

Approfondimenti tematici

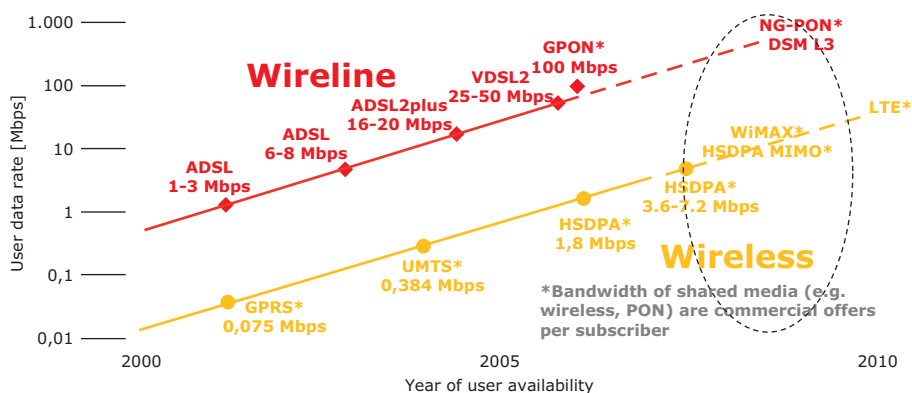
2.1. Le tecnologie emergenti

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.

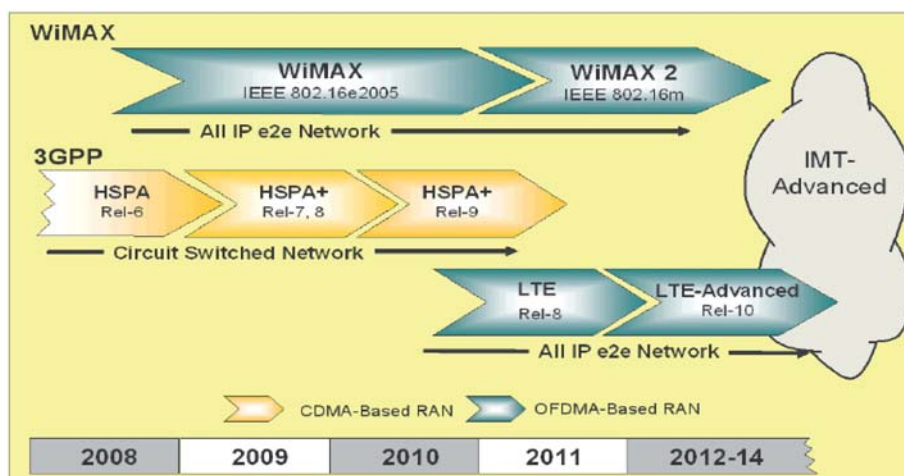
48 "WiMAX Forum Mobile System Profile Specification: Release 1.5 Common, TDD, and FDD Specific Parts", WMF-T23-003-R015v01 MSP: July 2009, WiMAX Forum website.

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 riusabile 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-

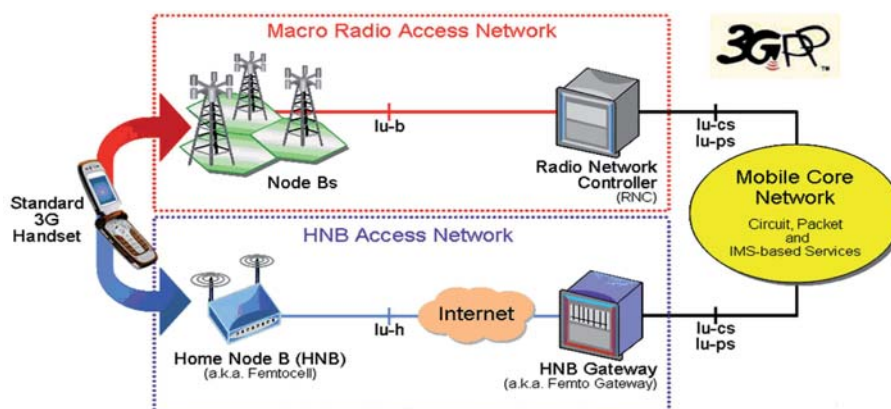
53 Relativamente all'allocazione di bande di frequenza all'operazione di tali sistemi, rileva richiamare l'adozione avvenuta nel giugno 2008 da parte della Commissione Europea della Decisione 2008/477/CE "relativa all'armonizzazione della banda di frequenze 2,500-2,690 MHz per i sistemi terrestri in 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 riutilizzo 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 temporanea 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.

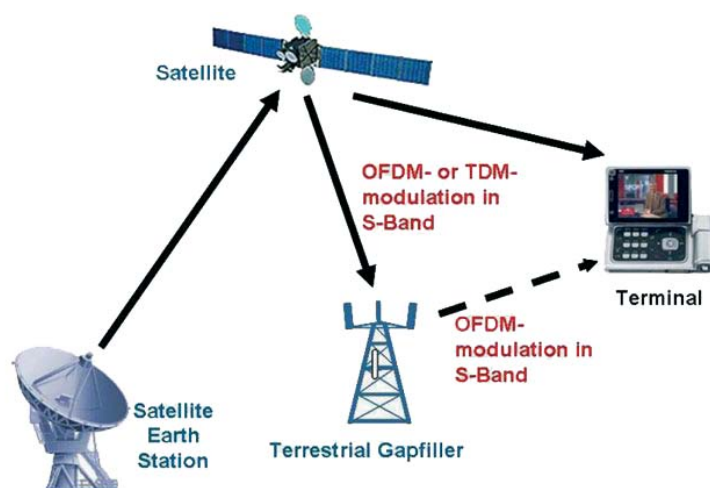
Lo standard DVB-T2 permette, altresì, di garantire una maggiore flessibilità relativamente alle frequenze operative ed alla larghezza di banda, prestazioni sostanzialmente migliori di quelle del DVB-T nei confronti del rumore impulsivo, nonché una maggiore robustezza del segnale trasmesso nei confronti 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.

