

tre, estende l'ambito di applicazione del citato art. 41, includendo tra le spese relative all'acquisto di spazi pubblicitari quelle sulla stampa quotidiana e periodica, su internet, sui mezzi di diffusione radiotelevisiva, sulle reti mobili di comunicazione elettronica, nonché le spese per l'acquisto di spazi per le pubbliche affissioni. Su tale ultimo punto, la direttiva precisa che non sono da computare le spese sostenute per la diffusione di messaggi pubblicitari effettuata attraverso forme di comunicazione realizzate tramite pubbliche affissioni su spazi di proprietà di pubbliche amministrazioni o enti pubblici.

La direttiva prevede, inoltre, che "le amministrazioni statali, ivi compresa la Presidenza del consiglio dei ministri, e gli enti pubblici, inclusi gli enti territoriali e gli enti pubblici economici, hanno l'obbligo di individuare distinti capitoli di bilancio su cui far gravare le spese di comunicazione istituzionale di cui all'art. 41 del decreto legislativo n. 177/2005. In ogni caso successivamente all'approvazione del Bilancio preventivo dello Stato, le amministrazioni centrali provvederanno a comunicare, secondo le modalità stabilite dall'Autorità, la denominazione dei capitoli su cui gravano le spese di comunicazione istituzionale ed il relativo stanziamento".

Infine, nel prevedere l'obbligo di comunicazione all'Autorità delle somme impegnate per l'acquisto, ai fini di pubblicità istituzionale, di spazi sui mezzi di comunicazione di massa, la direttiva riprende la delibera n. 139/05/CONS adottata dalla stessa Autorità in data 7 marzo 2005.

Procedimenti amministrativi

Con legge 18 giugno 2009, n. 69, attuata dal decreto ministeriale 12 gennaio 2010, è stato modificato l'impianto normativo relativo ai termini procedurali. In base alla nuova disciplina (art. 7, legge n. 69/2009; artt. 2 e 2-bis, legge 7 agosto 1990, n. 241), il termine generale per l'adozione del provvedimento torna ad essere di trenta giorni. Questo può essere innalzato a novanta giorni; in ragione di particolari esigenze relative all'organizzazione amministrativa e alla natura degli interessi pubblici tutelati, può essere portato fino ad un massimo di centottanta (con esclusione dei procedimenti di acquisto della cittadinanza italiana e quelli riguardanti l'immigrazione). Anche le norme regolamentari chiamate a disciplinare i procedimenti cambiano: si fa ritorno allo strumento del decreto del Presidente del consiglio, con procedure differenziate a seconda del termine.

Si tratta di norme generali, che possono essere derogate da discipline speciali (art. 7, comma 4, legge n. 69/2009).

Le autorità di regolazione, fatto salvo quanto previsto da specifiche disposizioni normative, disciplinano i termini dei procedimenti di propria competenza in conformità ai rispettivi ordinamenti (art. 2, comma 5, legge n. 241/1990).

Conseguentemente, le novità introdotte concernono l'Autorità per le garanzie nelle comunicazioni sotto un triplice ordine di profili. Primo, il monitoraggio dei procedimenti e la pubblicazione delle informazioni rilevanti sul sito istituzionale, anche al fine di consentire una pronta verifica da parte dei cittadini e degli utenti (art. 34, legge n. 69/2009); secondo, in caso di ritardo doloso o colposo, la possibilità per l'utente di richiedere il risarcimento del danno ingiusto e la valutazione della responsabilità dirigenziale (art. 2, comma 9, legge n. 241/1990; art. 7, comma 2, legge n. 69/2009); terzo, la sospensione dei procedimenti, che ora può essere disposta per una sola volta e per un periodo non superiore a trenta giorni, per l'acquisizione di informazioni che non siano già in possesso dell'amministrazione (art. 2, comma 5 e 7, legge n. 241/1990).

PAGINA BIANCA

APPROFONDIMENTI TEMATICI

PAGINA BIANCA

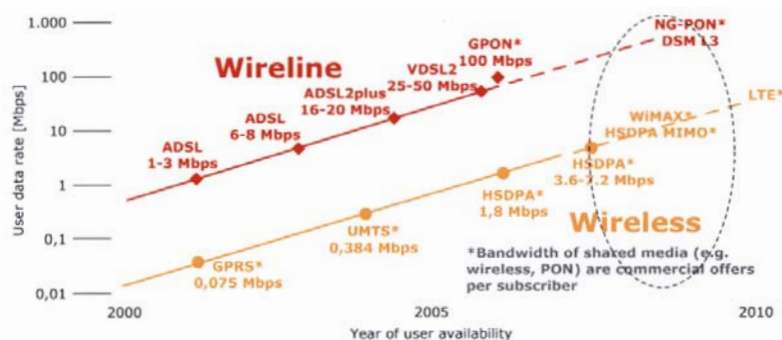
2.1. Le tecnologie emergenti

■ 2.1.1. Le tecnologie *wireless*

Le tecnologie wireless di comunicazione

Nell'ultimo decennio le tecnologie *wireless* si sono distinte per la crescita sostenuta, sia nel settore tradizionale delle comunicazioni cellulari, che in quello dell'accesso alle reti di telecomunicazione. L'uso crescente del *wireless* nelle reti di accesso si deve al vantaggio, che esso offre, di prestarsi come unica soluzione per consentire la mobilità, oltre che sulla larga scala delle comunicazioni cellulari, anche negli ambienti domestici, ove permette all'utente di sottrarsi al vincolo dei fili. Ma il *wireless* gode anche della caratteristica qualificante della flessibilità, un vantaggio per l'operatore che si manifesta con la rapidità di installazione e di riconfigurazione e con la scalabilità delle reti e del traffico. Tutto ciò, unitamente ai costi di allestimento modesti (a confronto con le reti cablate), spiega perché il *wireless* si stia affermando in molte realtà operative come soluzione per la connettività. Di contro, la principale limitazione rispetto all'accesso cablato consiste nei valori nettamente minori di *bit-rate* erogabili. Come mostrato in figura 2.1, infatti, in virtù del continuo progresso tecnologico, il *gap* tra le due classi di tecnologie tende a rimanere invariato.

