350) (5470 - 5725)	Banda non licenziata Da ITU e WRC allocata per RLANs / Wi-Fi	Wi-Fi, Hiperlan, WIMAX	200 MHz. EU, Australia, China/HK limitano potenza
	(5725 - 5850)	In Italia è occupata da Ministero Difesa.		255 MHz per solo TDD. Applicazioni WIMAX outdoor

TABELLA 2

Elenco gamme di frequenza con relative tecnologie afferenti e possibili applicazioni

guenza del "dividendo digitale", definito come la possibilità, attuata dalla digitalizzazione, di moltiplicare sensibilmente, nell'attuale spettro impiegato, gli attuali servizi televisivi con conseguente esuberanza di programmi a fronte delle concessioni storiche; □ emissione di un singolo piano coordinato

per l'uso dello spettro *broadcasting* in Europa, *Middle-East* e Africa;

□ re-impiego di adeguate porzioni di banda per nuove tipi e forme di servizi multimediali, inclusi quelli mobili.

A seguito di quanto detto sopra, si prospetta una serie di potenziali opportunità per l'u-

utilizzo di risorse spettrali per i servizi mobili e diffusivi qui di seguito elencate:

- quote di banda III-VHF (174-230 MHz) e banda UHF da rilasciare dopo lo *switchover* al digitale televisivo;
- riesame dell'utilizzo della banda GSM 900 MHz, di cui viene chiesto l'ampliamento d'uso;
- revisione della banda L (1452-1492 MHz), al fine di assicurare che future tecnologie e servizi per la mobilità non siano precluse dall'utilizzo in questa banda;
- porzioni di spettro tra 1900-2170 MHz per tecnologie 3G;
- potenziali bande 1980-2010 MHz per *up-link* e 2170-2200 MHz per *down-link* per tecnologie satellitari mobili MSS;
- verifica della banda 2500-2690 MHz, attualmente assegnata a UMTS, per possibile estensione anche al WIMAX.

La banda UHF ha innegabili vantaggi in termini di propagazione e quindi alla possibilità di realizzare ampie coperture con buone penetrazioni negli edifici, facilitando in tal modo lo sviluppo di sistemi *wireless* alternativi per affrontare il problema del "Digital Divide".

In Italia una tale tendenza risulterà un fattore critico dato l'atteggiamento storico fortemente negativo da parte dei gestori televisivi alla restituzione delle frequenze.

Le bande di frequenza per applicazioni MSS (1980-2010 MHz e 2170-2200 MHz), ossia per servizi mobili satellitari, sono attualmente allocate a livello ITU per servizi mobili. Il risultato potrebbe essere quello di sfruttare il segmento satellite anche per i servizi di Mobile-Tv.

La situazione nel nostro paese rimane sempre conservatrice ed arretrata rispetto agli altri Paesi con difficoltà continua e tempi lunghi per il reperimento di nuove frequenze per il mobile.

Per esempio, con notevole ritardo rispetto ad altri Paesi, si sta rendendo disponibile anche in Italia la banda dei 3.5 GHz (già assegnata al Ministero della Difesa) che permetterà, la messa in opera del WIMAX e la possibilità di creare estese reti *wireless* (pur con difficoltà di penetrazione *indoor*) per colmare il "Digital Divide" che penalizza ancora le popolazioni residenti in aree non densamente abitate.

Si vanno infine estendendo progetti a livello di zone metropolitane di reti *Wireless Mesh*

con accesso a 2 GHz e possibilità di impiego a 3.5 GHz del WIMAX come *backhaul*.

6. CONVERGENZA E COMPETIZIONE TRA LE FILIERE

È importante ribadire, come già accennato in Premessa, che nonostante l'accesa competizione tra le diverse filiere ed in particolare tra 3GPP ed IEEE, si rileva ormai una tendenza sempre più accentuata ad una **convergenza tecnologica tra queste due grandi famiglie** verso soluzioni simili come soluzioni tecniche e quindi come prestazioni che portano al massimo sfruttamento delle risorse radio. Questa convergenza tende oggi ad assumere il nome di 4G (*Quarta Generazione*) con valori di efficienza spettrale prossimi ai limiti teorici di Shannon. L'evoluzione temporale alloca al 2010 ed oltre la nascita dei sistemi 4G. Dopo il precedente approfondimento degli obiettivi e delle soluzioni realizzative di tali sistemi e delle tappe che stanno man mano portando a tali avanzate caratteristiche, impensabili fino a poco tempo fa, può essere utile ed interessante chiedersi quali siano state le cause scatenanti di una competizione sempre più accesa che, è ormai evidente, si giocherà più in termini economici che in termini tecnici.