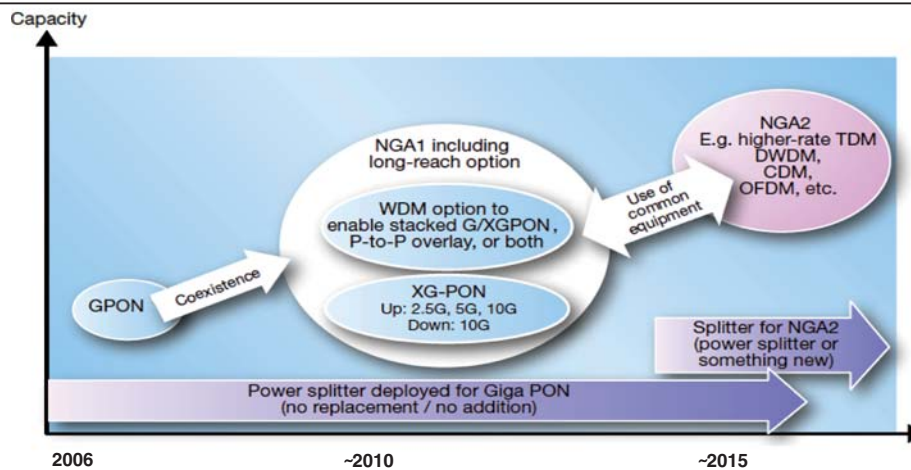
lazione, di tolleranza agli errori, di riduzione dei tempi di latenza introdotti dal sistema, di contenimento dei tempi di cambio canale, delle tecnologie di controllo della congestione di rete, di riduzione del rapporto tra potenza di picco e potenza media, delle tecniche di distribuzione di contenuti 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.

In una seconda fase del processo evolutivo (NGA2), riconosciuta l'inadeguatezza delle attuali specifiche a proseguire il percorso di evoluzione prospettato per le reti di accesso in fibra ottica, non si pongono requisiti di compatibilità con i sistemi GPON attuali sullo stesso mezzo fisico, il che comporta la sostituzione degli apparati esistenti con nuovi apparati sia lato centrale che lato cliente. In ambito FSAN sono in corso di avvio le attività di studio e definizione di soluzioni che abilitino un aumento della velocità di linea (es. banda media per utente fino a 1 Gbps), un incremento della portata massima (fino a 100 km) e del massimo fattore di *splitting* supportato (fino a 1:512)⁷⁰. Molteplici sono le tecnologie candidate a realizzare tale progetto di evoluzione ed attualmente oggetto di studio ed analisi da parte del gruppo FSAN, quali le tecnologie TDMA-PON evolute multi-canale o le tecnologie CDMA-PON. Si considera, inoltre, l'introduzione di sistemi WDM-PON con moltiplicazione dei flussi dati d'utente a divisione di lunghezza d'onda. Al riguardo, sebbene vi sia la disponibilità di un certo numero di dispositivi commerciali WDM-PON che consentirebbe l'avvio di una successiva fase di sviluppo, si registra ad oggi un interesse piuttosto contenuto del mercato, a causa della posizione critica evidenziata dagli operatori di telecomunicazione in relazione ad un eventuale impiego della tecnologia WDM-PON (dovuta alla elevata complessità gestionale che l'introduzione di tale tecnologia nella rete di accesso comporterebbe ed alla necessità di sostituire gli *splitter* in rete con filtri ottici), degli alti costi di sviluppo e manutenzione connessi, nonché del basso livello della domanda da parte dell'utenza, con la sola eccezione del segmento *business*, per il quale tuttavia si rileva attualmente un deciso orientamento verso soluzioni *point-to-point*.