■ **Figura 2.1.** Confronto dei valori di *bit-rate* per utente con tecnologie cablate e *wireless*



Fonte: WiMAX Forum

L'approccio prevalentemente seguito dagli operatori prevede, dunque, il ricorso all'accesso cablato negli scenari applicativi di rete d'accesso in cui si rilevino vantaggi in relazione agli attesi valori di traffico e, viceversa, l'impiego di tecnologie di accesso *wireless* laddove la densità di traffico sia troppo bassa per garantire il ritorno dell'investimento di un'infrastruttura fissa, ovvero come soluzione di avvio, temporanea o di *back up*. Il *wireless* si presta inoltre come complemento delle reti d'accesso cablate (*wireless local loop* o WLL) per assicurare la copertura a larga banda ubiqua degli spazi interni raggiunti dal doppino (DSL) o dalla fibra ottica.

Nelle realtà italiana ed europea si sono affermati o, comunque, sono considerati con attenzione numerosi sistemi *wireless* in grado di offrire connessioni a banda larga con gestione di diversi gradi di qualità del servizio. Tra essi si collocano i sistemi BWA (*Broadband Wireless Access*) tramite i quali si intende supportare servizi quali HDTV, IPTV, i Servizi su IP (SoIP) e l'accesso a internet veloce in maniera efficiente ed economica, specialmente laddove i collegamenti di *backhaul* cablati non esistano e non siano previsti (zone a "divario digitale"). Tra i sistemi BWA, il WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), profilo dello standard IEEE 802.16, si sta affermando anche per l'utenza nomadica e mobile. Se al 2006 risalgono i primi sviluppi commerciali del WiMAX basati sul profilo 802.16d dello standard, a metà del 2009 più di 130 sono i prodotti aventi certificazione WiMAX⁴⁷; di essi, il 60% è conforme alla Release 802.16e dello standard, che alla precedente aggiunge specifiche funzionalità a supporto della mobilità. Al fine di migliorare le prestazioni dell'interfaccia radio WiMAX, il WiMAX Forum ha di recente completato ed approvato una serie di specifiche (*IEEE Std 802.16e-2009*) orientate all'incremento del *data rate* di picco e della capacità media per canale⁴⁸. Le funzionalità introdotte permettono di garantire prestazioni (figura 2.2) comparabili con quelle conseguibili tramite tecnologie mobili di derivazione 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*)⁴⁹.

In parallelo al percorso seguito in ambito IEEE, l'attività del 3GPP ha condotto all'introduzione, a partire dal 2007, delle tecnologie HSxPA⁵⁰ ed è proseguita con la definizione della specifica LTE (*Long Term Evolution*) dello standard 3GPP con Release 8, completata con Release 9 nel 2009. Considerato parte dell'evoluzione degli standard 3G, LTE (anche noto come "3,99G") anticipa la "Quarta generazione" (4G) ancora in fase di sviluppo, con un *bit-rate* massimo di 100 Mbit/s in *downlink* e di 50 Mbit/s in *uplink*⁵¹.

47 Fonte: WiMAX Forum.

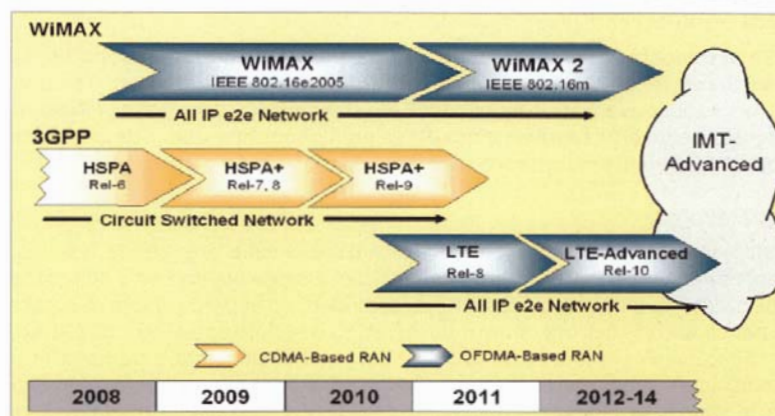
48 "WiMAX Forum Mobile System Profile Specification: Release 1.5 Common, TDD, and FDD Specific Parts", WMF-T23-003-R015v01 MSP: July 2009, WiMAX Forum website.

49 L'introduzione della modalità di duplexing FDD (in aggiunta alla tradizionale modalità TDD), di ulteriori profili frequenziali (tra i quali la banda 698-862 MHz, caratterizzata da condizioni di propagazione estremamente favorevoli e di particolare interesse per la riduzione del *digital divide* in aree rurali) e di una maggiore flessibilità d'uso della risorsa radio (con l'introduzione di una larghezza di banda opzionale di 20 MHz alle frequenze 1710-2170 MHz) consente di ottimizzare l'impiego di eventuali nuove porzioni di spettro rese disponibili dalle autorità di regolamentazione nazionali.

50 L'attività del 3GPP ha visto nel corso del 2007 la definizione di una specifica UMTS "3,5G", caratterizzata dall'introduzione di tecnologie HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) per l'accesso veloce a pacchetti dalla stazione base al terminale mobile, con *throughput* aggregato massimo in *downlink* di 14,4 Mbit/s, cui ha fatto seguito la penetrazione nelle reti del "3,75G", con l'avvento della tecnologia HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), in grado di supportare fino a 5,76 Mbit/s in *uplink*. Nella Release 7 dello standard, rilasciata nel mese di dicembre 2007, infine, sono definite soluzioni HSPA evolute (HSPA+), che utilizzando tecniche ad antenne multiple e modulazioni ad elevata efficienza spettrale sono in grado di erogare 28 Mbit/s in *downlink* e 11 Mbit/s in *uplink*, nella stessa banda di 5 MHz dell'UMTS. Un ulteriore miglioramento delle prestazioni è conseguito con la specifica DC-HSDPA (*Dual Carrier HSDPA*), parte della Release 8 dello standard, che consente velocità di trasmissione di picco pari a 42 Mbit/s in *downlink*.

