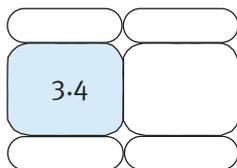




LA FEMTOCELLA UNA STAZIONE RADIO MOBILE A LARGA BANDA IN CASA

Rocco Casale
Giuseppe Catalano
Sandro Dionisi
Daniele Franceschini



Le femtocelle¹, trasmettitori lillipuziani (nelle dimensioni e nelle potenze) su banda licenziata, da installare in modo plug&play casa per casa o in ufficio, riducono il cammino del segnale, minimizzando in tal modo la possibilità di degradazioni e massimizzando la qualità percepita. Questo aspetto, unito all'assegnazione dedicata della capacità, concorre a migliorare le prestazioni effettive che il cliente può sperimentare. Grazie alla femtocella il terminale mobile diviene un nuovo elemento dell'home networking; questo dispositivo consentirà agli operatori di sviluppare nuovi servizi basati sull'interazione tra telefono cellulare e gli elementi della casa.

1. INTRODUZIONE: COS'È UNA FEMTOCELLA?

Il servizio radiomobile è nato con l'obiettivo di assicurare assoluta libertà agli utilizzatori, e quindi di essere connessi sempre, ovunque e in piena mobilità, specialmente all'aperto, anche lontano dalle infrastrutture fisse di telecomunicazioni. L'ampia diffusione delle reti e dei terminali GSM e UMTS/HSxPA hanno, poi, reso quotidiano e normale a ogni utente del servizio di telefonare, inviare messaggi e collegarsi a Internet con il telefono in ogni momento e in ogni luogo. Questi gesti non destano oggi alcuna meraviglia perché sono diventati consueti e abituali. Lo standard 3GPP (*3-rd Generation Partnership Project*), che definisce le specifiche tecniche dei sistemi radiomobili, sulla spinta del

successo mondiale della soluzione HSDPA (*High Speed Packet Data Access*), ha già posto le basi per un'ulteriore evoluzione di tale tecnologia verso il servizio mobile a larga banda. La cosiddetta *HSPA Evolution* sarà basata su diversi elementi: una nuova modulazione radio in grado di fornire un bit rate massimo di 21 Mbit/s, l'uso di più antenne in trasmissione e in ricezione (MIMO, *Multiple Input Multiple Output*), che permetterà di raggiungere un bit rate massimo di 28 Mbit/s e infine l'uso combinato di più portanti, con cui le velocità menzionate aumentano in proporzione alla banda di frequenza (portante) disponibile. L'evoluzione dell'HSxPA proseguirà poi con l'introduzione della tecnologia denominata LTE (*Long Term Evolution*), di cui il 3GPP ha concluso la definizione della prima

¹ Femto è un prefisso che indica un milionesimo di un miliardesimo. La parola deriva dal termine danese *femten* che indica una potenza di 10^{-15} . Il prefisso femto fu utilizzato per i sistemi trattati in questo articolo per indicare che essi coprono un'area di dimensioni estremamente ridotte, sensibilmente inferiori a quella coperta dalle picocelle. Con tale termine si intende quindi un piccolo dispositivo che permette agli utilizzatori del sistema di connettersi da casa o in ufficio, come è chiarito nel testo, alle reti cellulari UMTS, CDMA-2000, WiMAX e alle successive evoluzioni dei sistemi radio.

versione capace di abilitare bit rate teorici sino a 100 Mbit/s.

Le tecnologie mobili divengono pertanto potenzialmente capaci di fornire servizi a larga banda ma, sebbene siano etichettate con la velocità di trasmissione teorica di picco, presentano in pratica prestazioni che dipendono dalla qualità radio e dal numero di clienti che simultaneamente accedono alla risorsa. L'avvicinamento dell'antenna di trasmissione al terminale migliora le caratteristiche del canale radio e quindi le prestazioni effettive che il cliente può sperimentare. La realizzazione di una copertura in qualche modo dedicata a un cliente, riservandogli l'intera capacità di una cella, massimizza, infatti, la qualità del servizio da lui percepita in termini per esempio di velocità di trasmissione.

La disponibilità di un'elevata banda radio all'utente richiede, dal punto di vista dell'architettura di rete, una capacità adeguata del cosiddetto *backhauling*, della connessione cioè delle antenne e delle stazioni radio base ai nodi di rete presenti in centrale e quindi la disponibilità di sistemi per il trasporto dei dati a larga banda (basati su portanti ottici o su soluzioni xDSL) che divengono divengono perciò, un pre-requisito del sistema.

Voler offrire servizi mobili realmente a larga banda impone, dunque, l'introduzione - in aggiunta ai consueti dispiegamenti geografici denominati "macrocellulari" - di dispiegamenti micro e femto cellulari (Figura 1), con antenne installate vicino all'utente e con una disponibilità sulla rete di trasporto di tecnologie a larga banda (fibra nel caso di dispiega-

mento con stazioni radio micro, fibra o xDSL nel caso di dispiegamenti femtocellulari).

In particolare, con il termine femtocella s'intende una cella di piccole dimensioni, quali possono essere quelle di un'unità abitativa o di un ufficio. La femtocella (alias *Femto Access Point o Home NodeB*), è perciò realizzata con un apparato wireless normalmente caratterizzato da dimensioni, costi e consumi ridotti, a bassa potenza e autoinstallante, che non richiede manutenzione da parte del cliente ed è gestito a distanza dall'operatore e che, a differenza del WiFi, trasmette su bande di frequenza soggette a licenza (su quelle, per esempio, dell'UMTS). Una femtocella è in grado di garantire la copertura 3G, utilizzando per la connessione in rete la connettività xDSL dell'utente, attraverso il modem a banda larga, oppure mediante un modem integrato (Figura 2).

Una soluzione di questo tipo consente all'operatore di ottimizzare la fornitura del servizio in ambiente indoor, che ha assunto grande importanza in quanto sede di una grossa porzione del traffico mobile. In accordo con tutte le principali analisi di mercato, la maggior parte del traffico cellulare si svolge, infatti, nelle abitazioni o nei posti di lavoro.

A questa esigenza si aggiunge un altro elemento di rilievo: il 2008 appena concluso ha visto una significativa crescita del traffico HSxPA, fruito dai clienti in condizioni di mobilità - più precisamente di quello nomadico - per esempio attraverso l'impiego di chiavette HSxPA inserite in un laptop. Gli analisti prevedono, infatti, nei prossimi anni una cre-

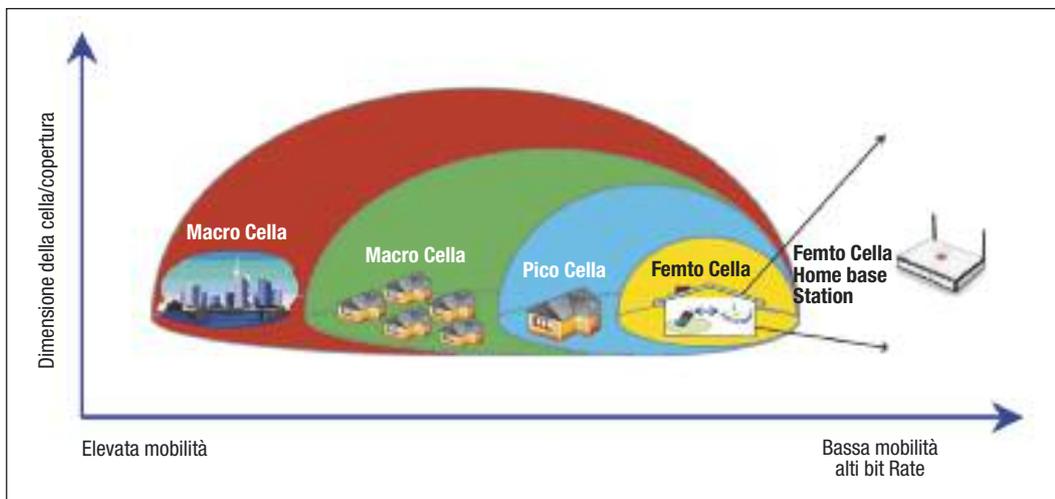
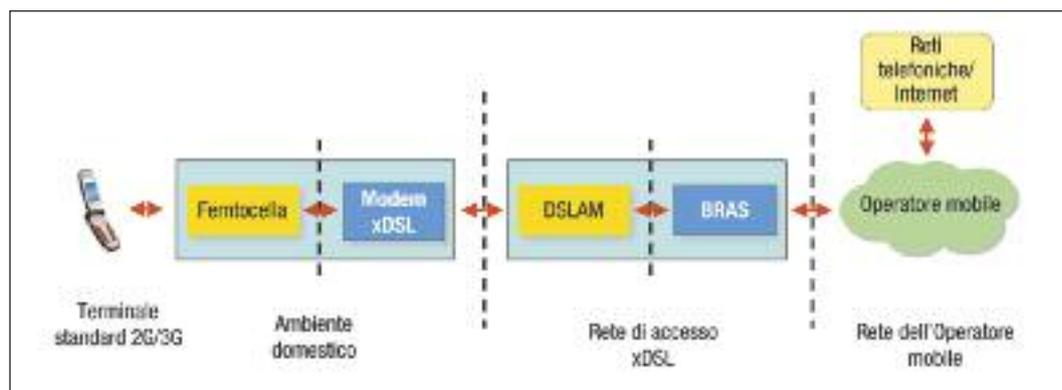


FIGURA 1
Relazione tra estensione della copertura e caratteristiche di servizio

FIGURA 2
Architettura di riferimento del sistema femtocellulare



scita molto significativa del traffico da terminali mobili a larga banda, una cui parte significativa avverrà proprio in condizioni di nomadicità in casa e in ufficio (come già è avvenuto per il traffico fonico).

Da questo punto di vista la femtocella sembra intercettare questa crescita del mercato, fornendo una soluzione tecnicamente efficiente all'operatore per il trasporto del traffico con notevoli benefici per il cliente finale.