Alcune ragioni possono trovarsi nel tentativo dei produttori provenienti dal mondo dei dati (LAN) di assicurarsi un'importante fetta del mercato della mobilità. A tale scopo essi hanno, in pratica, realizzato un'alleanza con alcuni tra i produttori legati al mondo TLC che hanno finora avuto un limitato successo, avendo anche sfruttato opportunamente un momento di criticità dell'UMTS, legato alle iniziali disattese rispetto alle prestazioni ipotizzate. A queste logiche si è aggiunto l'interesse, nel mondo della Ricerca, a esplorare strade alternative al WCDMA, con una sempre maggiore focalizzazione verso l'OFDM, percepita oltretutto come strada più sgombra da vincoli brevettuali.

Questa competizione riguarda il solo segmento dell'accesso e potrà eventualmente essere risolta con terminali *multistandard* in modo da permettere, anche attraverso reti in tecnologie eterogenee, la completa compati-

bilità di tutta la rete. Tale processo è semplificato dal fatto che la visione della *core network* è in ogni caso comune tra 3GPP e IEEE/WIMAX, con una piattaforma di servizi che si appoggia al sistema IMS (*IP Multimedia Subsystem*) sviluppato in ambito 3GPP.

In sintesi, in un'ottica temporale che porta al 2010, gli **obiettivi comuni** alle due filiere principali per i sistemi di Quarta Generazione risultano ormai sufficientemente chiari e possono così sintetizzarsi:

- **mobilità piena;**
- impiego di una **piattaforma di rete basata su IP**, completando in tal modo il quadro di evoluzione verso la futura rete NGN, anche in ottica di convergenza fisso-mobile;
- funzionalità **multicast** integrate nello standard per potere fornire servizi multimediali di *multicast-broadcast* in mobilità;
- ritardi (**latenza**) sotto i 10 ms per consentire la realizzazione di servizi avanzati con percezione soddisfacente (ritardi trascurabili) da parte dell'utente;
- **efficienza spettrale** attorno ai 5 bit/s/Hz, anche attraverso l'impiego di tecniche avanzate quali il MIMO;
- **uso flessibile dello spettro**, con possibilità cioè di supportare canalizzazioni multiple da 1,25 fino a 20 MHz.

7. CONCLUSIONI

Le tecnologie evolutive sopra illustrate seguendo le due grandi filiere degli enti di standardizzazione tendono ormai, come si è visto, ad essere sostanzialmente equivalenti. Si può ancora discutere sulla bontà o meno dei protocolli e delle modulazioni, ma il quadro che si delinea è di una sostanziale convergenza verso piattaforme multistandard, aggregate da un'architettura di rete core sempre più "piatta". L'orientamento che si prevede, nel lungo termine, è quello di adottare modulazioni OFDM, con meccanismi veloci e dinamici di gestione delle risorse radio in funzione dello stato della qualità del collegamento e con l'uso di tecniche MIMO.

L'impressione che emerge, guardando la storia degli standard esaminati, è che esiste una reciproca influenza ed emulazione la quale, di fatto, tenderà a creare nel tempo uno standard comune, ciò che sarebbe altamente au-

spicabile per semplificare i cellulari senza necessità di soluzioni multistandard.

Per l'evoluzione della larga banda *wireless*, non sarà mai sufficientemente sottolineato quanto importante sia il dimensionamento adeguato delle reti di raccordo (*backhaul*) in presenza di un così elevato aumento della capacità di traffico previsto nell'area di accesso. Tutti gli sforzi di ampliamento verso la larga banda delle reti *wireless* sarebbero totalmente vanificati in assenza di potenti reti di raccordo per la raccolta di tutto il traffico generato.

Una domanda che ci si può fare in riferimento alle comunicazioni mobili a larga banda è relativa, non tanto agli aspetti tecnici, ma a come questi sistemi potranno essere utilizzati con successo commerciale in un mercato saturo (come per esempio quello italiano) caratterizzato dalle seguenti fenomenologie tipiche:

- **"churn-rate"** (ossia il ritmo di cambiamento di operatore) elevato con molti utenti che posseggono almeno due Sim e seguono le promozioni degli operatori prevalentemente basate sui vantaggi di costo;
- ulteriore segmentazione del mercato per effetto degli **operatori mobili virtuali**, prevalentemente Società della grande distribuzione, che utilizzano il traffico, voce e dati, esclusivamente come promozionale per il *business* primario;
- sistema UMTS che, con l'introduzione dell'HSDPA, si vuole affermare come piattaforma per l'offerta dati, aggredendo anche il **mercato del fisso** con offerta di servizi dati e voce.

L'evoluzione verso l'HSPA già avviata è probabile che possa portare a limitare l'adozione del WIMAX ad un ruolo di tecnologia complementare, anche se a tale famiglia di standard va riconosciuta una notevole capacità d'innovazione che influenza sicuramente l'obiettivo comune a cui ormai tendono le due filiere.