51 Fra le caratteristiche dello standard LTE rileva evidenziare: un'efficienza spettrale tre volte maggiore di quella del HSxPA, l'uso flessibile della larghezza di banda tra 1,25 MHz e 20 MHz, la possibilità di usare diverse frequenze, quali quelle del GSM o del WCDMA/UMTS, e la possibilità di adottarne di nuove, quali le bande a 2,6 GHz (attualmente in corso di allocazione in numerosi paesi), le bande UHF disponibili come Dividendo Digitale (ad 800 MHz) e le frequenze liberate a seguito del processo di *refarming* della banda GSM a 900 MHz e 1800 MHz. L'interfaccia radio non è evolutiva (si abbandona il WCDMA) e si basa sul OFDM-SCFDMA: come conseguenza la copertura radio dell'UMTS non è riutilizzabile e occorre predisporre una copertura dedicata, realizzando di fatto una rete aggiuntiva.

■ **Figura 2.2.** Timeline per le tecnologie mobile WiMAX e 3GPP



Fonte: WiMAX Forum

Sulla base dei dati forniti dalla *Global mobile Suppliers Association (GSA)* sono attualmente 64, contro le 31 dello scorso anno, le società attive nella realizzazione di sistemi LTE, in 31 paesi; si prevede inoltre che 22 reti entreranno nella fase commerciale alla fine del 2010, mentre per il 2012 il numero di *network* salirà a 39. In linea con i piani dei principali operatori mondiali, il lancio di LTE avverrà a partire dal 2010 in USA, Canada e Finlandia. Nel mese di dicembre 2009, inoltre, l'operatore di telefonia mobile TeliaSonera ha lanciato il primo servizio commerciale LTE al mondo in Svezia e Norvegia⁵².

Di recente avvio è, infine, l'approntamento da parte dell'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni (ITU) delle specifiche dei sistemi 4G, denominati in quel contesto IMT-A (*International Mobile Telecommunications-Advanced*). Secondo quanto stabilito in ambito ITU, i sistemi IMT-A devono garantire requisiti minimi di prestazione in termini di parametri, quali l'efficienza spettrale di canale media e di picco, la larghezza di banda, i tempi di latenza, il supporto della mobilità. Si richiedono, in particolare, valori di *bit-rate* di picco dell'ordine di 1 Gbit/s in scenari di bassa mobilità (velocità pedonale - 10 km/h) e di almeno 100 Mbit/s in situazioni di alta mobilità (velocità veicolare - 350 km/ora). I sistemi IMT-A dovranno inoltre soddisfare requisiti connessi agli specifici servizi previsti ed alle richieste di utenti ed operatori, ivi incluso il pieno supporto della qualità di servizio, il *roaming* e l'interlavoro con altre reti *wireless*. Lo sviluppo del mercato di massa per questi sistemi è atteso per il 2015. Per ottenere le suddette prestazioni si richiedono progressi in tutti gli strati protocollari a partire da quelli fisico e di collegamento. Sarà, in particolare, necessario combinare il ricorso a soluzioni innovative per l'interfaccia radio con tecniche di elaborazione del segnale in trasmissione e ricezione, anche basate su sistemi multi-antenna. Si prevede, inoltre, l'impiego di algoritmi efficienti di allocazione e gestione della risorsa radio, al fine di con-

⁵² Le reti LTE coprono attualmente le aree centrali delle città di Stoccolma ed Oslo e sono deputate all'erogazione di servizi dati in mobilità. Nel corso del 2010 è prevista l'estensione della copertura LTE ad un maggior numero di città nei due Paesi.

seguire gli alti valori di efficienza spettrale necessari per allocare i sistemi nelle bande inferiori a 800 MHz che presentano le migliori proprietà di propagazione e nelle ulteriori bande eventualmente rese disponibili dalle autorità di regolamentazione⁵³.

Se la risposta 3GPP ai requisiti definiti per i sistemi IMT-A sono i sistemi *LTE-Advanced*, le cui specifiche sono parte della Release 10 dello standard rilasciata nel 2010, la soluzione avanzata in ambito IEEE è lo standard 802.16m (*WiMAX Release 2*). Il completamento e successiva ratifica di tale profilo sono attesi per il terzo quadrimestre del 2010; i primi prodotti sono stati, invece, annunciati a partire dal 2012.

Le femtocelle

Ultima frontiera dell'evoluzione delle tecnologie mobili a larga banda, le femtocelle rappresentano stazioni radio base domestiche, a bassa potenza ed autoinstallanti, caratterizzate da dimensioni, consumi e costi ridotti ed in grado di fornire accesso a larga banda alla rete dell'operatore mobile (reti 3G o evolute ed a pacchetto), sfruttando per il *backhauling* la connettività DSL o in fibra ottica dell'utente. Le femtocelle, prevedendo, come dimostrato dall'intensa attività di standardizzazione attualmente in corso in diversi gruppi 3GPP, l'impiego di differenti tecnologie di accesso radio (UMTS/HSPA o LTE), si candidano a soluzione privilegiata per l'ottimizzazione della fornitura del servizio radiomobile in ambiente *indoor*, sede, in accordo con le principali analisi di mercato, di una significativa porzione del traffico mobile e teatro di un rilevante aumento dei volumi di traffico.

La soluzione femtocellulare si presta, dunque, a far fronte alla crescita di traffico, sia in ambiente domestico, ove si rivolge ad una clientela residenziale, che in ambiente *SOHO/large enterprise*, in cui si indirizza ad una clientela di tipo *business*. Il primo scenario prefigurato (*consumer*) guarda a tale soluzione quale mezzo attraverso cui l'utente può fruire del servizio radiomobile, originando o ricevendo traffico (fonia, dati, messaggi di testo o multimediali, videochiamate) in maniera trasparente sulla rete femtocellulare o sulla sovrastante rete macrocellulare. I livelli di potenza in gioco consentono di garantire in media un raggio di copertura pari ad una decina di metri, supportando, in un contesto residenziale, un numero massimo di 4 terminali attivi. Le caratteristiche proprie delle femtocelle, quali la possibilità di realizzare la connessione tra i diversi elementi di una rete domestica tramite tecnologie 3G/4G e WiFi, conferiscono, inoltre, a tale soluzione il ruolo di abilitatore tecnologico di una nuova famiglia di servizi, che integrano molteplici forme di comunicazione (*infotainment, remote control, security, health e social networking*) ed aprono all'ecosistema dell'*home networking*. Il passaggio da uno scenario residenziale ad uno scenario *business* si caratterizza per l'esigenza di migliori prestazioni in termini di copertura garantita, capacità erogata (supporto di un numero di utenti attivi variabile da 8 a 16), gestione della mobilità e complessità della rete, il che giustifica la scelta di ricorrere non a femtocelle isolate, bensì ad una rete di femtocelle, integrate in una rete di area locale (LAN). Ulteriore scenario prefigurato, infine, vede un'estensione dell'im-