Per dare un'idea della trasformazione che si potrebbe osservare nella rete pubblica delle telecomunicazioni con l'introduzione delle femtocelle può essere ricordato che il numero delle stazioni radio base oggi in servizio presso un singolo operatore è dell'ordine di alcune migliaia e che le abitazioni che hanno già un collegamento alla rete xDSL alla fine del 2008 hanno superato la decina di milioni e quelle che si prevede di connettere con la rete a larga banda nel prossimo futuro sono destinate a crescere ulteriormente. Il mercato delle femtocelle non coinciderà naturalmente con il numero di tutte le abitazioni collegate alla rete pubblica a larga banda, ma i dati sopra riportati mostrano che - se questa tecnologia si affermerà, come mostrano già oggi alcuni indicatori di interesse da parte di numerosi operatori alla tecnologia - le dimensioni del mercato di questa nuova categoria di terminali potrebbero essere significative.

In aggiunta, la femtocella, ancor più se pensata nella versione che integra 3G e WiFi, consente al terminale mobile di fruire di tutti i servizi fissi. Il telefonino entra così nelle abitazioni come un ulteriore elemento dell'home networking.

Gli operatori individuano, infatti, come possi-

bile elemento di crescita del mercato dell'accesso fisso il cosiddetto *home networking*, ossia l'interconnessione degli apparecchi di casa alle reti informatiche domestiche e ad Internet.

Il mercato delle reti domestiche sta seguendo, infatti, un processo di evoluzione basato sull'offerta di apparecchi domestici già predisposti per connettersi alla rete Internet, siano essi *entertainment devices* (televisioni, riproduttori di musica digitali, terminali hi-fi, videocamere e camere digitali ecc.) oppure elettrodomestici tradizionali (frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, forni elettrici ecc.).

Questi prodotti sono basati su una molteplicità di alternative tecnologiche realizzate da diversi enti di standardizzazione, che operano per realizzare specifiche tecniche in questo ambito, rivolgendosi ad apparati e reti di telecomunicazioni vere e proprie (TISPAN/3GPP), agli *home gateway* (Broadband Forum, HGI) e agli apparati della *consumer electronics* (UpnP Forum). Per essere completamente interoperabili, le soluzioni commerciali devono quindi rispettare le caratteristiche indicate nelle numerose specifiche in vigore.

Lo sviluppo industriale di questi terminali, insieme alla crescente diffusione di PC, è visto con grande interesse dagli operatori poiché può stimolare ulteriormente la diffusione di accessi a banda larga.

Di sicuro, un punto su cui si vanno focalizzando gli sforzi degli enti di standardizzazione e dei progettisti delle industrie di riferimento è quello di individuare soluzioni - dette *non-wires* (reti power-line e wireless) - che, per quanto possibile, aggirino la necessità di cablare o ricablare gli appartamenti. La nuova tecnologia delle femtocelle si presenta

dunque come una soluzione idonea a promuovere il mercato delle reti domestiche e a contribuire a costruire il cosiddetto ecosistema della banda larga.

L'articolo si propone di illustrare gli aspetti tecnici più rilevanti della tecnologia emergente delle femtocelle mirando a chiarire gli elementi di maggior rilievo delle soluzioni adottate e i problemi che dovranno essere analizzati e risolti nei prossimi mesi.

2. FEMTOCELLE: UN NUOVO PARADIGMA TECNOLOGICO E DI SERVIZIO

La copertura tipica di una femtocella è fortemente dipendente dalle caratteristiche della propagazione nell'ambiente in cui essa è installata. Con i livelli di potenze in gioco, il raggio di una cella è in genere di alcune decine di metri e varia in funzione del particolare ambiente considerato. In linea di principio si possono attuare sia coperture con femtocelle isolate, di solito appropriate per un impiego in appartamenti, sia coperture multiple, da integrare con una LAN, più adatte agli uffici e alle aree industriali (Figura 3). Finora, tuttavia, i principali costruttori si sono concentrati sul prodotto per un impiego nelle abitazioni; sono disponibili però anche prodotti progettati per applicazioni business/enterprise che, come sarà indicato più avanti, sono oggi ancora in una fase di consolidamento e di messa a punto finale.

Si possono anche ipotizzare, in futuro, scenari di impiego delle femtocelle in ambienti esterni e misti purché in condizioni di limitata mobilità degli utenti, ma in presenza di grandi volumi di traffico aggregato (quali per esempio in centri commerciali, aeroporti, stazioni ferroviarie, percorsi pedonali cittadini ecc.) e anche di richieste di capacità elevate da parte del cliente finale. Le applicazioni delle femtocelle in ambienti esterni sono finora poco investigate (sebbene vi sia interesse da parte di alcuni grandi player, tra i quali Google).

Si può però già supporre un utilizzo analogo, in modo complementare, alle architetture ROF (*Radio Over Fiber*), che sono considerate tra le opzioni d'interesse per le comunicazioni a grande capacità della futura generazione radiomobile grazie alla disponibilità capillare della fibra. Uno scenario, che in futuro potrebbe essere abilitato dalle femtocelle in aree urbane densamente popolate, impiega piccole unità remote su lampioni e a parete con backhaul su una coppia della rete pubblica in rame (xDSL) o su una fibra ottica. Una soluzione di questo tipo potrebbe consentire una più agevole ed economica erogazione di servizi fissi e mobili da parte dell'operatore (Figura 4) o anche di trasmettere da una postazione remota informazione a larga banda. In termini di offerta di servizio, tre sono gli scenari applicativi più promettenti realizzabili con le femtocelle.

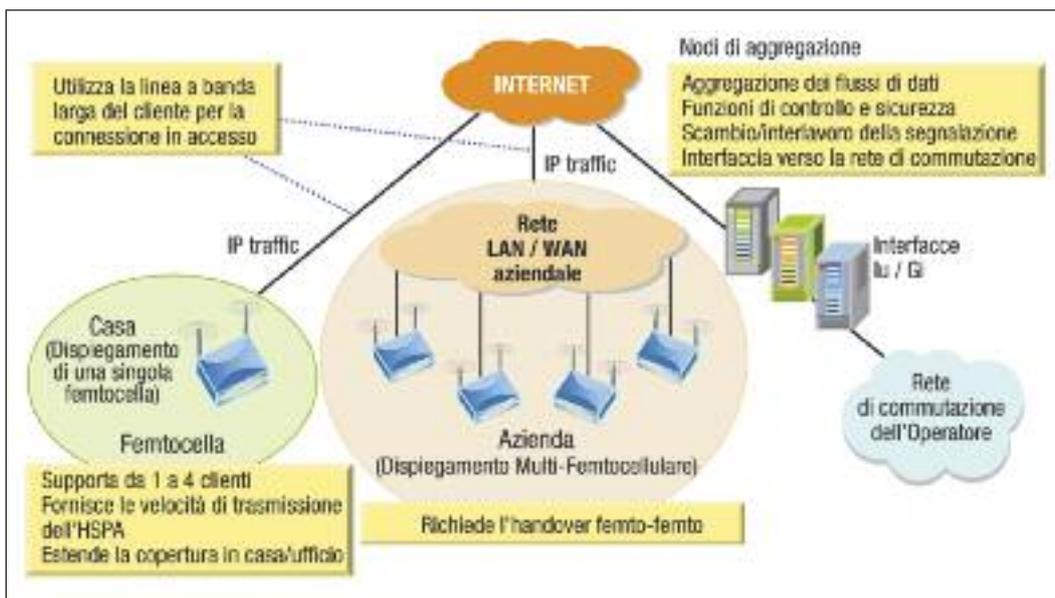


FIGURA 3

Scenari di sviluppo delle femtocelle in casa e in azienda

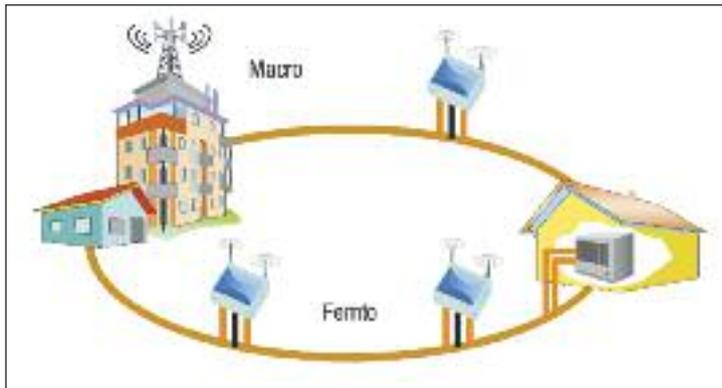


FIGURA 4

Possibile scenario di sviluppo delle femtocelle in ambienti esterni



FIGURA 5 a. Scenario di utilizzatori privati

Femtocelle e Home Networking

L'applicazione della soluzione femto 3G in ambiente residenziale, per una clientela consumer, costituisce lo scenario di servizio da offrire da subito, poiché esso è stato l'obiettivo primario perseguito nella definizione e nello sviluppo di questa nuova tecnologia. L'architettura di riferimento coincide con quella descritta nella figura 2: con essa si assume, infatti, che il backhauling della femtocella avvenga mediante una connessione xDSL del cliente. Le caratteristiche del trasporto in termini di banda disponibile, latenza e meccanismi di QoS, devono essere in questo caso compatibili con l'erogazione degli stessi servizi radiomobili che il cliente è abituato a utilizzare sotto una copertura radio di tipo macro. La femtocella 3G è, infatti, un *access point* alla rete 3G che, una volta installato, è visto da un terminale 3G, cellulare o PC card, come una normale cella di rete. In questo scenario, il

cliente può originare o ricevere chiamate (fonia, SMS, MMS, videochiamate o connessioni dati) in maniera trasparente, su rete femto o su rete macro 2G/3G in funzione dell'area di copertura in cui opera con il proprio terminale.

In tale scenario, l'unico requisito (radio) per l'utente, che gli permette di utilizzare la copertura femto dedicata è che esso disponga di un terminale mobile 3G standard, cellulare o PC card, configurato in modalità *dual-mode* o solo UMTS, senza alcun *client ad hoc*.