70 I primi standard sono attesi per 2012-2013; gli apparati commerciali saranno disponibili invece nel 2014-2015.

2.2. Gli scenari di evoluzione delle reti

■ 2.2.1. I percorsi di convergenza nelle reti di telecomunicazione

La convergenza nelle telecomunicazioni, tema già da tempo dibattuto, è oggi oggetto di particolare attenzione e motivo di un'intensa attività di studio, ricerca e standardizzazione a livello internazionale. Molteplici sono le possibili declinazioni di tale paradigma, inerenti livelli estremamente diversificati (quali il terminale, la rete, il servizio e le strutture operative), eppure spesso obiettivo del medesimo percorso evolutivo delle reti di telecomunicazione di nuova generazione⁷¹. Scopo della convergenza è consentire un più efficiente utilizzo delle piattaforme, garantendo all'utente la fruizione del medesimo servizio indipendentemente dalla tecnologia di accesso impiegata (fissa o mobile), nonché assicurando la fruizione ubiqua di servizi innovativi, multimediali e personalizzati, indipendentemente dal dispositivo di accesso e dal contesto operativo in cui l'utente è collocato. Tra i principali *driver* verso la convergenza sono dunque da annoverare l'opportunità di realizzare sinergie ed ottimizzazioni delle infrastrutture e dei processi, nonché la possibilità di comporre un'offerta di servizi più ampia e diversificata dell'attuale verso la clientela finale. Se nel passato, dunque, le reti di telecomunicazione si sono evolute in ambienti chiusi ed integrati verticalmente, determinando con ciò da parte dell'operatore l'esigenza di replicare funzioni, con conseguenti inevitabili inefficienze di costo e scarsa flessibilità organizzativa, l'attuale tendenza è una migrazione verso architetture *Next Generation Network* (NGN) aperte e standardizzate. Sia le reti fisse che quelle mobili stanno dunque evolvendo verso reti a pacchetto, *All-IP*, intelligenti ed in grado di supportare in modo semplice e flessibile soluzioni e servizi avanzati e, dunque, in grado di abilitare gli scenari di convergenza prefigurati. A tal fine, una rete NGN è organizzata secondo un modello a strati orizzontali, di trasporto (o connettività), di servizio e di controllo, tale da consentire lo sviluppo indipendente dei servizi dalla sottostante tecnologia di rete e da abilitare interventi di integrazione all'interno dei singoli livelli, senza che sia alterata l'intera infrastruttura di rete. Sotteso al concetto di supporto alla convergenza sin qui delineato e riconosciuto come peculiare delle reti NGN è il supporto alla mobilità, inteso nella sua più ampia accezione. Al fine di assicurare la disponibilità del medesimo servizio in modo trasparente senza soluzione di continuità, tale concetto può infatti essere declinato sia con riferimento alla mobilità del servizio, ovvero alla disponibilità dello stesso in contesti diversi, che alla mobilità del terminale, alla mobilità dell'utente ed, infine, alla mobilità della rete. Ulteriore elemento abilitante l'evoluzione delle reti di telecomunicazione secondo la prospettiva mostrata è l'introduzione e la centralizzazione di funzioni di mutua auten-

71 Se infatti una prima forma di convergenza può essere perseguita a livello di dispositivo d'utente, con l'implementazione di terminali *dual mode* in grado di selezionare dinamicamente la tecnologia di accesso sulla base di politiche di massimizzazione della velocità di cifra, di ottimizzazione dell'impiego della risorsa spettrale, della qualità e continuità del servizio e della gestione del traffico di rete, ad una vera e propria integrazione si perviene solo intervenendo a livello di rete, secondo un approccio *end-to-end*, con l'implementazione di protocolli e l'introduzione di elementi di rete deputati ad effettuare funzionalità di interlavoro, nonché agendo a livello di servizio, ossia prevedendo operazioni di transcodifica dei formati ed adattamento dei contenuti.

ticazione (del cliente verso la rete e viceversa), autorizzazione ed accreditamento dell'utente, oltre alla predisposizione di meccanismi tesi alla localizzazione e profilazione del medesimo, alla sua univoca identificazione in rete indipendentemente dalle modalità impiegate per l'accesso ed, infine, alla integrità e confidenzialità delle comunicazioni.

Alla trasformazione delle architetture di rete nella direzione descritta hanno contribuito enti di standardizzazione operanti a livello europeo ed internazionale. Essi, pur muovendo da premesse differenti a seconda degli interessi che rappresentano, sono accomunati dal medesimo intento di pervenire alla definizione di specifiche a supporto della convergenza e della interoperabilità in reti NGN. In particolare, in ambito 3GPP è standardizzata la soluzione *IMS (IP Multimedia Subsystem)* per il supporto dei servizi telefonici e multimediali su infrastruttura di rete IP⁷². Parallelamente, con l'obiettivo di indirizzare le competenze *ETSI (European Telecommunication Standard Institute)* in materia di reti fisse verso la definizione di standard europei per le reti NGN, è nato nel 2003 *TISPAN (Telecoms and internet converged Services and Protocols for Advanced Networks)*⁷³. Le attività svolte in tale contesto hanno guidato alla definizione nel dicembre 2005 della *Release 1 NGN*, che accoglie in larga misura le soluzioni 3GPP IMS. Ricondotte, quindi, in seno al 3GPP le specifiche comuni ad IMS, all'inizio del 2008 è stata ultimata la *Release 2 NGN*, che ha introdotto elementi chiave per lo sviluppo delle reti di nuova generazione, in grado di supportare il servizio IPTV (sia IMS che non), rispondere alle richieste provenienti dal mercato dei servizi *triple-play* e *quadruple-play* e consentire l'interconnessione alle reti NGN delle reti e dei dispositivi domestici, così come delle reti *corporate*. Dall'inizio del 2008, TISPAN ha avviato i lavori per la terza versione delle specifiche NGN, ivi incluso lo studio di miglioramenti al servizio IPTV, dell'interconnessione di rete IP, di miglioramenti degli aspetti di sicurezza nelle reti NGN e di gestione della qualità del servizio e del carico di rete. Con l'obiettivo di armonizzare i diversi approcci alla realizzazione delle reti NGN, infine, dal 2002 si sono susseguite lato ITU-T una serie di attività, affidate a partire dal 2004 al *Focus Group on Next Generation Network (FGNGN)*, che hanno condotto al rilascio di una prima versione delle specifiche NGN nel corso del 2007; i lavori sono quindi proseguiti allo scopo di pervenire ad una successiva versione dello standard.