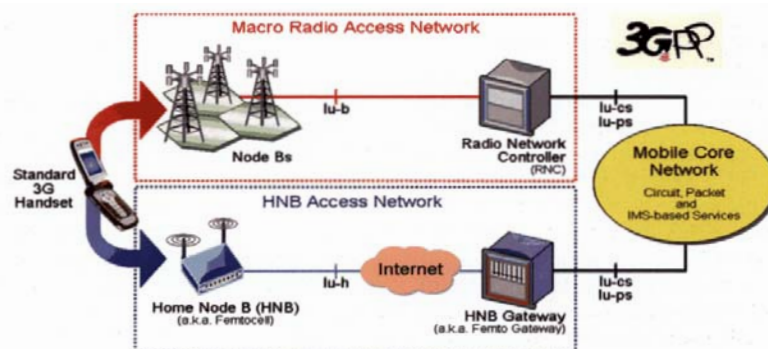
⁵³ Relativamente all'allocazione di bande di frequenza all'operazione di tali sistemi, rileva richiamare l'adozione avvenuta nel giugno 2008 da parte della Commissione Europea della Decisione 2008/477/CE "relativa all'armonizzazione della banda di frequenze 2,500-2,690 MHz per i sistemi terrestri in grado di fornire servizi di comunicazioni elettroniche nella Comunità", ai sensi della quale l'Autorità ha ritenuto opportuno procedere ad una consultazione pubblica intesa ad acquisire elementi di informazione e documentazione in ordine alla possibilità che detta banda di frequenze possa essere utilizzata per lo sviluppo dei sistemi di comunicazione elettronica, ivi inclusi i sistemi mobili avanzati (IMT-2000/IMT-A).

piego delle femtocelle ad ambienti esterni o misti, ove sia necessario far fronte a consistenti volumi di traffico aggregato (centri commerciali, aeroporti, stazioni ferroviarie), purché in condizioni di limitata mobilità degli utenti. In tal caso, si prevede l'installazione di piccole unità remote in corrispondenza delle pareti degli edifici o sui lampioni, collegate alla rete degli operatori via coppie in rame (xDSL) o cavi in fibra ottica.

Dalla rapida rassegna qui presentata degli scenari applicativi previsti per l'impiego delle femtocelle, emergono i vantaggi conseguibili grazie a tale tecnologia. L'utente può, in particolare, mediante terminali di tipo tradizionale, fruire di una molteplicità di servizi innovativi a larga banda, con supporto trasparente della mobilità e capacità di localizzazione ed identificazione dei terminali tali da consentire la composizione, da parte degli operatori, di offerte commerciali basate su tariffazioni agevolate del tipo *home zone*.

L'emergere del nuovo paradigma delle femtocelle comporta tuttavia l'insorgere di una serie di criticità dalla cui risoluzione dipende il successo della tecnologia. Una questione di primaria importanza è, anzitutto, l'introduzione di uno standard tecnologico unico, obiettivo al quale ha lavorato il 3GPP, che nel corso del 2008 ha definito, sia per il sistema 3G che per il sistema LTE, un'architettura di riferimento⁵⁴ (figura 2.3), al fine di conseguire l'interoperabilità tra apparati d'utente e di rete realizzati da differenti manifatturiere, consentire il *roaming* dei clienti e, in ultima analisi, realizzare economie di scala nella produzione dei terminali.

Figura 2.3. Architettura standard 3GPP



Fonte: Kineto Wireless

Altra questione di rilievo è la gestione della risorsa spettrale. A differenza, infatti, di quanto previsto per altre tecnologie *wireless* (e.g. WiFi), le femtocelle operano in bande di frequenze soggette a licenza, in cui l'operatore ha a disposizione varie opzioni di pianificazione dello spettro radio, quali: l'attribuzione alle femtocelle di una banda dedicata, il riuso per le femtocelle delle stesse frequenze già allocate alla rete di macrocelle e la parziale sovrapposizione delle bande assegnate alle due reti con la possibili-

⁵⁴ Si vedano, a tale proposito, la Release 8 dello standard 3GPP e le successive specificazioni introdotte nelle Release 9 e 10.

tà di effettuare *handover* dall'una all'altra in caso di interferenza. Le scelte operative attuate dall'operatore hanno numerose implicazioni sia per quest'ultimo, in termini di capacità e di gestione di rete e di servizio, che per il cliente, in termini di qualità e funzionalità. In particolare, l'assegnazione da parte dell'operatore mobile di una portante dedicata alla rete femtocellulare determinerebbe una contestuale riduzione del traffico supportabile tramite rete geografica cellulare. Il criterio di sviluppo del sistema di femtocelle, non ordinato, comporta, inoltre, la necessità di definire opportuni vincoli di trasmissione per la minimizzazione dell'interferenza (tra femtocelle e macrocelle, così come tra più femtocelle) e la garanzia della coesistenza tra reti eterogenee, soprattutto nel caso di alta densità di femtocelle in una stessa area e qualora si opti per il riuso o la sovrapposizione delle bande assegnate alle reti macro e femtocellulari.

Ulteriore tema, su cui è prefigurabile l'intervento dell'Autorità, è il riparto delle competenze e delle responsabilità tra il gestore fisso, fornitore del servizio di *backhauling* via cavo, ed il gestore mobile, *provider* dell'accesso alle femtocelle, in un'ottica di garanzia di qualità del servizio all'utente finale.

Con riferimento alle attività di sviluppo in essere, rileva segnalare che la maggior parte delle industrie manifatturiere sta attualmente producendo femtocelle con interfaccia radio 3G (UMTS/HSPA), sebbene siano in corso di implementazione anche soluzioni fondate su tecnologie di accesso differenti, quali WiMAX e LTE, non disponibili però nel breve termine. Lo stato della sperimentazione risulta particolarmente avanzato in Estremo Oriente e negli Stati Uniti; quanto al contesto europeo, si segnala l'avvio a partire dal 2008 di numerose sperimentazioni da parte di importanti operatori della rete fissa e mobile⁵⁵.