Le femtocelle, grazie alle caratteristiche evidenziate sopra indicate, consentono agli operatori della rete mobile di fornire con un elevato bit rate servizi mobili a larga banda all'utenza consumer, controllando al contempo il costo per bit, con un valore, che rappresenta dunque un requisito che sarà posto alla base di un'ampia diffusione dei differenti tipi di servizi sopra indicati.

b. Scenario business/enterprise

L'applicazione delle femtocelle 3G per la clientela business, nelle due declinazioni SOHO (*Small Office-Home Office*) e large enterprise, costituisce lo scenario di servizio più sfidante allo stato dell'attuale maturità della tecnologia. Lo scenario business, per le sue caratteristiche peculiari, non può prescindere da alcune prestazioni, quali per esempio: l'handover tra due femto, un maggior traffico smaltibile in termini di utenti abilitati e chiamate contemporanee, una maggiore copertura, il controllo dei percorsi del traffico all'interno della rete aziendale, che possono effettivamente decretarne il successo o l'insuccesso. È ragionevole ipotizzare che questa architettura dovrà essere necessariamente più flessibile rispetto a quella relativa allo scenario di tipo consumer, in modo che possa adattarsi e integrarsi in scenari di tipo *large enterprise*, le cui dimensioni e caratteristiche richiedono quasi sempre sviluppi *ad hoc*.

c. Non solo Mobile Broadband...

Come già evidenziato, la femtocella porta nell'ecosistema dell'home networking (costituito da vari elementi presenti nelle abitazioni, quali *access gateway, set top box, televisori* ecc.) l'interfaccia radio 3G in aggiunta a quella WiFi (Figura 5). Grazie a questa caratteristica la femtocella può comunicare via WiFi con tutti i terminali della casa e mediante interfaccia radio 3G con gli stessi terminali

mobili che il cliente impiega normalmente. La femtocella diviene così un abilitatore tecnologico di una nuova famiglia di servizi che fanno perno sull'interazione tra il cellulare e i terminali impiegati nelle abitazioni.

Gli oggetti di normale impiego in casa saranno infatti sempre più dotati in futuro di sistemi di calcolo e di memorizzazione integrati e di porte d'accesso wireless, che ne consentiranno la comunicazione con il mondo esterno e potranno colloquiare tra loro mediante le femtocelle. Da questo punto di vista sarà possibile sviluppare nuove tipologie di servizio che integrino aspetti di comunicazione interpersonale (*infotainment, remote control, security and health* e non ultimo *social networking*) rese possibili da terminali che colloquiano tramite il cellulare dell'utente che rappresenta quindi il punto di accesso a questo universo di servizi.

In prospettiva, nei prossimi anni, con il progressivo diffondersi delle femtocelle, queste potenzialità tecnologiche potranno essere valorizzate dagli operatori mobili in offerte di nuovi servizi di natura *home zone*, capaci di portare valore aggiunto ai clienti nell'ambiente domestico.

L'offerta dei servizi indicati attraverso le femtocelle consente di fruire di numerosi benefici potenziali sia per i clienti che per gli operatori. Tra i vantaggi conseguibili dai clienti possono essere citati:

a. l'uso del terminale cellulare

Un primo vantaggio nell'impiego delle femtocelle consiste nella possibilità di utilizzare gli stessi terminali mobili 3G, già impiegati normalmente dal cliente, per accedere ai diversi servizi tradizionali offerti dalla rete (voce, SMS, ricerche Web) o a quelli più innovativi (*home networking*), così da potere fare leva sull'ampia diffusione dei terminali e dei servizi mobili già abilitati.

b. Qualità del servizio offerta per il mobile a larga banda

Come si è detto, in un'area chiusa di dimensioni ridotte la femtocella garantisce un'ottima copertura radio e l'intera capacità di una cella è dedicata a un numero ristretto di utenti abilitati. La femtocella assicura così la possibilità di gestire un traffico a larga banda con valori di bit rate sempre comparabili ai valori di picco previsti dallo standard in prossimità

della femtocella. Il supporto della mobilità tra la copertura assicurata dalle femtocelle e quella macro (sia pure in presenza di alcune limitazioni indicate nel seguito) consente inoltre di fruire dei servizi con un grado di mobilità non permesso da altre tecnologie. Una diffusione capillare dell'accesso alla rete con le femtocelle e l'uso di canali radio non condivisi con altri utenti consente, infine, di usufruire dei servizi con tariffe agevolate del tipo *home zone*. È possibile così offrire ai clienti un servizio di qualità elevata in termini di varietà di servizi, prestazioni, condizioni di mobilità e applicare una tariffazione evoluta.

c. Abilitazione di nuovi servizi di home networking

Una femtocella che integri gli accessi radio 3G e WiFi consente di far entrare nell'ambito degli elementi dell'*home networking* (televisioni, gateway dell'utente, modem xDSL, set top box ecc.) lo stesso terminale impiegato normalmente in condizioni di mobilità fuori dall'ambiente domestico. Questa caratteristica potrebbe contribuire a creare, in prospettiva, una famiglia di servizi che sfruttino al meglio le interazioni tra terminale mobile e elementi presenti nelle abitazioni grazie alla femtocella permettendo ai clienti di godere presumibilmente di tariffe più convenienti associate alla fruizione di questi servizi nella propria abitazione.

Tra i vantaggi acquisibili dagli operatori possono essere citati:

a. Incremento della capacità di rete

Il dispiegamento delle femtocelle consente di dedicare la copertura e la capacità radio di una cella a un singolo cliente, che può quindi fruire dei servizi mobili a larga banda grazie alla propria connettività di tipo xDSL e in futuro in fibra ottica. In questo modo la terminazione remota fissa a larga banda contribuisce all'erogazione del servizio mobile grazie al trasporto del traffico di *backhauling* della femtocella verso la *core network*.

In questo modo si attenuano tutti i vincoli che limitano la capacità e la copertura di rete macro (che per la propria natura di copertura geografica estesa permette di servire un numero elevato di utenti potenziali). Essa è infatti sgravata dal traffico instradato dalle femtocelle aumentando così la capacità totale della rete dell'operatore mobile. La cre-

scente penetrazione delle femto e il conseguente alleggerimento progressivo della rete macro comportano anche una minore necessità di installare nuovi siti macro per soddisfare un aumento del traffico in un'area o per migliorare la qualità del servizio percepito dall'utente (per esempio in termini di bit rate), superando in questo modo le frequenti difficoltà logistiche e i costi elevati associati alla predisposizione di nuove stazioni radio base.

b. Incremento della penetrazione dei servizi di mobile a larga banda

L'offerta di servizi mobile a larga banda con un'elevata qualità che utilizzino le femtocelle costituisce un volano in condizioni di mobilità e consente agli operatori della rete mobile di dare maggior valore all'offerta degli stessi servizi nelle singole reti macrocellulari.

c. Fidelizzazione del cliente attraverso offerte di tipo home zone

Sfruttando la copertura radio dedicata della femtocella e limitandone l'accesso ad un uso esclusivo, è possibile costruire facilmente offerte appealing basate su una tariffazione home zone, anche grazie a una migliore accuratezza nell'identificazione dell'area "home" insita nelle caratteristiche di propagazione radio delle femtocelle e nel collegamento alla rete xDSL. Questa caratteristica consente agli operatori di proporre offerte del tipo home zone con un'accuratezza molto maggiore rispetto a quella ottenibile con le coperture macrocellulari.

In sintesi, nello scenario dell'accesso a larga banda, dei servizi home zone e delle reti domestiche la femtocella può dunque rappresentare, specie nella versione integrata, uno dei sottosistemi chiave da associare all'*home gateway* domestico, per offrire una gamma di servizi molto ampia e con qualità elevata in termini di prestazioni, mobilità e tariffazione. Dal punto di vista tecnologico le femtocelle risultano in linea con la tendenza tipica dei moderni sistemi di telecomunicazioni che prevedono che una quota crescente di intelligenza si sposti verso gli elementi posti alla periferia della rete [1].

La maggior parte delle industrie manifatturiere sta producendo femtocelle con interfaccia radio 3G (UMTS/ HSPA). Sono in corso di sviluppo femtocelle anche per altri sistemi, come WiMAX e LTE, che però non presentano ancora soluzioni tecnologiche definite e che non saranno disponibili nel breve termine.

3. PROIEZIONI DI MERCATO

Alcuni analisti di mercato considerano la femtocella la più importante novità nel settore delle comunicazioni mobili, sebbene le proiezioni siano piuttosto diversificate. ABI Research stima circa 52mila unità consegnate nel 2007 che crescono fino a circa un milione nel 2008, mentre ben 102 milioni di utenti potranno essere serviti alla fine del 2011 mediante 32 milioni circa di punti di accesso (Figura 6) [2]. Se IDATE stima circa 10 milioni di femtocelle consegnate nel 2010 e 18 milioni nel 2011, le previsioni di IDC sono più conservative, giacché riportano un numero di utenti di femtocelle di almeno 5,7 milioni nel 2011. Sempre con riferimento al 2011, OVUM prevede 17 milioni di femtocelle consegnate nella sola Europa occidentale.

Alcuni operatori radiomobili stanno investendo da tempo in femtocelle: per esempio, negli Stati Uniti l'operatore Sprint nel settembre del 2007 ha lanciato a Denver e Indianapolis "Sprint Airave", servizio commerciale basato su femtocelle CDMA della Samsung e ha piani per sviluppare progressivamente una rete nazionale.

Come è mostrato in [8] gli operatori che sono più avanti nella sperimentazione e che hanno cominciato a offrire il servizio sono quelli che

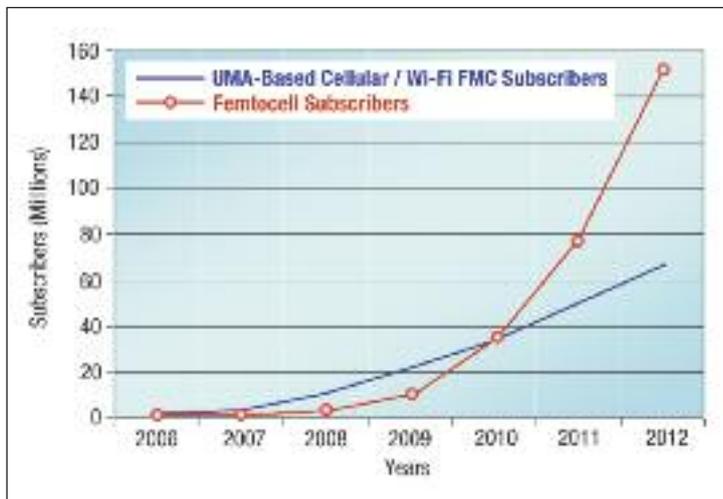


FIGURA 6
Proiezioni di mercato delle femtocelle e del Wi-Fi (Fonte: ABI Research, 2007)

operano nell'Estremo Oriente e negli Stati Uniti: oltre a Sprint Nextel la stessa Verizon ha aperto il servizio al pubblico il 26 gennaio 2009 anche se per ora fornisce solo il servizio fonico e non quello a larga banda. Anche in Europa molti importanti operatori della rete fissa e mobile hanno avviato nel corso del 2008 sperimentazioni con questi sistemi nell'ottica di poter avviare offerte al pubblico, basate su questa tecnologia, nei prossimi anni.