I processi di convergenza sin qui descritti hanno contribuito al progressivo dissolvimento dei confini tra i diversi settori dell'industria delle tecnologie per l'informazione e la comunicazione (ICT), quali le telecomunicazioni, i *media* e l'informatica. L'apertura delle reti al mondo internet ha infatti consentito ai fornitori di servizi ed applicazioni di competere anche direttamente con gli operatori delle reti di telecomunicazioni, persino sui servizi di telefonia tradizionale (è questo, ad esempio, il caso di *service provider* quali Skype e Vonage). Su un effettivo permanere dei confini tra i settori dell'ICT, a dispetto del progresso tecnologico, può incidere in maniera determinante il quadro regolatorio, che si rivela dunque fondamentale nell'ottica di perseguire una completa convergenza di reti e servizi.

72 Sebbene avviate in riferimento alle reti mobili ed introdotte nell'ambito dello standard UMTS, le specifiche IMS prevedono nelle più recenti versioni (*Release '06 3GPP*) un approccio neutro rispetto all'accesso, sia mobile che fisso a larga banda.

73 TISPAN è in grado di supportare la fornitura di servizi di comunicazione *real-time* e non, su piattaforma *IP-based* multiservizio, multiprotocollo e multiaccesso, abilitando funzionalità di nomadicità e mobilità per utenti e terminali.

■ 2.2.2. L'integrazione tra la TV digitale, internet e le reti radiomobili

La maturità della tecnologia offre, ad oggi, scenari di integrazione tra TV digitale (DTV) ed internet a larga banda, spingendo verso una concentrazione dei mezzi che rende totalmente trasparente all'utente finale l'effettivo canale di provenienza dell'informazione.

In un'ottica di centralità del mezzo televisivo, riconosciuto come il più aperto e usabile, numerose sono le opportunità offerte dagli standard *Digital Video Broadcasting* (DVB) ed in particolare dallo standard digitale terrestre DVB-T in termini di integrazione con le tecnologie, i protocolli ed i servizi presenti nel mondo del *web*. Sono tre i principali profili di servizio supportati dai decoder DVB-T attualmente in commercio tramite piattaforma aperta MHP (*Multimedia Home Platform*), caratterizzati da crescenti livelli di multimedialità, interattività e personalizzazione: il profilo *Enhanced Broadcast*, il profilo *Interactive Broadcast* ed il profilo *Internet Access*⁷⁴. Quest'ultimo abilita l'accesso *on-demand* e personalizzato a servizi di tipo internet (quali la navigazione su siti Web) sfruttando i protocolli di sicurezza IP, consente di ricevere i contenuti multimediali attraverso il canale diffusivo e/o le reti fisse di telecomunicazione e memorizzarli in corrispondenza del *set-top-box*, rappresentando il vero e proprio punto di convergenza tra le tecnologie informatiche e televisive.

Ulteriore soluzione orientata alla convergenza tra tecnologie di differente derivazione, quali il *broadcasting*, le telecomunicazioni e l'*Information Technology* è la IPTV (*Internet Protocol Television*). Tale sistema prevede l'erogazione, da parte di un operatore di rete, di servizi di televisione digitale tramite l'impiego del protocollo IP e l'utilizzo di una connessione a banda larga su rete gestita o dedicata (xDSL o fibra ottica). L'adozione del paradigma *client-server*, tipico delle tecnologie internet, conferisce massima intensità all'interazione tra utente e fornitore del servizio, permettendo la fornitura di servizi in diretta diffusivi *Broadcast TV* (BTV), *free-to-air* o *pay TV*, e servizi su richiesta *Video on Demand* (VoD) in modalità *streaming* o *Download and Play* (D&P)⁷⁵.

74 Il profilo *Enhanced Broadcast* (basato su MHP 1.0.2) arricchisce il servizio televisivo tradizionale con contenuti multimediali, trasmessi ciclicamente sul canale diffusivo all'interno del multiplex DVB e scaricati via etere nella memoria del ricevitore. Tali applicazioni possono essere associate e sincrone al programma in onda, a corredo ed integrazione dello stesso, oppure autonome rispetto al programma; l'utente può fruirne *on-line* o in differita, interagendo localmente (interattività locale) con l'applicazione, anche in assenza di canale di ritorno. Il profilo *Interactive Broadcast* (basato su MHP 1.0.3) aggiunge al precedente la possibilità per l'utente di accedere a servizi *on-demand* tramite un canale di ritorno (interattività *on-line*), essenziale per promuovere lo sviluppo di servizi personalizzati, quali la posta elettronica, il commercio elettronico, i servizi *pay-per-view*. La specifica definisce anche i protocolli di comunicazione e di interfaccia di rete necessari per assicurare l'elevato livello di affidabilità e sicurezza che i servizi sopra descritti richiedono. Il profilo *Internet Access* (basato su MHP 1.1.2), infine, integra le funzionalità dei primi due profili.

75 I servizi BTV sono basati su funzionalità di *multicast* IP e consistono nella fruizione contemporanea da parte degli utenti di un "canale" televisivo tradizionale, in maniera del tutto simile a quanto avviene per la TV tradizionale. Al contrario, i servizi VoD utilizzano le comunicazioni *unicast* su rete IP. Nel caso, in particolare, di fruizione in modalità *streaming*, l'utente interagisce in tempo reale con le applicazioni create dal *service provider* e fruisce dei contenuti audiovisivi, avendo a disposizione le funzioni tipiche di un VCR (*play*, *pause*, *rewind*, *fast-forward*). La qualità del servizio audiovisivo risulta, tuttavia, funzione della banda disponibile e del numero di utenti serviti contemporaneamente. Nella modalità D&P, al contrario, non si prevede contemporaneità tra trasmissione e fruizione dei contenuti, in parte o totalmente memorizzati nell'*hard disk* del