Le tecnologie radio cognitive

I sistemi esistenti di telecomunicazioni e radiodiffusione televisiva detengono stabilmente ampie parti dello spettro radioelettrico e, in particolare, la banda UHF inferiore (300 - 1000 MHz) ritenuta estremamente preziosa per motivi sia tecnologici che di propagazione. Sulla base di numerose campagne di misura svolte in Europa e negli Stati Uniti, risulta che in taluni periodi di tempo ed aree geografiche questi sistemi utilizzino le risorse spettrali loro attribuite in modo poco efficiente (in alcuni casi persino meno del 10%). Ciò si deve, in primo luogo, ad una politica di gestione della risorsa radio basata su un paradigma di assegnazione di porzioni fisse di spettro separate da bande di guardia e su una loro allocazione ad uso esclusivo e di lungo termine da parte del possessore della relativa licenza. Tale metodo, sebbene consenta un attento controllo dell'interferenza tra operatori ed utenti coesistenti, permetta una sostanziale semplicità di implementazione degli apparati e richieda una bassa complessità di controllo regolatorio, comporta nondimeno l'uso inefficiente e rigido delle frequenze, dal che deriva l'errata convinzione, tuttora largamente diffusa, che lo spettro radioelettrico possa non essere sufficiente a soddisfare le esigenze delle reti *wireless* commerciali del futuro. Stante quanto sopra e considerato il valore della risorsa radio anche in termini di incremento del PIL, è ampiamente condivisa l'esigenza di abbandonare quanto prima, sia pure gradualmente, le politiche di allocazione fissa dello spettro radioelettrico (FSA), in favore di innovative forme di uso dinamico (DSA).

⁵⁵ Sono attualmente disponibili offerte commerciali al pubblico da parte di Sprint Nextel e, a partire dal mese di gennaio 2009, di Verizon. Del luglio 2009 è, infine, la notizia del primo servizio femtocellulare in Europa, avviato da Vodafone nel Regno Unito.

Le principali tecnologie candidate alla risoluzione delle questioni connesse alla gestione dinamica dello spettro sono il *Software Defined Radio* (SDR) ed il *Cognitive Radio* (CR)⁵⁶. La tecnologia SDR consente la definizione via software di funzionalità radio tipicamente implementate nei trasmettitori e ricevitori mediante hardware appositamente dedicato⁵⁷.

Pur non essendo strettamente necessaria per i sistemi CR, una piattaforma SDR ne esalta le prestazioni. Si richiede, infatti, che i sistemi CR implementino funzionalità⁵⁸ tali da consentire loro la percezione dell'ambiente e del contesto operativo, la consapevolezza del proprio stato interno e delle politiche di gestione delle risorse radio, oltre che dei bisogni informativi dell'utente. Essi sono in grado di adattare dinamicamente ed autonomamente i propri parametri operativi ed i protocolli architetturali in funzione delle informazioni acquisite, al fine di conseguire obiettivi predefiniti di affidabilità della comunicazione ed efficienza di utilizzo e gestione delle risorse radio. I sistemi CR sono, altresì, dotati di capacità di apprendimento e ragionamento, ovvero sono in grado di sfruttare l'esperienza pregressa per migliorare i meccanismi di adattamento impiegati.

Al momento, l'attenzione sulle tecnologie radio cognitive è soprattutto motivata dalla possibilità che esse offrono di consentire una gestione dinamica dello spettro. A tal fine, le funzioni principali di una CR sono: il monitoraggio dello spettro e la rivelazione delle porzioni non utilizzate (*spectrum sensing*); l'uso dinamico della porzione di spettro migliore tra quelle trovate libere (*spectrum management*); la liberazione tempestiva dello spettro qualora si rilevi la presenza di un utente primario attivo (*spectrum mobility*)⁵⁹. Il problema della gestione dinamica dello spettro è reso ancor più complesso, qualora esso non riguardi una CR isolata, bensì reti radio cognitive (CRN). In tal caso le funzioni della radio cognitiva permangono, ma la loro attuazione ottimale richiede

56 Il termine *Cognitive Radio* è stato utilizzato per la prima volta da Joseph Mitola III e Gerald Q. Maguire nel 1999.

57 Tramite l'impiego di processori digitali di segnali (DSP) e logiche programmabili via software (FPGA), SDR realizza una radio adattativa e rappresenta una soluzione efficace nella realizzazione di terminali multimodali.

58 Un dispositivo CR opera secondo un ciclo cognitivo *Observe-Orient-Plan-Decide-Act*, che comprende l'insieme degli stati, delle azioni e delle interazioni necessari al fine di comprendere e conoscere il proprio contesto operativo e di adattarsi agli stimoli ed alle indicazioni ricevute. Esso prevede l'acquisizione da parte del dispositivo della consapevolezza dell'ambiente esterno, l'identificazione dell'urgenza e della priorità delle azioni da intraprendere, la determinazione delle possibili strategie adottabili, la selezione della strategia più opportuna in considerazione dell'esperienza pregressa e delle preferenze ed abitudini dell'utilizzatore, la riconfigurazione del proprio stato interno in conformità alla decisione presa, la memorizzazione, identificazione e classificazione delle diverse situazioni e delle reazioni all'azione intrapresa.

59 La rilevazione dello stato di utilizzo della risorsa spettrale è attuata, in particolare, mediante tecniche di scansione della porzione di spettro dedicata all'operazione del sistema CR, eventualmente in modalità assistite dalla rete ed impiego di un canale pilota, dedicata al trasporto dell'informazione inerente l'impiego corrente della banda. La previsione di tale canale dedicato, entro la banda assegnata all'operazione dei sistemi CR o al di fuori della stessa, solleva questioni tecniche e regolamentari. Se nel primo caso sorgono, infatti, limitazioni alla banda effettivamente utilizzabile dai sistemi in oggetto e vincoli alla possibilità di coordinamento in un contesto multi-operatore, nel secondo caso occorre prevedere l'assegnazione e l'armonizzazione di una specifica gamma di frequenze a livello internazionale o nazionale. Per quanto concerne poi le funzioni volte all'uso ordinato dello spettro da parte di una CR, esse sono attuate tramite riconfigurazione opportuna delle modalità operative dei dispositivi e contemplano la flessibilità della banda di operazione, il controllo della potenza in trasmissione, l'impiego di antenne adattative, l'adozione di tecniche adattative di modulazione e codifica. Le funzionalità di apprendimento e ragionamento via software del dispositivo CR sono, infine, implementate tramite algoritmi di alto livello, adattativi e di *machine-learning*.

che si operi il coordinamento tra i nodi e la condivisione equa tra gli utenti della risorsa spettrale (*spectrum sharing*).