Per poter realizzare le grandi economie di scala necessarie per un'ampia diffusione delle femtocelle è essenziale disporre di uno standard tecnologico unico. A questo obiettivo ha lavorato il 3GPP, che nel corso del 2008 ha definito un'architettura di sistema descritta nel capitolo seguente. Altri fora in ambito internazionale (per esempio, il Femto Forum) hanno contribuito a consolidare una visione omogenea di sistema.

4. ARCHITETTURA DI SISTEMA

Un primo aspetto importante per l'inserimento delle femtocelle nella rete di un operatore mobile riguarda quindi la standardizzazione del sistema costituito dalle femtocelle. Nella tradizione delle reti mobili GSM e UMTS la completa definizione delle interfacce radio, ricordiamo, è stata fondamentale per consentire l'interoperabilità con terminali realizzati da differenti società manifatturiere, in modo da realizzare un'economia di scala nella produzione dei terminali e, soprattutto, di consentire il roaming dei clienti. La

stessa esigenza di standardizzazione non era altrettanto sentita per le interfacce tra la stazione radio base ed il relativo controllore che quindi presentano elementi specifici di ciascuna manifatturiera.

Con l'avvento della femtocella come stazione radio base domestica nasce invece la necessità di avere una standardizzazione completa anche dell'interfaccia tra stazione radio base e rete dell'operatore mobile, poiché questa diviene l'interfaccia di un terminale del cliente (Figura 7).

L'esigenza di standardizzazione è ulteriormente giustificata dal fatto che la femtocella per avere successo, dovrà divenire un prodotto consumer, in modo da assicurare alti volumi di produzione, tipici del mercato dei terminali. Finora il 3GPP ha realizzato una prima fase del processo di standardizzazione sia per il 3G che per la LTE e ha definito, come sarà chiarito in dettaglio più avanti un'architettura di riferimento per la release 8 dei due sistemi.

In anticipo rispetto alle attività dello standard, le società manifatturiere hanno identificato numerose e diverse soluzioni architetturali per inserire le femtocelle nella rete UMTS. La figura 8 mostra le quattro configurazioni principali ad oggi proposte: com'è mostrato nella figura, ogni soluzione prevede l'utilizzo di un nodo di aggregazione delle femtocelle verso la rete di commutazione dell'operatore, che non potrebbe gestire un numero elevato di femtocelle connesse direttamente ad essa. Le diverse soluzioni si differenziano per le fun-

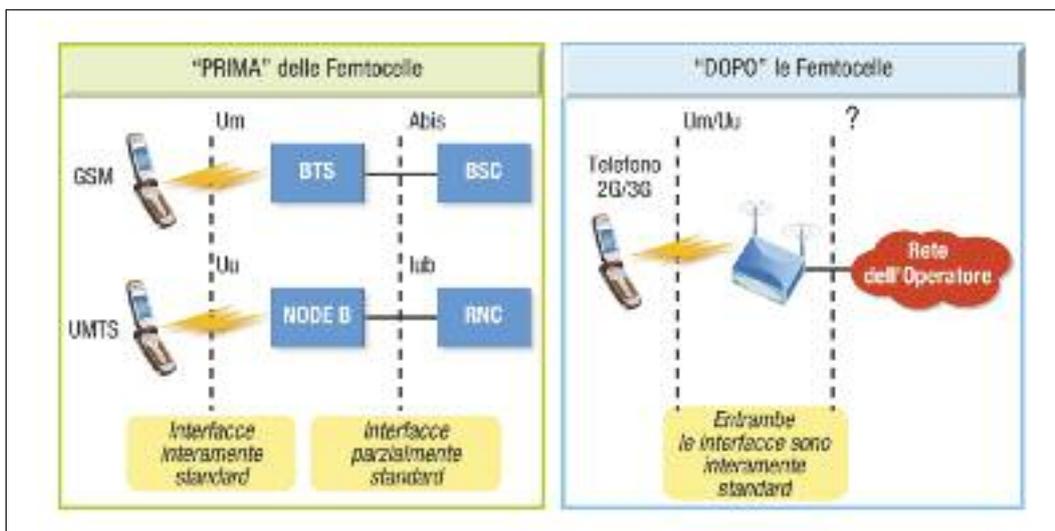


FIGURA 7

Interfacce standard nelle reti di accesso 2G e 3G

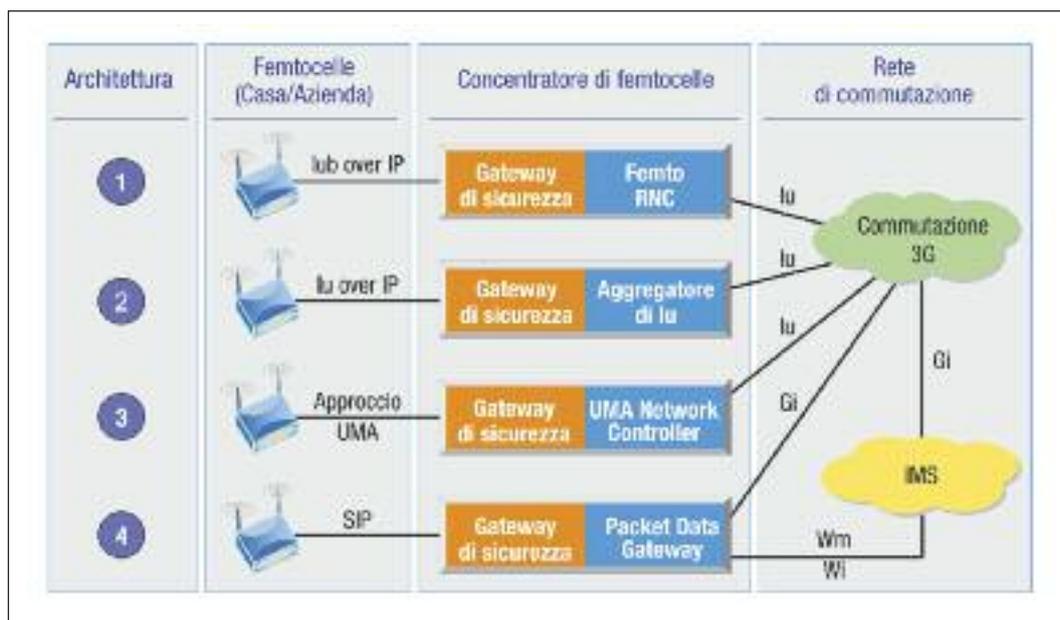


FIGURA 8
Confronto di soluzioni architetturali

zioni dell'aggregatore e per i protocolli utilizzati all'interfaccia verso le femtocelle.

Un secondo punto, comune alle diverse soluzioni, consiste nell'implementazione di funzioni di sicurezza tra la femtocella e l'aggregatore, dovute sia al fatto che il *backhaul* xDSL può essere gestito da un operatore diverso da quello radiomobile (l'interconnessione può avvenire eventualmente anche attraverso la rete Internet) sia al fatto che, come si è detto, la femtocella è anche un terminale d'utente. Il primo aspetto richiede di garantire al cliente la sicurezza delle comunicazioni; il secondo mira a fornire garanzie all'operatore sulla femtocella che si connette alla sua rete. L'interfaccia, qualunque sia l'architettura di riferimento, deve essere perciò incapsulata entro un tunnel IP e si adottano a questo scopo soluzioni specifiche di autenticazione della femtocella (quali, per esempio, USIM interna alla femtocella, certificati ecc.).

Una prima soluzione (architettura "1" nella figura 8) consiste nel replicare l'architettura della rete esistente, con le femtocelle connesse dunque a un RNC (*Radio Network Controller*) attraverso un'interfaccia lub. La soluzione è stata rapidamente superata sia perché l'interfaccia lub è normalmente un'interfaccia pseudo-standard, sia perché una stazione radio base domestica può comprendere al proprio interno le funzioni di controllo richieste per le risorse radio.

Nell'architettura "2" la femtocella include sia le funzioni di Node-B che quelle di RNC. La femtocella deve utilizzare in questo caso una differente soluzione per interconnettersi alla rete mobile. Una possibile alternativa è la cosiddetta *Iu-over-IP*: in questo caso è utilizzata l'interfaccia *Iu* dell'UMTS (interfaccia tra l'RNC e la rete di commutazione). L'aggregatore non svolge alcuna funzione di controllo delle risorse radio, ma solo quelle di aggregazione e di interlavoro delle interfacce *Iu* tra femtocelle e rete di commutazione.