Per la realizzazione delle reti *wireless* a larga banda è necessario avere disponibilità di banda per la connettività con il *core* di rete e già oggi gli operatori incontrano i primi problemi nell'aumentare la capacità di *backhauling* a costi sostenibili, non soltanto per i necessari ampliamenti di capacità delle tratte radio ma anche per la necessità di collegamenti in fibra non sempre disponibili.

Il tema della carenza delle infrastrutture di rete diventa un fattore limitante per l'uso del WI-

MAX, come soluzione al *digital divide*. Infatti, in questi casi la possibilità di usare configurazioni magliate consente comunque di collegare le stazioni tra loro fino ad un punto di raccolta. Tuttavia ciò comporta la diminuzione delle prestazioni del sistema in termini di capacità di *throughput* poiché risorse disponibili per l'accesso sono utilizzate per la connettività.

Un'ultima considerazione importante. Le aspettative del larga banda *wireless*, oltre ai già accennati investimenti per la rete di *back-haul* necessari per essere garantiti dall'assenza di strozzature nella rete, sono anche fortemente legate alle tariffe che verranno applicate per questi servizi. Attualmente la navigazione è molto costosa e se, in prospettiva, non sarà possibile avere tariffe paragonabili a quelle della rete fissa, si possono fin d'ora nutrire dei dubbi sul successo di queste avanzate offerte tecnologiche.

Ringraziamenti

Il presente articolo aggiorna, rielabora e sintetizza alcuni degli argomenti trattati in una Giornata di Studio (dallo stesso titolo) organizzata nel Maggio del 2007 dall'Associazione AICT della Federazione AEIT in cui è stata anche presentata una pubblicazione AICT su questi argomenti. Si ringraziano tutti coloro che hanno contribuito a tale pubblicazione che è risultata una fonte importante per la preparazione del presente lavoro, che si ritiene utile allargare ad una platea molto più ampia di lettori. Un ringraziamento

particolare all'Ing. Silvia De Fina per una rilettura critica del presente testo e per le modifiche proposte.

Bibliografia

Per maggiori approfondimenti relativi a tutta la tematica dell'articolo e per il quadro dei servizi

- [1] Position Paper AICT: *Evoluzione dei Sistemi Wireless verso la larga banda*. Aprile 2007.

Per approfondimenti relativi a UMTS HSPA ed LTE

- [2] Holma H., Toskala A.: *WCDMA for UMTS-Radio Access for Third Gen. Mobile Comm.* Wiley 2005.
- [3] Holma H., Toskala A.: *HSDPA/HSUPA for UMTS*. Wiley 2006.
- [4] 3G Americas: *UMTS evolution from Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE*. July 2007.

Per approfondimenti relativi al WIMAX

- [5] IEEE Std 802.16TM-2004: *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*.
- [6] WIMAX Forum: *Mobile WIMAX: Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*. Febr. 2006.
- [7] WIMAX Forum: *Mobile WIMAX – Part II: A Comparative Analysis*. May 2006.
- [8] IEEE Std 802.16eTM-2005, IEEE Std 802.16TM-2004/Cor 1-2005: *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. IEEE - New York, USA, 28 February 2006*.

Per approfondimenti relativi al MIMO

- [9] Gershman A.B., Sidiropoulos N.D.: *Space Time Processing for MIMO Comm.* Wiley & Sons 2005.

ROBERTO PIERMARINI, laurea in Ingegneria Elettrotecnica all'Università dell'Aquila nel 1982. Dal 1985 al 1995 docente e ricercatore presso la SSGRR, Scuola di Formazione della STET. Dal 1996 Responsabile Impianti TIM per il Centro Italia per lo sviluppo delle reti TACS e GSM. Nel 1998 partecipa allo start-up di WIND ed assume la responsabilità dell'Ingegneria per la Rete di Accesso Radiomobile (GSM-UMTS) e per i segmenti di Accesso e Trasporto della Rete fissa. Attualmente opera come consulente occupandosi di tematiche di convergenza, nuove tecnologie e scenari di business. Autore di numerose pubblicazioni per convegni e riviste.
E-mail: roberto.piermarini@alice.it

GUIDO VANNUCCHI, laurea in Ingegneria Industriale all'Università di Bologna nel 1958, "Master Science EE" alla Stanford University nel 1963, Libera Docenza in Comunicazioni Elettriche nel 1971. Direttore Generale Telettra dal 1983 al 1990, "Senior Consultant" di Olivetti Telemidia, Vice Direttore Generale della RAI dal 1996 al 1998. Attualmente Docente al Politecnico di Milano di "Architetture per reti e sistemi multiservizio" e Presidente Associazione AICT della Federazione AEIT. Laurea "ad honorem" in Ingegneria delle Telecomunicazioni, conferita dall'Università di Padova nel 1998, per i contributi scientifici e manageriali nel campo della trasmissione dei segnali.
E-mail: guido.vannucchi@fastwebnet.it