L'IPTV consente, inoltre, una molteplicità di servizi interattivi, quali il *web browsing* e le applicazioni di comunicazione (*e-mail*, *MMS*, *chat*, *video chat*, *multiroom viewing*, etc.), selezionabili dall'utente mediante interazione con un'apposita interfaccia. Pur essendo un potenziale concorrente delle piattaforme di radiodiffusione televisiva esistenti, terrestri e satellitari, l'IPTV mostra appieno il suo potenziale quale sistema complementare, piuttosto che sostitutivo, dei tradizionali sistemi diffusivi. Tale tendenza è confermata dalla realizzazione di *set-top-box* integrati ibridi IPTV/ DVB, tali da consentire all'utente finale la ricezione del segnale sia via etere (per via terrestre o satellitare) che tramite connessione di rete a larga banda, con ciò supportando servizi ibridi *broadband/broadcast*, aprendo ad applicazioni innovative ed, in definitiva, garantendo un'ottimizzazione di impiego delle risorse trasmissive⁷⁶. In aggiunta, l'IPTV si presta al pieno supporto di trasmissioni *streaming* di tipo televisivo via rete internet (*web-TV*), *live* o *on-demand*, tramite *set-top-box* IPTV ibridi.

Se fino al 2008 l'erogazione di servizi internet e di TV *on-line* di nuova generazione è stata possibile solo tramite personal computer, a partire dal 2009 sono stati resi disponibili sul mercato dispositivi ibridi *internet-enabled*, tali da consentire tramite televisore la fornitura e l'integrazione di offerte TV digitali tradizionali lineari e servizi *web-based* su richiesta (Over-The-Top TV, OTT TV). La penetrazione nel mercato di tali dispositivi *internet-enabled*, seppur ad oggi ancora limitata, sembra destinata in Italia ad una netta accelerazione nel breve-medio periodo, soprattutto considerata la previsione normativa dell'integrazione negli apparecchi televisivi di un decoder digitale terrestre ed il fisiologico processo di rinnovamento e sostituzione dell'elettronica di consumo. La filiera dell'OTT TV, ancora in via di definizione, comprende, oltre ai fornitori di contenuti, ai *broadcaster*, agli operatori di rete ed ai fornitori del servizio di accesso ad internet, categorie di soggetti cui è demandata la funzione di abilitatori, quali i costruttori hardware e gli sviluppatori software dei dispositivi *internet-enabled*, e di aggregatori dei servizi. A quest'ultima categoria, avente funzioni anche editoriali, appartengono soggetti estremamente eterogenei, quali: i costruttori di apparecchi di elettronica di consumo (*set-top-box* o televisori) *internet-enabled*, gli operatori del mercato del software videoludico (produttori di console dotate di connessione di rete), i produttori di hardware e software per *set-top-box broadband* e *mediacenter*, gli operatori di telecomunicazione (e.g. Telecom Italia è promotrice in *partnership* con Intel di un'offerta OTT TV su piattaforma software *open source* integrata nei *set-top-box* IPTV), gli operatori di *pay-tv* e i nuovi operatori OTT TV indipendenti. Si registrano al riguardo numerosi accordi di distribuzione tra fornitori di contenuti e produttori di elettronica di consumo per la erogazione di servizi innovativi e di alta qualità all'utente finale, così come rileva evidenziare le iniziative messe in atto dai principali attori della filiera e volte allo sviluppo ed alla promozione di uno standard comune ed aper-

set-top-box; pertanto non è richiesta necessariamente una banda garantita elevata. Un'ulteriore categoria di servizi erogabili mediante IPTV comprende i servizi *Near VoD (NVoD)*. Essi adottano meccanismi *multicast* su canali predefiniti, per la trasmissione dei contenuti continuativa e ad intervalli di tempo prestabiliti; sia dal punto di vista dell'erogazione che della fruizione da parte dell'utente, dunque, i servizi NVoD si configurano quali servizi diffusivi, tali da consentire una notevole riduzione dei costi per i *service provider* rispetto ai servizi VoD ed in grado di limitare il carico di traffico in rete ed in corrispondenza dei *server* video.

⁷⁶ I sistemi *Hybrid Broadband/Broadcast (HBB)* consentono di riservare il canale *broadband* per le applicazioni interattive ed i servizi VoD, ovviando ai problemi di congestione di rete, inevitabili su rete xDSL soprattutto nel caso di programmi HDTV. Alla definizione di specifiche HBB è riconosciuto particolare rilievo dagli enti di standardizzazione operanti sia a livello internazionale che europeo, ove le attività sono demandate al DVB Project.

to per la distribuzione dei contenuti tramite terminali ibridi (e.g. Progetto Canvas nel Regno Unito).