L'impiego di un'interfaccia standard realmente aperta come la *Iu* rappresenta un'alternativa semplice e con elevate potenzialità di interoperabilità tra l'aggregatore e le femtocelle di manifatturieri differenti e ha fornito la base per la definizione della soluzione standard prevista nella release 8. Il limite dell'interfaccia *Iu* è costituito dall'assenza di soluzioni di controllo specifiche della femtocella, quali ad esempio la necessità di una registrazione del dispositivo alla rete ad ogni sua accensione. Un'alternativa nello stesso filone architetturale che integra le funzioni di RNC nella femtocella è mostrata nella figura 8 come architettura "3". Essa si basa sull'UMA (*Unlicensed Mobile Access*)² ed è una soluzione definita dal 3GPP mirata ad assicurare l'interope-

² Detta anche GAN (*Generic Access Network*).

rabilità tra reti mobili e il WiFi³ attraverso un'entità di interlavoro tra l'accesso WiFi e la rete dell'operatore mobile, denominata UNC (*UMA Network Controller*). Secondo l'approccio UMA un terminale abilitato cerca periodicamente la presenza di una stazione radio WiFi (*access point*), integrata con la rete mobile dell'operatore e, quando ne individua una compatibile con il proprio profilo, vi accede attraverso le funzioni di un opportuno *client* UMA. Esso attiva, inoltre, un tunnel IPsec verso l'UNC, per garantire la sicurezza della comunicazione. L'approccio UMA, realizzando l'integrazione degli access point WiFi, include dunque, numerose soluzioni richieste da un sistema con femtocelle.

L'approccio architetturale UMA per le femtocelle è basato sull'utilizzo di un'interfaccia U_p tra femtocella e UNC, che svolge le funzioni di aggregatore. L'UNC, coerentemente allo standard UMA, si interconnette alla rete di commutazione mobile attraverso l'interfaccia U_c . In questa soluzione le funzioni del *client* UMA non risiedono nel terminale ma nella femtocella e quindi qualsiasi terminale 2G o 3G può connettersi alla rete senza che debba essere introdotta alcuna modifica. All'atto dell'accensione, infatti, la femtocella usa procedure UMA per l'individuazione e la successiva registrazione dell'UNC a cui connettersi.

L'ultimo approccio proposto dalle manifatturiere, indicato nella figura 8 come architettura "4", tende a replicare l'approccio WiFi: la femtocella si connette quindi al terminale con le consuete interfacce 2G o 3G e alla rete mobile direttamente con il livello IP dell'applicazione d'utente. In questo approccio, analogamente al WiFi, l'operatore realizza il controllo dei servizi offerti attraverso l'IMS (*IP Multimedia Subsystem*).

IMS è l'architettura studiata per fornire ai clienti servizi voce, video e multimediali attraverso molteplici reti d'accesso IP, ivi incluse le tradizionali reti fisse e mobili. Con l'IMS l'utente riceve il servizio indipendentemente dalla propria ubicazione fisica, dalla tecnologia di accesso e dal tipo di terminale, purché esso sia dotato di connettività IP. Lo standard è basato sul protocollo SIP (*Session Initia-*

³ In realtà essa è valida per qualsiasi accesso IP.

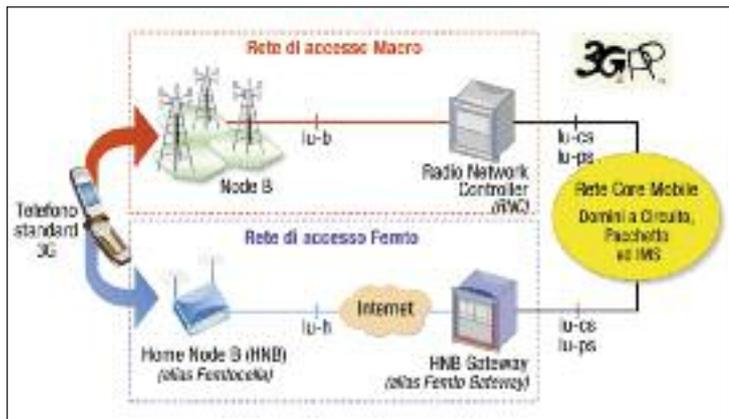


FIGURA 9

Architettura 3GPP standard (Fonte: Kineto Wireless)

tion Protocol) dell'IETF, accolto anche dal 3GPP e consente di controllare sessioni multimediali su IP tra un client sul terminale e un opportuno server di controllo in rete.

Analogamente al caso UMA, per evitare impatti sui cellulari, le femtocelle utilizzano in questo caso una funzione di interlavoro tra la segnalazione radiomobile e quella SIP, evitando così l'implementazione del client sul terminale. Tali soluzioni sono, tuttavia, ancora in fase pre-commerciale e la disponibilità non è prevista a breve.

Una tale proliferazione di soluzioni di architettura potrebbe dunque pregiudicare ogni possibilità di sviluppo della tecnologia e il 3GPP ha, perciò, investito il RAN WG3 (*Radio Access Network Working Group 3*) del compito di sviluppare un'unica interfaccia standard tra femtocella e rete UMTS. La definizione della configurazione di riferimento è stata conclusa nel dicembre 2008 ed inserita nel rilascio 8 delle specifiche UMTS. Essa rappresenta un compromesso tra le proposte di vari costruttori, combinando gli aspetti più favorevoli delle soluzioni basate su U_u (architettura "2") e su quelle UMA (architettura "3").

La cosiddetta HNBAN (*HNB Access Network*) del 3GPP, mostrata nella figura 9, include due nuovi organi di rete UMTS, detti rispettivamente HNB (*Home Node-B*) e HNB-GW (*HNB Gateway*):

□ *HNB (femtocella)*. La stazione radio, connessa a un servizio di accesso residenziale a larga banda, assicura la copertura in un'area limitata ai terminali rispondenti allo standard 3G. Un HNB include le funzionalità di un *No-*

de-B standard integrate con quelle di gestione delle risorse radio proprie di un RNC.

□ **HNB-GW (aggregatore di femtocelle).** Il gateway, installato nella rete dell'operatore, aggrega e disaggrega sia il traffico sia la segnalazione da e verso un gran numero di HNB e verso la rete di commutazione CN (Core Network), a cui è connesso mediante le due interfacce standard I_{u-CS} e I_{u-PS} .

Per interconnettere questi due elementi di rete è stata definita l'interfaccia I_{u-h} che effettua il relay del protocollo di controllo delle risorse radio sull'interfaccia I_u , RANAP (Radio Access Network Application Part) tra la rete di commutazione CN e il nodo periferico HNB e introduce il protocollo HNBAP (Home Node-B Application Protocol) per gli aspetti di controllo specifici dell'HNB (HNB e UE Registration).

5. GESTIONE DELLA RETE DI FEMTOCELLE

Il nuovo paradigma delle femtocelle ha comportato di riconsiderare un insieme di caratteristiche di sistema, quali quelle relative alla gestione delle operazioni e della manutenzione (O&M), oltre ad aspetti di RRM (Radio Resource Management) e di MM (Mobility Management).

5.1. Gestione a distanza della femtocella

L'approccio alla gestione O&M (Operations and Maintenance) è uno degli elementi che caratterizzano la rete di femtocelle rispetto ai sistemi cellulari tradizionali. La femtocella è,

infatti, anche un dispositivo di utente e, come un modem xDSL, è controllabile da remoto per mezzo di criteri standardizzati, indicati in una specifica tecnica del Broadband Forum (TR-069). La specifica definisce il protocollo Internet CWMP (CPE WAN Management Protocol), che fornisce le funzioni essenziali per gestire a distanza i terminali di utente. In essa sono indicate tutte le caratteristiche necessarie fra cui la gestione della configurazione, l'aggiornamento del software, il monitoraggio delle prestazioni, la diagnostica e la risoluzione dei guasti. La soluzione TR-069 è oggi già diffusa presso tutti i principali operatori europei e del Nord America per la gestione degli home gateway connessi tramite le terminazioni xDSL.

La figura 10 mostra l'architettura di gestione: in essa un apposito sistema server di O&M dell'operatore, detto ACS (AutoConfiguration Server) nella terminologia del Broadband Forum, comunica direttamente con l'home gateway e con i dispositivi ad esso connessi, inclusa la femtocella, per svolgere tutte le operazioni di gestione necessarie.

Le funzioni di autoconfigurazione delle femtocelle includono sia la scelta dei parametri di trasmissione, di controllo della mobilità e degli accessi, sia la gestione dell'insieme di celle da monitorare. I parametri di trasmissione di una femtocella non possono essere fissati a priori e configurati manualmente dall'operatore ma devono essere scelti automaticamente durante l'installazione che è generalmente avviata dal cliente e che è effettua-

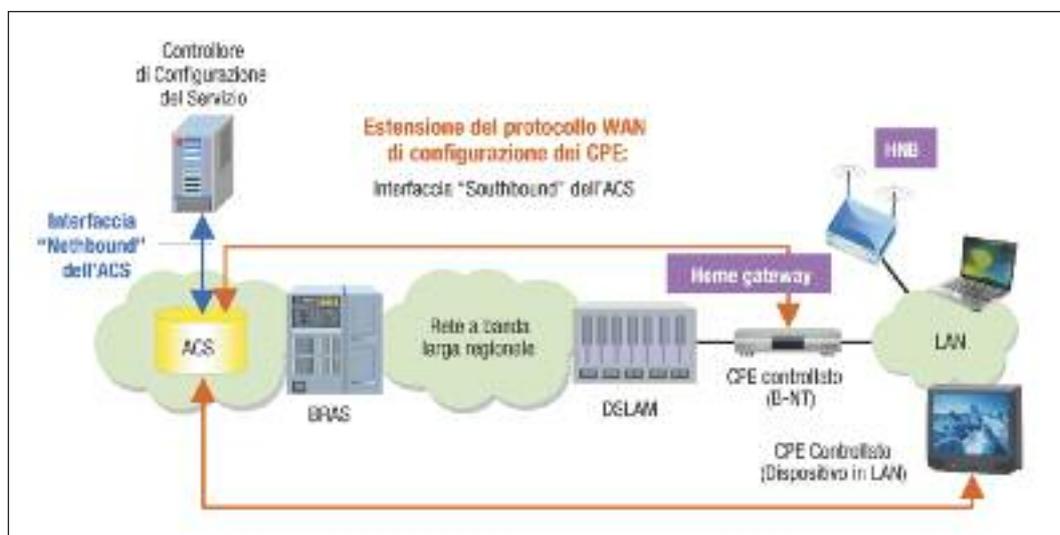


FIGURA 10
Telegestione della femtocella con il CWMP



ta, sempre da parte dell'utilizzatore, ad ogni accensione del terminale.