Stante il quadro sin qui delineato, si configurano molteplici scenari di impiego delle tecnologie radio cognitive e, conseguentemente, si profila la definizione di differenti modelli normativi e regolamentari, in considerazione della applicazione di dette tecnologie in bande per cui sia previsto un uso collettivo della risorsa radio (CSU), ovvero in porzioni di spettro soggette a licenza d'uso individuale, laddove tale diritto d'uso sia oggetto di transazione commerciale. Le tecnologie CR possono essere utilizzate per accedere dinamicamente a porzioni inutilizzate (*white spaces*) dello spettro sottoposto a licenza o per consentire la condivisione dinamica dello stesso tra molteplici dispositivi CR. Si configurano, di conseguenza, differenti possibili strategie di gestione della risorsa spettrale⁶⁰.

Volte allo studio e valutazione delle tecnologie radio cognitive sono numerose attività intraprese dal gruppo *Radio Spectrum Policy Group* (RSPG), organo consultivo della Commissione Europea, ed in ambito "International Telecommunication Union" (ITU), a seguito della decisione della "World Radiocommunication Conference" del 2007 (WRC-2007) di inserire un apposito punto di discussione nell'agenda del WRC del 2012 riguardo alle misure regolamentari più opportune per l'introduzione della tecnologia SDR e dei sistemi CR.

Nella prospettiva di promuovere ed incrementare la flessibilità dell'accesso allo spettro radio ed alla sua gestione si collocano, altresì, le disposizioni di recente introdotte nel quadro normativo comunitario ai sensi della direttiva 2009/140/CE. In tale sede si evidenzia: la necessità di una sostanziale revisione del sistema normativo di settore, non sufficientemente flessibile per stare al passo con il progresso tecnologico e l'evoluzione dei mercati; la previsione di una progressiva transizione da un regime di concessione di diritti individuali d'uso ad un regime di autorizzazione generale; l'introduzione di maggiori possibilità di trasferimento dei diritti tra imprese (il che permette al mercato di assegnare con più certezza un valore allo spettro radio); il ricorso a formule autorizzatorie neutrali dal punto di vista tecnologico e dei servizi.

Le tecnologie audiovisive

Il quadro di sviluppo degli standard terrestri e satellitari per la radiodiffusione sonora e televisiva in tecnica digitale mostra un processo di evoluzione delle piattafor-

⁶⁰ Un primo approccio (*vertical sharing*) prefigura l'adozione di un modello opportunistico di accesso alla risorsa spettrale (OSA), ovvero prevede che i dispositivi CR utilizzino bande già assegnate mediante licenza ad altri utenti (primari). La radio cognitiva è autorizzata all'utilizzo delle frequenze nella banda solo qualora ciò non generi interferenza verso gli utenti primari. A seconda dei diritti d'uso dello spettro di cui godono questi ultimi, le condizioni alle quali i dispositivi CR sono tenuti ad operare devono essere definite a priori da parte del regolatore (è il caso di frequenze sottoposte al regime CSU) o possono essere lasciate alla definizione degli utenti primari, purché la stessa si dispieghi nel rispetto del quadro regolamentare vigente (è il caso di frequenze i cui diritti d'uso siano assegnati mediante licenze individuali). Una strategia alternativa o complementare di condivisione dello spettro è la strategia di condivisione orizzontale (*horizontal sharing*). In tal caso, ai dispositivi CR sono riconosciuti i medesimi diritti di accesso alla risorsa spettrale; le politiche di condivisione dello spettro devono essere definite in conformità a principi di trasparenza e non discriminazione; si prevede, infine, l'intervento normativo allo scopo di definire le condizioni necessarie ad assicurare una adeguata protezione dei dispositivi operanti nella banda, nonché, limitatamente al caso di frequenze soggette a licenza individuale, al fine di predisporre meccanismi di risoluzione di dispute in caso di non ottemperanza alle condizioni di accesso o di impiego dello spettro da parte dei dispositivi CR e conseguente insorgere di interferenza ai danni dei soggetti assegnatari delle licenze.

me diffusive⁶¹ nella direzione di un sostanziale aumento dell'efficienza di utilizzazione della risorsa spettrale e di uno spostamento dell'offerta verso servizi ad elevata qualità, livello di interattività e personalizzazione.

Con riferimento alla radiodiffusione televisiva terrestre in tecnica digitale, si evidenzia a livello europeo un forte interesse allo sviluppo di uno standard di trasmissione di seconda generazione, il DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial*), in grado di fornire prestazioni superiori rispetto all'ormai consolidato sistema DVB-T ed offrire un "guadagno" aggiuntivo spendibile in termini di aumento dell'efficienza spettrale, ovvero di aumento dell'efficienza energetica, grazie all'impiego di avanzate tecniche di modulazione, codifica di canale ed elaborazione del segnale⁶².