Il percorso evolutivo delle tecnologie audiovisive si è completato con un processo di convergenza tra *broadcasting* e telecomunicazioni mobili, la cui logica ispiratrice emerge chiaramente dall'esame delle caratteristiche e delle limitazioni delle tecnologie coinvolte. Le tecnologie di comunicazione mobile vantano un'ampia base di abbonati ed offrono una elevata interattività personale; tuttavia, si evidenzia sul mercato una diminuzione dei ricavi medi per utente (ARPU) determinata da un aumento della spinta concorrenziale. Se dunque l'industria mobile registra una crescente richiesta di banda per la distribuzione di contenuti multimediali, essa potrà difficilmente essere soddisfatta in quanto in contrasto con l'attuale tendenza degli operatori mobili ad una contrazione degli investimenti in infrastrutture. D'altro canto, i servizi di *broadcasting* fanno leva sull'accesso a contenuti di alta qualità e sulla disponibilità di un efficiente canale di trasmissione. Ciò nonostante, l'industria televisiva è chiamata oggi a misurarsi con una sempre più diffusa esigenza di personalizzazione dei servizi e di differenziazione dei canali, in linea con una segmentazione della domanda orientata ai servizi di accesso ad internet ed ai servizi di diffusione televisivi digitali in mobilità. La tendenza verso tali innovative modalità di fruizione dei contenuti si è sviluppata parallelamente ad una forte riduzione del consumo dei *media* tradizionali, soprattutto da parte della fascia più giovane della popolazione; ciò ha indotto le emittenti televisive a ricercare formule di offerta specificamente rivolte al segmento mobile, basate sull'integrazione dei servizi *streaming* audio e video con i tradizionali servizi di telefonia mobile e sull'interattività delle piattaforme e dei programmi televisivi esistenti. La possibilità di distribuire simultaneamente un elevato numero di programmi e contenuti digitali agli utenti, erogando al contempo nuovi servizi interattivi tramite le funzionalità della rete mobile, e l'opportunità di sviluppare nuovi modelli di *business* hanno determinato l'instaurarsi di una proficua interazione tra l'industria del *broadcasting* e l'industria mobile. Sebbene, infatti, i servizi di *mobile tv* siano già disponibili sull'infrastruttura cellulare esistente (3G UMTS) in modalità di trasmissione *unicast*, l'impiego del *broadcast* consente di supportare la distribuzione contemporanea dei contenuti verso una platea ben più estesa di utenti, favorendo la realizzazione di economie di scala. Il processo di convergenza in atto conduce, in definitiva, ad un'evoluzione delle modalità di erogazione del servizio: da fornitura su singolo canale, in assenza sia di specifiche interazioni tra dispositivi e piattaforme che di meccanismi di identificazione univoca dell'utente, a fornitura multi-canale. In linea con tale innovativo approccio, l'utente può accedere ad uno stesso contenuto e/o servizio attraverso canali multipli, essendo univocamente identificato dalla rete, indipendentemente dalle modalità di accesso; analogamente, le preferenze espresse dall'utente sono automaticamente registrate e riconosciute, a prescindere dal canale impiegato per l'accesso. Attualmente in Europa sono impiegate tre principali classi di tecnologie per la distribuzione di contenuti *broadcast* tramite terminali mobili: i) la tecnologia *broadcast* cellulare MBMS (*Multimedia Broadcast/Multicast Service*), estensione dello standard di telefonia mobile di terza generazione UMTS; ii) le tecnologie di radiodiffusione digitale terrestre e le loro estensioni, quali il DVB-H (*DVB Handheld*) basato su standard digitale terrestre DVB-T, il T-DMB (*Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting*) basato su standard terrestre DAB (*Digital Audio Broadcast*) e MediaFLO (*Media Forward Link Only*); iii) i sistemi ibridi terrestri/satellitari, quali il DVB-SH, incluso nella famiglia di standard DVB. Al momento, sono in corso attività di ricerca volte a delineare un quadro comune, basato su internet, che favorisca ed abiliti l'interoperabilità tra gli standard della *mobile tv*.

2.3. Le prospettive di evoluzione dei servizi e delle applicazioni

■ 2.3.1. Le comunicazioni immersive virtuali

Di recente si è attuato un vero e proprio cambiamento del paradigma di erogazione dei servizi, con lo spostamento della centralità dell'interesse dalla tecnologia all'individuo. Ciò ha condotto ad una profonda trasformazione delle comunicazioni tradizionali, verso le cosiddette comunicazioni contestualizzate. L'esperienza della comunicazione si arricchisce e si completa tramite la consapevolezza del contesto, inteso come informazione situazionale, ambientale, personale e strumentale. Un sistema *context aware* opera attraverso la percezione ovvero l'acquisizione e l'interpretazione delle informazioni di contesto, la presentazione delle stesse ai soggetti coinvolti nell'esperienza, l'erogazione automatica e dinamica dei servizi ed, in ultima istanza, l'associazione dinamica delle informazioni alle entità, fisiche o virtuali, coinvolte.