A tale scopo una femtocella UMTS può includere un ricevitore standard dedicato, detto MMR (*Macro-Mode Receiver*), che riceve le informazioni di cella, inviate in *broadcast* dalla macrocella sovrastante. In analogia a quanto accade per i terminali mobili nello stato dormiente (*idle mode*), la femtocella è quindi in grado di misurare il livello di segnale e di interferenza delle celle circostanti. Grazie a questa caratteristica è possibile introdurre nelle femtocelle opportuni algoritmi di regolazione automatica della potenza che consentono di ottenere il corretto compromesso tra la minimizzazione dell'interferenza isofrequenza, generata dalla femtocella sulla rete macrocellulare sovrastante, e una copertura appropriata dell'appartamento. Questi algoritmi consentono anche di controllare l'interferenza presente tra celle adiacenti nel caso di un'alta densità di femtocelle installate in una determinata area.

5.2. Gestione della risorsa radio

In un sistema cellulare la gestione delle risorse radio persegue l'obiettivo di garantire la qualità del servizio e, allo stesso tempo, di controllare le prestazioni di sistema, in termini ad esempio, di ottimizzazione della capacità e di controllo dell'interferenza. In questa funzione sono comprese le strategie e gli algoritmi atti a controllare parametri quali la potenza trasmessa, l'assegnazione dei canali, i criteri di handover, gli schemi di modulazione e quelli relativi al controllo di errore. Per comprendere la specificità della gestione degli aspetti radio in una rete di femtocelle, da un lato va considerata la libertà di cui gode l'utente nel collocare il proprio terminale HNB nel punto che preferisce in casa, dall'altro quella dell'operatore che può stabilire diverse condizioni operative della femtocella. L'operatore ha, infatti, a disposizione varie opzioni di pianificazione dello spettro radio dello strato di rete di femtocelle. In generale, si impiegano tre soluzioni:

- è possibile attribuire alle femtocelle una frequenza dedicata;
- per le femtocelle possono essere utilizzate le stesse frequenze già assegnate alla rete di macrocelle;

• può essere usata una frequenza in comune fra lo strato di femtocelle e quello di macrocelle e una riservata allo strato di macrocelle, prevedendo che, nel caso di interferenza a un utente della macrocella sia imposto di effettuare l'handover sulla frequenza riservata a questo strato (Figura 11).

Un aspetto collegato è che, a seconda della scelta dell'operatore, l'accesso all'HNB può essere aperto, ossia senza preclusioni per qualsiasi cliente che si trovi nell'area di copertura, oppure può essere ristretto a un CSG (*Closed Subscriber Group*) e cioè a un gruppo chiuso di clienti registrati nella femtocella [3]. I vari scenari d'uso che discendono dalle combinazioni delle scelte operative descritte hanno numerose implicazioni sia per l'operatore - in termini di capacità e di gestione di rete e di servizio - sia per il cliente, in termini di qualità e funzionalità. Qui di seguito si approfondisce il controllo dell'interferenza, ritenuto un aspetto critico per il sistema di femtocelle.

La rete di accesso UTRAN (*UMTS Radio Access Network*) è stata realizzata sulla base del criterio dello sviluppo di una rete ordinata e controllata; lo strato di femtocelle contiene invece un numero molto elevato di HNB tra loro non coordinati, che può generare livelli dannosi di interferenza.

Possono essere distinti tre tipi di interferenza: quella "femto-macro" prodotta dallo strato di femtocelle verso lo strato di macrocelle, quella "macro-femto" in senso opposto e, infine, quella "femto-femto" interna allo strato di femtocelle.

Fra questi tipi di interferenza, almeno nella prima fase di sviluppo delle reti di femtocelle, riveste un interesse primario l'interferenza tra stra-

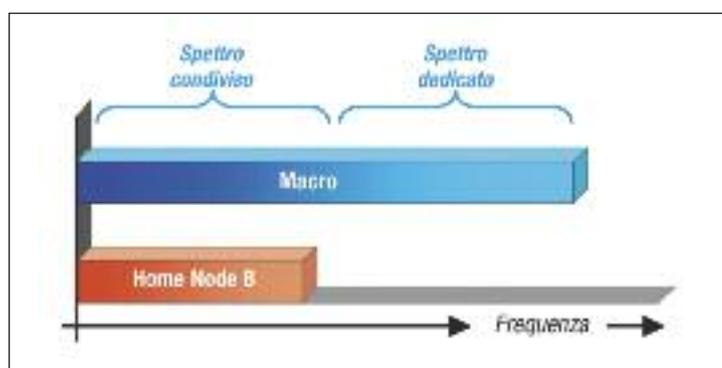
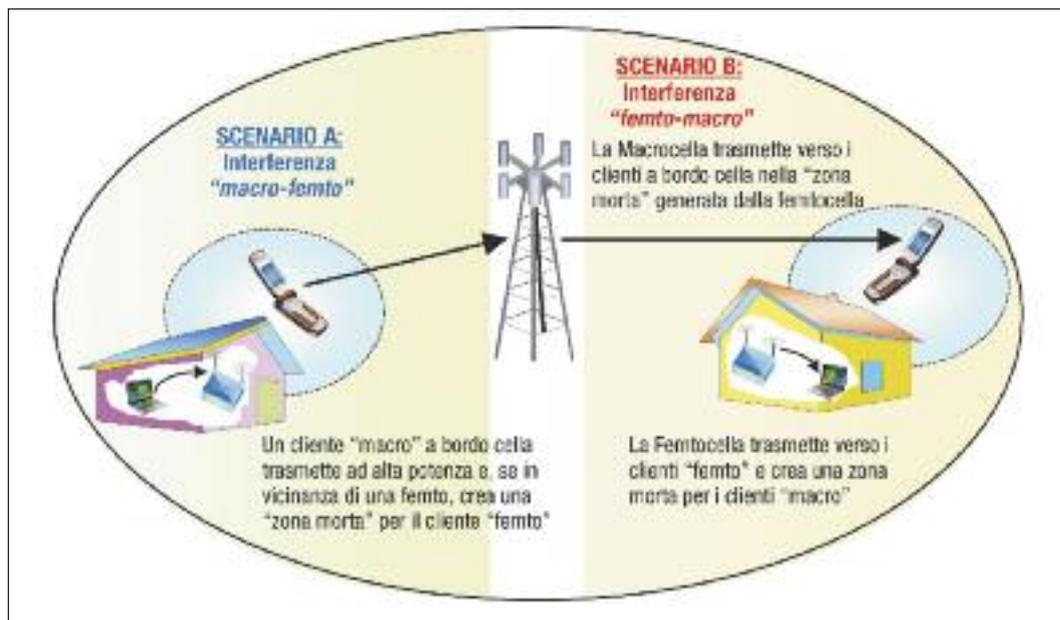


FIGURA 11

Uso dinamico delle frequenze della macrocella

FIGURA 12
Zone morte
per effetto
dell'interferenza
tra strati



ti diversi (ossia femto-macro e macro-femto). Nelle reti cellulari in tecnologia W-CDMA (*Wideband-asynchronous Code Division Multiple Access*), come il sistema UMTS/HSPA, può infatti presentarsi il problema *near-far*, che consiste nell'accecamento dei terminali collegati a stazioni radio base lontane, da parte di altre più vicine, alle quali tuttavia quei terminali non sono collegati. Nell'UTRAN, per compensare l'attenuazione di percorso e il fading lento e veloce (che determinano il fenomeno di *near-far*), si impiegano specifiche soluzioni di controllo della potenza e in particolare il cosiddetto *fast power control*.

Quando alla rete preesistente di macrocelle si aggiunge uno strato di femtocelle e si adotta un profilo di servizio di tipo CSG (il servizio è ristretto, come si è detto, a un gruppo chiuso e il cliente macro non può accedere allo strato femto), il controllo di potenza può generare "zone morte" (Figura 12) sia per i terminali che utilizzano la copertura con le femtocelle sia per quelli collegati alla copertura macrocellulare. Il fenomeno si caratterizza differentemente nei collegamenti in salita UL (*Up Link*) e in discesa DL (*Down Link*) [4]:

a. Interferenza "macro-femto" e zona morta in UL

I terminali collegati a una macrocella e collocati al bordo dell'area da essa servita trasmettono a potenza elevata nel collegamento in UL, causando un'interferenza inaccetta-

bile alle femtocelle vicine. Di conseguenza le femtocelle che si trovano sul bordo dell'area coperta subiscono un'interferenza sensibilmente maggiore rispetto a quella che si ha nelle femtocelle collocate all'interno della macrocella. In altri termini l'aggressore è il singolo terminale della macrocella e la vittima è la tratta Up Link della femtocella.

b. Interferenza "femto-macro" e zona morta in DL

I terminali collegati a una macrocella e collocati al bordo dell'area coperta sono affetti da valori maggiori di attenuazione rispetto a quelli che si trovano più all'interno della macrocella e sono pertanto interferiti nel collegamento in DL dalle trasmissioni delle femtocelle ad essi vicine. In altri termini, in questo caso l'aggressore è la femtocella e la vittima è la tratta Down Link della macrocella.

Per combattere l'interferenza che può insorgere tra i due strati cellulari, si possono ipotizzare alcune soluzioni operativamente semplici ma non sempre praticabili. Come si è prima accennato, possono essere per esempio impiegate frequenze differenti per i due strati, adottando così una soluzione che elimina alla radice le zone morte, ma che, oltre a non essere percorribile per gli operatori che dispongono di una sola portante UMTS, obbliga alla ripianificazione della rete macrocellulare e in più comporta una riduzione di capacità. Per gli operatori che dispongono di almeno due ban-

de UMTS, una diversa soluzione impiegabile è quella dell'uso dinamico delle frequenze, con il trasferimento della comunicazione attiva entro la macrocella sulla seconda portante non condivisa con le femtocelle, in presenza di un'interferenza determinata nella femtocella (Figura 11). Infine, per gli operatori 2G/3G è possibile ricorrere alla limitazione della potenza della femtocella per ridurre la zona morta in DL e alla contestuale adozione del GSM in sostituzione dell'UMTS in tale area.