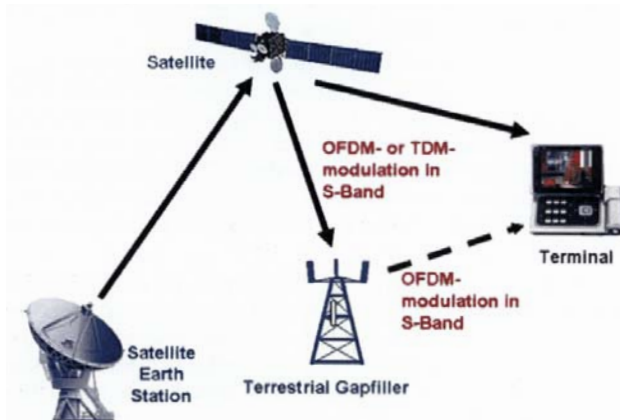
Lo standard DVB-T2 permette, altresì, di garantire una maggiore flessibilità relativamente alle frequenze operative ed alla larghezza di banda, prestazioni sostanzialmente migliori di quelle del DVB-T nei confronti del rumore impulsivo, nonché una maggiore robustezza del segnale trasmesso nei confronti di interferenze provenienti da altri trasmettitori, aprendo con ciò alla possibilità di riuso delle frequenze. Esso abilita, inoltre, l'applicazione di livelli di protezione differenziati per ciascun servizio all'interno del flusso digitale trasportato. La transizione verso il sistema DVB-T2, consente, infine: il riutilizzo degli impianti d'antenna domestici e di trasmissione esistenti; la riduzione, rispetto al DVB-T, del costo dei trasmettitori e dei costi di gestione; l'economicità nella realizzazione della copertura di aree locali, regionali e nazionali, stante il contesto normativo vigente in materia di allocazione dello spettro radio. La specifica dello standard DVB-T2 è stata approvata dal DVB *Steering Board* nel mese di giugno 2008 ed adottata da ETSI nel settembre del 2009, mentre è attualmente in fase di avvio il processo di commercializzazione dei ricevitori d'utente.

Parallelamente a quanto avvenuto per i sistemi terrestri di radiodiffusione televisiva terrestre in tecnica digitale verso terminali in postazione fissa, un processo di evoluzione sta attualmente riguardando i sistemi di diffusione satellitari. È, infatti, di recente introduzione e in fase di sperimentazione il sistema di trasmissione ibrido terrestre/satellitare, *Hybrid Satellite/Terrestrial* (DVB-SH), per la diffusione della televisione digitale verso terminali mobili (figura 2.4).

61 Tale evoluzione procede, del resto, parallelamente alla introduzione di nuovi standard di codifica del segnale, quali lo standard MPEG-4 AVC/H.264, in grado di duplicare la capacità di trasporto dell'informazione a parità di banda.

62 Stante la banda allocata all'operazione del sistema, il DVB-T2 consente di conseguire un incremento di almeno il 30% della capacità trasmissiva rispetto al DVB-T, pur nel rispetto dei livelli di interferenza e delle maschere spettrali definite per il coordinamento a livello internazionale ("GE06 Agreement, Geneva 2006"). Ciò si traduce in un incremento del numero dei canali TV e dei servizi erogabili o, equivalentemente, nella fornitura di servizi di migliore qualità (quali ad esempio i servizi televisivi *High Definition*). L'aumento dell'efficienza energetica implica, d'altro canto, lasciando invariata la numerosità dei siti trasmettenti e la massima potenza del segnale inviato, un incremento del 30% della copertura del territorio per reti a frequenza singola (SFN) o, in alternativa, una riduzione delle dimensioni delle antenne impiegabili in ricezione. A parità di copertura del territorio e di dimensione di antenna in corrispondenza del dispositivo d'utente, invece, l'incremento di efficienza energetica conseguito tramite il ricorso alla tecnologia DVB-T2 consente di diminuire il livello di potenza del segnale irradiato.

■ **Figura 2.4.** Modalità di trasmissione nel DVB-SH



Esso presenta derivazioni tecnologiche DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handheld*) e DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting – Satellite*), coniugando la diffusione diretta del segnale via satellite con la simultanea diffusione dello stesso ad opera di siti terrestri. Il DVB-SH impiega satelliti geo-stazionari ed una rete di stazioni di terra di bassa e media potenza, isofrequenziali con il segnale satellitare nella banda di frequenze compresa tra 2170 e 2200 MHz (banda S), adiacente alla frequenze assegnate alla telefonia mobile 3G.

La specifica DVB-SH si propone, in tal modo, di definire un efficiente sistema di diffusione del segnale digitale, che, migliorando il livello di sensibilità in ricezione e garantendo la resistenza ai disturbi del canale mobile satellitare, sia adatto alla fornitura di servizi verso terminali portatili e mobili e, pertanto, in grado di ovviare ai problemi tipici della diffusione satellitare, quali l'esistenza di vuoti di copertura radio in ambiente *indoor* ed in ambito urbano. Il ricorso a stazioni di terra che, oltre ad irradiare nella stessa sottobanda utilizzata dal satellite per la copertura della zona di territorio da esse servita, irradiano localmente anche in sottobande della banda S che il satellite dedica a differenti territori del continente illuminato, consente di veicolare contenuti e servizi "locali" in aggiunta al flusso proveniente dal satellite. Progettato principalmente per la diffusione della "mobile TV", il DVB-SH si presta anche al trasporto di servizi mobili multimediali, audio (radiofonia digitale), *data broadcast* e *file download*.

In una prospettiva di più lungo termine, ovvero entro un orizzonte temporale esteso al 2015, si collocano ulteriori attività di recente intraprese nell'ambito del DVB Project. Si attende, infatti, per quella data un ingente incremento del consumo di contenuti multimediali interattivi (*Rich Media*), mediante dispositivi d'utente estremamente diversificati. Allo scopo di migliorare ed arricchire la fruizione di tal genere di contenuti da parte dell'utente finale, è prevista la realizzazione del sistema *Next Generation Handheld* (NGH), di nuova generazione, efficiente, flessibile, robusto ed orientato all'impiego in mobilità⁶³. Assumendo che il processo di standardizzazione di tale siste-

63 Il sistema NGH dovrebbe introdurre funzionalità avanzate nell'ambito delle tecniche di elaborazione del segnale d'antenna, di codifica di canale, di modulazione, dei meccanismi di segna-

ma abbia inizio nel corso dell'anno 2010, la pubblicazione del relativo standard dovrebbe avvenire entro il 2011, il che consentirebbe la disponibilità commerciale dei primi dispositivi NGH nel 2013.

■ 2.1.2. Le tecnologie trasmissive ottiche

Attualmente due sono le architetture principalmente adottate per la realizzazione delle reti di accesso di nuova generazione (*Next Generation Network*) in fibra ottica: le architetture *point-to-point* (P2P), in cui una singola fibra dedicata connette l'utente alla centrale locale, e le architetture *point-to-multipoint*, caratterizzate da una topologia ad albero e dall'assenza in rete di apparati attivi, dette PON (*Passive Optical Networks*).

Con riferimento alle soluzioni PON, diversi sono gli standard adottati a livello internazionale, tra cui lo standard *Gigabit PON* (GPON, specifica ITU-T 984) e lo standard *Ethernet PON* (EPON, specifica 802.3ah)⁶⁴.