I settori dello sviluppo tecnologico destinati a realizzare questa prospettiva sono le tecnologie della intelligenza d'ambiente e della telepresenza immersiva. L'individuo è circondato da sensori, attuatori ed agenti informatici intelligenti, presenti ovunque, ivi inclusi gli oggetti di uso comune, ed in grado di abilitare l'interazione tra l'utente e l'ambiente, svolgendo funzioni di interfaccia, preelaborazione e comunicazione, oltre che, in specifici settori applicativi, funzioni di instradamento dei dati, localizzazione e navigazione. Un elevato livello di interattività con l'ambiente, indispensabile per indurre nell'utente il senso stesso di presenza, è conseguibile rendendo i sistemi semplici, collaborativi ed immanenti. Ciò è possibile mediante il supporto delle tecnologie informatiche ed, in particolare, l'utilizzo di sistemi informativi per l'elaborazione distribuita e di protocolli (*middleware*) in grado di consentire, tramite l'impiego di opportune ontologie, la condivisione dei dati di contesto tra gli agenti software intelligenti distribuiti nell'ambiente, al fine di permetterne in modo automatico la configurazione e la direzione del comportamento. Le informazioni collezionate sono utilizzate per la composizione automatica dei servizi, l'adattamento degli stessi al contesto ed il loro adeguamento ad eventuali *policy* in vigore. Al fine di rendere le macchine in grado di comprendere ed interpretare i contenuti prodotti dagli esseri umani, sono introdotti modelli di rappresentazione della conoscenza, consultabili sia dagli umani che dalle macchine. L'esigenza di passare dal concetto di informazione come "dato" al concetto di informazione come "dato + significato" impone, da un punto di vista operativo, di attuare la completa transizione da *web* ordinario a "*web* semantico" o "*web* 3.0". Esso fornisce un'infrastruttura che consente la condivisione e il riutilizzo dei dati tra applicazioni e comunità, definendo formati comuni per l'integrazione dei dati provenienti da fonti diverse e stabilendo un linguaggio atto ad identificare come i dati siano in relazione con gli oggetti del mondo reale. Il "*web* semantico", fondandosi sulla considerazione che le macchine possano accedere ad un insieme strutturato di informazioni e ad un insieme di regole di inferenza da utilizzare per il ragionamento automatico, fornisce il linguaggio per esprimere i dati e le regole per ragionare su di essi, esportate da qualunque sistema di rappresentazione della conoscenza: condizione questa indispensabile per realizzare il paradigma dell'intelligenza d'ambiente.

Se le tecnologie dell'intelligenza d'ambiente conferiscono ai sistemi pervasività ed adattività, è grazie alle tecnologie della telepresenza che i sistemi divengono pienamente immersivi e l'esperienza di essere presenti in un ambiente remoto per il tramite di un mezzo di comunicazione si definisce come consapevole sensazione di essere collocati fisicamente nello spazio in cui l'evento avviene, mediante la piena immersione del sistema sensoriale in una realtà virtuale, che è l'ambiente reale o simulato in cui il soggetto percettore sperimenta il servizio.

Le tecnologie qui presentate trovano oggi una prima applicazione in molteplici campi, quali l'intrattenimento, l'educazione e la formazione, la medicina e la psicologia, le telecomunicazioni, il *marketing*, il militare, il *design* e l'architettura. Le tecnologie della presenza consentono di introdurre in tali ambiti interattività e immersività, fornendo gli strumenti per ricreare ed arricchire l'esperienza sociale di comunicazione, collaborazione e condivisione dell'esperienza, soprattutto a supporto di gruppi distribuiti, nonché offrendo strumenti di visualizzazione avanzata, virtualizzazione ed *augmentation*. Fondamentali, al fine di abilitare le comunicazioni immersive virtuali, sono i recenti sviluppi nella realizzazione e commercializzazione dei dispositivi di visualizzazione (schermi stereoscopici e visori 3D), degli strumenti di interazione naturale (telecamere 3D, sensori di movimento, interfacce tattili, vocali e gestuali), degli strumenti di interpretazione degli stati umani psicologici, cognitivi, emotivi e fisici (interfacce *brain-computer*, strumenti di analisi del segnale vocale e di video analisi delle espressioni facciali) e dei metodi di rappresentazione (agenti virtuali, ambienti virtuali).

■ 2.3.2. Il cloud computing

Tra le prospettive aperte dall'evoluzione delle tecnologie e delle reti di telecomunicazione, un crescente interesse si registra per il paradigma *cloud computing*. Tale termine è utilizzato per denotare l'insieme delle tecnologie informatiche in grado di abilitare l'erogazione *on-demand* dei servizi di accesso ed utilizzo di risorse applicative (*Software as a Service, SaaS*), di piattaforme, strumenti e prodotti necessari allo sviluppo ed al *delivery* di servizi applicativi (*Platform as a Service, PaaS*) e di risorse di elaborazione, memoria e comunicazione (*Infrastructure as a Service, IaaS*). Tali risorse, accessibili all'utente tramite interfacce *web*, sono distribuite in rete e virtualizzate, ovvero per esse, non più fornite fisicamente, sono create versioni virtuali, le cui caratteristiche e la cui corrispondenza a risorse reali sono dinamicamente definite. Nel *cloud computing*, nato come evoluzione del *grid computing*, confluiscono una molteplicità di tecnologie, dalle *service oriented architecture* ai *web services*. Si adottano, in particolare, i principi per l'organizzazione e la gestione di componenti computazionali distribuite, le soluzioni per l'esposizione e la composizione di funzionalità in rete, le tecnologie per l'interoperabilità tra sistemi eterogenei tramite interfacce *web*, le soluzioni per la rappresentazione e la condivisione di ampie moli di dati, le tecniche per il reperimento e la memorizzazione delle informazioni e per l'introduzione di capacità semantiche, le soluzioni per l'autenticazione e la gestione dei clienti (identità e profili), per la sicurezza e la confidenzialità delle trasmissioni, dell'accesso ai servizi e delle transazioni. In prospettiva, inoltre, l'aumento della penetrazione della larga banda e l'emergere del *mobile broadband*, unitamente allo sviluppo dell'*Internet of Things* (reso pos-