Si ritiene comunque utile che ciascuna femtocella sia in grado di monitorare l'ambiente a radiofrequenza e di adattare e cambiare autonomamente i parametri di trasmissione (potenza, frequenza, codice, ritmo di trasmissione) per evitare, o quantomeno per contenere, l'interferenza verso le macrocelle e le femtocelle adiacenti [5]. Per ridurre l'interferenza tra due femto, quando un utilizzatore vicino ne installi una nuova, le altre femtocelle presenti nell'edificio possono dover riadattare i propri parametri di trasmissione. Può essere necessario introdurre le varianti anche dinamicamente: in linea di principio, infatti, se due femtocelle interferiscono, esse possono rivelare reciprocamente la presenza dell'altro terminale e modificare i propri parametri di trasmissione in qualsiasi momento.

Recenti analisi effettuate in ambito 3GPP [6] hanno mostrato come intorno alla femtocella si possano avere notevoli problemi d'interferenza laddove la potenza della macrocella sia ricevuta sensibilmente attenuata e quando la semplice limitazione della potenza in uscita dalla stazione radio domestica non possa essere considerata una soluzione soddisfacente, poiché limita l'area di copertura. Questi studi hanno, perciò, confermato l'utilità di tecniche adattative di potenza basate sulla stima dell'interferenza.

5.3. Le strategie di gestione della mobilità in presenza di femtocelle

L'obiettivo principale della gestione della mobilità, detta anche MM (*Mobility Management*), rappresenta l'aggiornamento in una rete radiomobile, con precisione adeguata, dell'informazione di posizione in rete dei clienti, per poter loro assicurare correttamente la fornitura dei servizi in mobilità. La mobilità è gestita mediante procedure di riselectio-

ne di cella e di aggiornamento dell'area di localizzazione, LA (*Location Area*), che include di norma più celle. L'aggiunta delle femtocelle nella rete mobile fa nascere la domanda sulla convenienza di gestire lo strato di femtocelle come un dominio a sé stante o in modo integrato con il preesistente strato di macrocelle. In una rete mobile i principali codici usati per realizzare la localizzazione del terminale sono tre: l'MNC (*Mobile Network Code*), che identifica la rete mobile pubblica (PLMN); la LAC (*Location Area Code*) che individua in modo univoco l'area di localizzazione del terminale entro la PLMN e, infine, il CID (*Cell ID*) che identifica la cella all'interno della LA. I codici identificativi sono diffusi periodicamente dalle stazioni radio base. L'operatore mobile potrebbe decidere di associare alle femtocelle lo stesso identificativo MNC scelto per la rete di macrocelle; in questo caso, per discriminare se un utente si trova nella copertura delle macrocelle o delle femtocelle, è necessario associare a queste ultime un insieme esclusivo di LAC, da gestire con un processo di pianificazione separato. In alternativa l'operatore può impiegare, se disponibile, un differente identificativo MNC per le femtocelle, che consente di attuare diverse strategie di servizio, introducendo così un grado di flessibilità in più e riducendo potenzialmente anche la complessità a livello radio, ma al costo di una maggiore complessità della rete.

Una soluzione che consente la selezione delle femtocelle e la verifica dell'autorizzazione all'accesso, consiste nell'assegnare una LA a ciascuna femtocella. Ogni LAC corrispondente a una femtocella deve essere distinta sia da quella a cui appartiene la macrocella sovrapposta sia dalle LAC delle femtocelle adiacenti. Tuttavia, poiché il numero potenziale di femtocelle in rete potrebbe essere molto grande e i codici LAC hanno una codificazione concepita per associare gli elementi ad aree geografiche di dimensioni molto maggiori dell'area di copertura di una femtocella, è sempre necessario prevedere il riuso a distanza dei codici LAC. In genere il nodo aggregatore delle femtocelle (HNB Gateway nella Figura 13) svolge anche la funzione di nascondere alla rete la complessità legata all'elevato numero di LAC, traducendo ad esempio i LAC associati alle femtocelle in un unico LAC mostrato alla rete

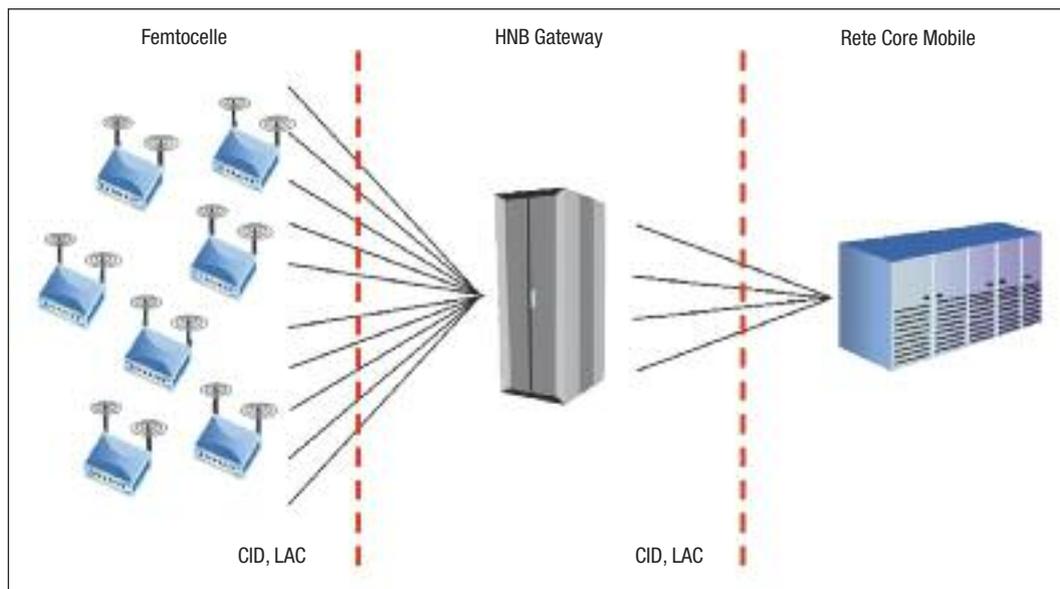


FIGURA 13
Aggregatore di femtocelle

di commutazione. Si semplificano così sia la configurazione dei nodi di commutazione sia le procedure come il paging.

Nel caso di uno scenario di accesso esclusivo, la femtocella o l'aggregatore, a seconda della particolare soluzione adottata, memorizza una lista di clienti abilitati all'accesso alla femtocella, detta *white list*, sulla base dell'identificativo IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*). Quando viene avviato un aggiornamento dell'area di localizzazione, LAU (*Location Area Update*), per poter accedere alla femtocella, la rete chiede contestualmente al terminale l'invio del proprio IMSI. L'identificativo è quindi intercettato dalla femtocella o dall'aggregatore ed è incrociato con l'insieme degli IMSI memorizzati nella *white list*. La funzione di aggiornamento della localizzazione entro la femtocella ha pertanto esito positivo solo se vi è rispondenza tra i dati e, in tal caso, l'utente è accettato.

Per semplificare gli aspetti di configurazione dei LAC e l'attività di aggiornamento della mobilità da parte dei terminali, il 3GPP ha definito nella release 8 soluzioni più efficienti, basate sulla trasmissione in aria da parte della femtocella di un codice di identificazione specifico (*CSG Identifier*). I terminali futuri, realizzati nel rispetto di queste norme avranno al proprio interno la configurazione della lista di *CSG Identifier* cui possono accedere ed effettueranno quindi una procedura di *Cell Reselection*, quando l'identificativo annunciato dalla fem-

tocella coincide con quello configurato sul terminale. Questa soluzione consente di ridurre le procedure di mobilità da parte del terminale, con un risparmio conseguente della carica delle batterie, e rimuove l'obbligo di assegnare un LAC per femtocella, riducendo così in misura significativa l'attività di configurazione e gestione da parte dell'operatore mobile.

6. ALCUNI PROBLEMI TUTTORA ALLO STUDIO

I problemi tecnologici oggi ancora aperti riguardano aspetti del sistema che spaziano dal sottosistema O&M alla gestione della risorsa radio, alla gestione della mobilità. Qui di seguito sono elencati alcuni tra i principali problemi da affrontare e risolvere nel prossimo futuro.

6.1. Sincronizzazione

La sincronizzazione è alla base della corretta gestione delle procedure sia a livello RRM (*Radio Resource Management*) che a livello MM (*Mobility Management*), in particolare di quelle di handover. Secondo le specifiche 3GPP, per rispondere agli standard delle maschere spettrali prescritte per le stazioni radio base, l'accuratezza sulla frequenza che queste generano deve essere di almeno 50 parti per miliardo (0,05 ppm). Per rispettare questi valori, anche su tempi lunghi, occorre utilizzare oscillatori a cristallo stabilizzati o controlla-

ti in temperatura, che richiedono calibrazioni esterne per poter correggere periodicamente (con una frequenza compresa fra un mese e un anno) la frequenza, che è soggetta a deriva a causa dell'invecchiamento del cristallo. Nelle stazioni radio base convenzionali la calibrazione periodica è realizzata tramite GPS o, più spesso, la sincronizzazione è estratta dal livello fisico del trasporto TDM. Nel caso delle femtocelle entrambe le soluzioni non sono utilizzabili, poiché la copertura GPS può essere insufficiente all'interno delle abitazioni e l'impiego di una rete IP per il trasporto implica una struttura asincrona differente rispetto a quella di una rete TDM. Il 3GPP nella release 6 dello standard ha pertanto specificato un valore di 0,1 ppm per l'accuratezza della frequenza per le stazioni radio collocate in zone chiuse e - tenendo presente le ulteriori difficoltà che si incontreranno con le femtocelle - ha introdotto nella release 8 un ulteriore rilassamento dei limiti normalizzati per i terminali HNB (0,25 ppm). Questo rilassamento è ritenuto accettabile in considerazione della ridotta velocità nello spostamento dei terminali da o verso una femtocella.

6.2. Controllo dell'accesso

Come si è chiarito nel paragrafo 5.3, il 3GPP ha definito soluzioni per il controllo della mobilità e dell'accesso alle femtocelle, ottimizzate per ridurre l'attività di segnalazione dal terminale e quella di gestione da parte dell'operatore. Le soluzioni saranno però disponibili solo dalla release 8 e non saranno perciò utilizzabili per un certo tempo dalla maggior parte dei terminali. Inoltre, anche se i terminali fossero disponibili fra breve, gli operatori dovrebbero comunque gestire entrambe le soluzioni per consentire la mobilità e l'accesso sia ai clienti con terminali rispondenti alle nuove specifiche sia a quelli con terminali conformi alle specifiche precedenti.