L'esperienza maturata in tali contesti riguardo ai percorsi di evoluzione degli standard di trasmissione ottica, consente di evidenziare due criteri fondamentali cui lo sviluppo delle reti in fibra di nuova generazione deve essere ispirato: (i) la possibilità di operare aggiornamenti incrementali sulla stessa rete di distribuzione ottica; (ii) una maggiore disponibilità di banda rispetto ai sistemi attualmente implementati; (iii) una maggiore simmetria dei servizi erogabili.

In tale prospettiva si collocano le attività intraprese in ambito ITU-T con riferimento allo standard GPON, che hanno condotto al rilascio nel marzo 2008 della Raccomandazione G.984.6⁶⁵. La specifica definisce architettura e parametri di interfaccia di sistemi GPON con estensione della copertura fino a 60 km, conseguita mediante introduzione di un amplificatore ottico in fibra tra la terminazione di linea ottica (OLT) e la rete di distribuzione ottica (ODN)⁶⁶. Il guadagno di potenza così ottenuto è speso in un aumento della copertura, con conseguente incremento del numero di utenti potenzialmente raggiungibili, o, in alternativa, in un incremento del rapporto di *splitting*, con riduzione del costo del servizio per singolo utente.

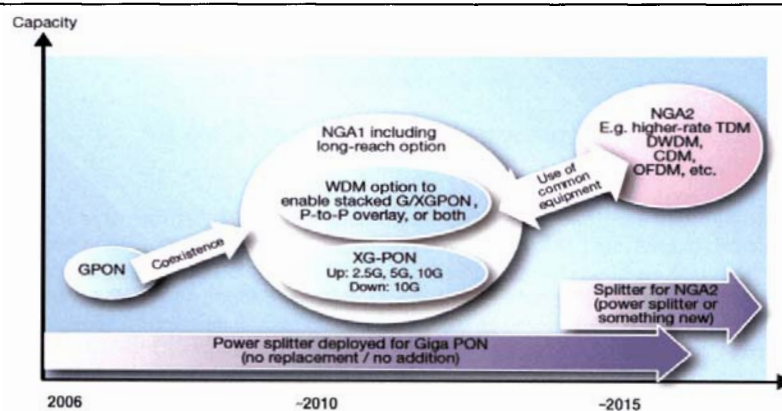
lazione, di tolleranza agli errori, di riduzione dei tempi di latenza introdotti dal sistema, di contenimento dei tempi di cambio canale, delle tecnologie di controllo della congestione di rete, di riduzione del rapporto tra potenza di picco e potenza media, delle tecniche di distribuzione di contenuti locali, dei metodi per l'handover trasparente (orizzontale, ovvero all'interno del sistema NGH, e verticale, verso sistemi eterogenei), delle tecniche di minimizzazione della potenza in trasmissione e di miglioramento della sensibilità in ricezione.

64 Gli standard GPON ed EPON nascono rispettivamente dall'attività del consorzio FSAN (*Full Service Access Network*), cui partecipano numerosi costruttori di apparati e *chipset* ed i maggiori operatori di telecomunicazione, e dall'iniziativa di un gruppo di costruttori di apparati Ethernet, volta a sviluppare uno standard per la rete d'accesso basato sul protocollo trasmissivo Ethernet nell'ambito del gruppo di studio EFM (*Ethernet in the First Mile*).

65 Raccomandazione ITU-T G.984.6, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension", marzo 2008.

66 Esistono differenti modalità di implementazione di un *reach extender* ottico, tra cui in particolare sono da annoverare l'utilizzo di amplificatori ottici (OA) e la rigenerazione del segnale (*re-shape, re-time, re-amplify*) con conversione ottico-elettrico-ottica.

Figura 2.5. Percorso evolutivo degli standard di trasmissione ottica proposto in ambito FSAN



Fonte: Ericsson

In ambito FSAN/ITU-T, sono stati identificati due stadi di evoluzione dell'architettura di rete di accesso ottica di nuova generazione (figura 2.5). In una prima fase (NGA1) si richiede che essa sia in grado di: garantire la coesistenza su stessa rete di distribuzione ottica con i sistemi GPON esistenti, conformi alle specifiche G.984.5⁶⁷ e G.984.6; apportare rilevanti miglioramenti delle prestazioni rispetto ai sistemi GPON attuali, in termini di velocità di cifra e fattore di *splitting*; presentare caratteristiche di flessibilità e scalabilità. Possibili tecnologie candidate per la realizzazione della NGA1 sono: la tecnologia XG-PON1⁶⁸ (10 Gigabit-capable Passive Optical Network), in grado di supportare velocità pari a 10 Gbps in *downstream* e 2,5 Gbps in *upstream* e permettere un fattore massimo di *splitting* pari a 1:128; la tecnologia XG-PON2⁶⁹, che consente velocità di cifra simmetriche pari a 10 Gbps su entrambe le tratte; le soluzioni WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) con utilizzo delle bande identificate dallo standard G.984.5 per la sovrapposizione di connessioni PON e connessioni punto-punto sulla stessa infrastruttura in fibra o per la sovrapposizione di più sistemi GPON a 2,5 Gbps su diverse lunghezze d'onda.

Parallelamente a quanto definito da ITU-T, in ambito IEEE lo standard emergente 802.3av detta le specifiche per la rete 10G-EPON, in grado di supportare sia la configurazione asimmetrica con velocità di cifra pari a 10 Gbps in *downstream* e 1 Gbps in *upstream*, che la configurazione simmetrica operante a velocità di cifra pari a 10 Gbps in entrambe le direzioni.

67 Raccomandazione ITU-T G.984.5, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Enhancement band", settembre 2007.

68 Nell'ambito dei gruppi di standardizzazione FSAN/ITU-T sono in corso le attività di specifica dei sistemi XG-PON: G.987.1 (XG-PON General Requirements) e G.987.2 (XG-PON Physical Media Dependent layer specification) approvate a ottobre 2009; G.987.3 (XG-PON Transmission Convergence layer specification) e G.987.4 (XG-PON ONU management and control interface specification) in approvazione a giugno 2010.

69 Lo standard è previsto per la seconda metà del 2011; al momento sono disponibili i primi prototipi.