sibile dalla crescente capacità computazionale dei microprocessori e dalla contestuale riduzione delle dimensioni, dei consumi e dei costi ad essi associati), detta l'evoluzione verso *cloud* di risorse pervasive ed adattative (*pervasive cloud*). In tale contesto, rilevanti vantaggi si traggono da un impiego sinergico delle tecnologie di *cloud computing* e di *autonomic computing*. Il paradigma delle tecnologie autonome ha ad oggetto l'identificazione e la progettazione di sistemi in grado di offrire all'utente servizi contestualizzati, totalmente rispondenti alle sue esigenze, senza che sia richiesto l'intervento umano, tramite agenti tecnologici ubiqui, totalmente immersi nell'ambiente operativo e dotati di funzionalità di auto-organizzazione (*self-localising, self-configuring, self-healing, self-optimizing, self-protecting, self- e context-aware*). Dalla convergenza tra le tecnologie autonome e le tecnologie di *cloud* computazionale ha origine il *pervasive cloud*, in cui le risorse informative sono strutturate come un insieme di componenti autonome comunicanti e cooperanti tramite reti logiche (*overlay network*) sulla base di algoritmi di auto-organizzazione. Il ricorso a logiche autonome, specializzate al contesto locale, risulta determinante al crescere della numerosità e della dinamicità delle risorse informative da gestire, che rende impraticabile l'adozione di sistemi di supervisione e gestione centralizzati, qualunque distribuiti su sistemi differenti.

Possibili criticità legate all'impiego di tecnologie di *cloud computing* sono riscontrabili nel rischio di una involuzione dei sistemi informativi verso ambienti chiusi e proprietari, nelle possibili minacce alla sicurezza e confidenzialità di dati sensibili aziendali, nonché nella possibilità del verificarsi di disservizi. Procedendo ad un'analisi degli impatti economici derivanti dall'adozione di tecnologie di *cloud computing*, rileva, invece, evidenziare i notevoli benefici che il passaggio ad un modello di fruizione *on-demand* di servizi, piattaforme ed infrastrutture apporterebbe alle aziende, considerata la possibilità di tradurre in costi operativi i costi di capitale connessi alle infrastrutture informatiche. A ciò si aggiunge il rilevante vantaggio per l'azienda di disporre di sistemi sempre aggiornati dal punto di vista tecnologico.

■ 2.3.3. Il green computing

Tema di recente molto dibattuto nell'ambito della comunità scientifica internazionale è quello della sostenibilità delle tecnologie dell'informazione. Obiettivo primario di tale emergente disciplina è la definizione di strategie e paradigmi di gestione efficiente delle risorse computazionali da parte delle imprese, che preservino o ottimizzino le prestazioni complessive dei sistemi. Il *green computing*, che di tale disciplina propone una prima implementazione, orienta le attività di ricerca all'individuazione di strategie di minimizzazione della potenza impiegata per il funzionamento dei *data center* e delle apparecchiature tecnologiche (schermi, proiettori). I benefici del *green computing* sono quantizzabili in termini di riduzione del dispendio energetico e dell'impatto ecologico dell'attività d'impresa. Il paradigma computazionale *green*, che nasce dal riconoscimento di una stretta relazione tra consumo energetico dovuto alle tecnologie informatiche e produzione complessiva di anidride carbonica, ha avuto ampia diffusione negli ultimi dieci anni, al crescere del livello di utilizzo dei *data center* nell'ambito dei sistemi informativi aziendali. Tra i fattori che guidano verso l'adozione di strategie di *green computing*, rileva evidenziare la rapida crescita della richiesta di servizi

internet orientati alle comunicazioni, alle transazioni finanziarie, all'intrattenimento o alla pubblica amministrazione, da cui deriva il requisito di un aumento del numero e di un'ottimizzazione delle prestazioni dei *data center* aziendali. Da ciò discende, considerata l'esigenza di un contenimento delle dimensioni dei *data center*, la necessità di un incremento della densità di potenza computazionale dei *server* e, come conseguenza, un aumento della densità di potenza elettrica assorbita. Quest'ultimo si traduce, del resto, in un aumento della densità di calore prodotto ed, in definitiva, in un aumento della potenza spesa per il raffreddamento dei sistemi, tanto maggiore quanto più alta è la densità computazionale degli stessi. L'aumento del consumo energetico, dunque, oltre a produrre rilevanti impatti sui costi sostenuti dall'azienda, comporta più elevate emissioni di anidride carbonica. Uno dei fattori di maggior incidenza sul dispendio energetico dei centri di calcolo è l'efficienza degli stessi: il *rate* di utilizzo è oggi, nel caso di *data center* di grandi dimensioni, in media del 5-10%. Ciò considerato, il *green computing* si candida quale risposta ad un'esigenza di riduzione dei consumi energetici, resa in alcuni casi ancor più urgente da previsioni di restrizioni dell'accesso alle fonti energetiche. Il paradigma del *green computing* comporta l'adozione di strategie innovative di progettazione dei processori e dei *data center*, orientate ad ottimizzarne i consumi di potenza e la capacità di dissipazione del calore. Dalla osservazione che il consumo di potenza dei *server* è tanto maggiore quanto minore è il loro grado di utilizzo, discende l'opportunità di conseguire significativi benefici ricorrendo alle tecniche di virtualizzazione delle infrastrutture, delle piattaforme e delle applicazioni tipiche del *cloud* computazionale. Grazie al ricorso a tecniche di virtualizzazione si stima un incremento di utilizzo medio dei *server* dal 5-10% al 50-85%: valori in corrispondenza dei quali i *data server* operano a più alta efficienza energetica.

Un'azione di stimolo all'affermarsi del paradigma computazionale *green* è stata compiuta di recente dall'ITU con la creazione di uno standard per il calcolo dell'impatto effettivo sull'ambiente dell'industria informatica e delle telecomunicazioni, sia in termini di dispendio energetico che di emissioni di anidride carbonica.