6.3. Qualità del servizio e confini di responsabilità tra gestore fisso e mobile

Nella tradizione dei sistemi radiomobili - prima per il GSM e poi per l'UMTS - la rete cellulare di proprietà dell'operatore mobile è del tutto autonoma e non richiede necessariamente l'impiego di parti delle reti di telecomu-

nizzazioni fisse. Quando questa esigenza si è presentata, il trasporto è stato svolto con flussi trasmissivi dedicati. Se però si dovesse impiegare la connessione xDSL del cliente per il servizio di backhaul, la femtocella potrebbe dover competere nell'uso della banda con altri utilizzatori domestici. E nel caso di condivisione dei flussi trasmissivi si presenterebbe il problema della gestione della qualità del servizio. Il problema sarebbe di maggior rilievo nel caso in cui il gestore di rete fissa fosse differente da quello della rete mobile. Le soluzioni utilizzabili in questo caso consisterebbero nella separazione dei diversi flussi di traffico e in una caratterizzazione di essi secondo classi differenti per la qualità del trasporto, nell'ambito di quanto consentito dalla tecnologia di trasporto utilizzata. Le soluzioni tuttavia non eludono la necessità di predisporre maggiori risorse di trasporto sull'accesso xDSL. Infine, nel caso in cui i provider dell'accesso alle femtocelle fossero differenti da quelli dell'accesso xDSL, occorrerebbe anche stabilire a chi è demandata la gestione dei guasti.

6.4. Servizi di emergenza

La fornitura del servizio di emergenza richiede di assicurare la localizzazione dell'utente e debbono quindi essere implementate soluzioni che consentano di localizzare la femtocella con una precisione, che potrebbe essere anche particolarmente elevata. Questo livello di accuratezza potrebbe richiedere lo sviluppo di soluzioni di identificazione delle femtocelle opposte rispetto all'esigenza dell'operatore, prima chiarita, di mascherare la numerosità delle terminazioni alla rete di commutazione. Potrebbe, in più, essere necessario lo sviluppo di procedure specifiche per la localizzazione del terminale.

6.5. Handover

Finora è disponibile nel mercato l'handover per il passaggio dalla femtocella alla macrocella, mentre non è consentito nella direzione opposta o nel passaggio da una femtocella ad un'altra. Sebbene questi aspetti non pregiudichino l'erogazione del servizio negli scenari di copertura più comuni, sono in via di approntamento le soluzioni non ancora messe a punto in via definitiva.

7. CONCLUSIONI

Le femtocelle rappresentano una tecnologia nuova che permette di realizzare un cambio di paradigma nell'accesso radio. Esse sono state concepite per migliorare prestazioni e qualità del servizio offerto nelle abitazioni. Una rete di femtocelle presenta il vantaggio, rispetto alle reti di macrocelle, di rendere utilizzabile in maniera esclusiva la capacità radio, disponibile in ogni tipo di ambiente e di dedicarla a un numero ristretto di utenti, dando la possibilità di accedere alla capacità di picco diversamente da una rete di macrocelle che non potrebbe offrire più di una capacità media di traffico. Grazie all'introduzione delle femtocelle si può quindi conseguire un incremento rilevante nel bit rate disponibile per utente. Inoltre, *l'assegnazione dedicata delle risorse radio e la conoscenza esatta della posizione dei clienti consentono, infine, di offrire anche i servizi tradizionali (chiamate foniche ed SMS) secondo profili di servizio speciali in termini di tariffazione.*

In più, come si è messo in luce nell'articolo, sono molteplici i benefici che portano oggi a una diffusa aspettativa che la femtocella possa divenire un componente potenzialmente abilitante dello sviluppo dell'ecosistema domestico della banda larga, offrendo una porta d'accesso - eventualmente in soluzioni integrate con altre tecnologie wireless - a numerosi apparecchi senza il vincolo della connessione cablata. La femtocella si presta a essere un elemento idoneo a consentire una completa integrazione degli ambienti domestici e SOHO nelle reti di telecomunicazioni e un importante driver di mercato per la promozione dell'ecosistema della larga banda, tanto da poter essere considerato un elemento essenziale per accelerare l'impiego delle tecnologie previste per l'edificio intelligente.

La consapevolezza delle molteplici potenzialità insite in questa tecnologia ha spinto di recente il 3GPP ad accelerare il processo di standardizzazione, che ha prodotto alla fine del 2008 il primo blocco di specifiche di sistema per le femtocelle.

Come si è visto nell'articolo, con le femtocelle le funzionalità di gestione della rete radio e della mobilità si spostano in prossimità dell'utente finale e risultano assai più distribui-

te che nelle configurazioni di rete tradizionali. Questa trasformazione dell'accesso è in linea con la tendenza tipica dei moderni sistemi di telecomunicazioni, che vedono spostarsi la capacità elaborativa dei sistemi verso la periferia della rete.

Ma, se le femtocelle aprono nuove opportunità nello sviluppo delle tecnologie 3G e LTE e si prestano anche ad integrarsi nello sviluppo della rete di nuova generazione (la NGAN), esse comportano anche nuove sfide in relazione all'intrinseca natura fortemente distribuita delle funzioni allocate nei terminali remoti. Alcuni problemi posti dalle femtocelle richiedono un'attenta considerazione e le scelte non sembrano essere state ancora del tutto individuate. Com'è stato sottolineato in questo articolo, su questi temi occorrerà che si concentri nel prossimo futuro l'attenzione degli Organismi di standardizzazione e gli studi dei laboratori di ricerca e di sviluppo per definire i punti ancora in sospeso e, soprattutto consentano di realizzare soluzioni allo stesso tempo efficienti e compatibili con l'impiego dei terminali maggiormente impiegati dall'utenza potenziale.

Ringraziamenti

Si ringraziano per l'accurata opera di revisione ed i preziosi suggerimenti Andrea Buldorini, Enrico Grosso, Andrea Laganà, Michele Ludovico, Alessandro Vaillant, Franca Venir, Francesco Vatalaro (Università di Roma "Tor Vergata").

Bibliografia

- [1] Isenberg D.: *The Rise of the Stupid Network*. Computer Telephony, August 1997, p. 16 e successive. Web: <http://www.hyperorg.com/misc/stupidnet.html>
- [2] ABI Research: *Femtocell Market Challenges and Opportunities - Cellular-Based Fixed Mobile Convergence for Consumers, SMEs and Enterprises*, 2Q 2007. Web: http://www.abiresearch.com/products/-market_research/Femtocell_Market_Challenges_and_Opportunities
- [3] 3GPP Doc. TR 25.820 V8.0.0 (2008-03): *Technical Report. 3-rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Networks; 3G Home NodeB Study Item Technical Report (Release 8)*, 2008.

- [4] Chandrasekhar V., Andrews J.G., Gatherer A.: *Femtocell Networks: A Survey*. June 23, 2008. Web: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0803/0803.0952.pdf>
- [5] Claussen H., Ho L.T.W., Samuel L.G.: *Self-optimization of Coverage for Femtocell Deployments*. 24-26 April 2008, Wireless Telecommunications Symposium (WTS 2008), p. 278-285.
- [6] 3GPP Doc. R4-071660 - Ericsson: *Impact of HNB with fixed output power on macro HSDPA capacity*. 3GPP TSG-RAN Working Group 4 (Radio), Shanghai, October, 2007.
- [7] ABI Research: *Super Femtocells The Need for a Higher Capacity Femtocell*. 4Q 2008. Web: http://www.abiresearch.com/products/research_brief/Femtocell_Research_Briefs/109/Super+Femtocells#toc
- [8] I'm cellular: *Femtocell Trials and Deployments (to date) capacity*. January 11 2009. Web: <http://imcellular.org/2009/01/11/femtocell-trials-and-deployments-to-date/>

ROCCO CASALE, dopo aver conseguito la laurea cum laude e dopo una breve esperienza in una società manifatturiera di sistemi elettronici, ha svolto la sua attività professionale in SIP (divenuta poi Telecom Italia) dove si è occupato con responsabilità crescenti - fino a divenirne responsabile nel 1985 - di ingegneria delle innovazioni tecnologiche e dell'introduzione in rete di sistemi di telecomunicazione innovativi. Dallo stesso anno ha curato la qualità entrante di tutti i prodotti acquistati da Telecom Italia. Dal 1995 ha diretto per nove anni il Notiziario Tecnico Telecom Italia. Ha svolto un'intensa attività internazionale in UIT, CEPT (oggi ETSI), IEC. Ha presieduto per tre anni il Comitato Tecnico dello CSELT (oggi TiLab) ed è stato membro del Comitato tecnico della FUB. Dal 2006 collabora con il Consorzio Università Industria Radio Labs. Oggi si occupa prevalentemente di problemi legati all'accesso alle reti di telecomunicazione e in particolare di quelli riguardanti l'introduzione nelle reti di telecomunicazione dei sistemi di nuova generazione NGAN. Si interessa anche di nuovi sistemi di alimentazione a idrogeno, a impatto quasi nullo sull'ambiente, alternativi alle batterie impiegate nelle centrali telefoniche.
E-mail: rocco.casale@alice.it

GIUSEPPE CATALANO ha ricevuto la laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università di Pisa nel 1998, anno in cui è stato assunto in CSELT (Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni), ora TILAB (Telecom Italia Lab). La sua attività si è focalizzata sull'evoluzione dei sistemi radiomobili, quali GPRS, UMTS ed LTE, avendo partecipato alle fasi di standardizzazione presso il 3GPP e di testing e deployment per Telecom Italia ed alcune società controllate del Gruppo. Ha svolto un'intensa attività didattica in corsi destinati al personale del Gruppo ed è stato curatore e co-autore del libro "GPRS - Accesso Radio, Architettura di Rete, Protocolli e Servizi" edito da TILAB. È oggi delegato di Telecom Italia presso il 3GPP TSG RAN WG3.
E-mail: giuseppe.catalano@telecomitalia.it

DANIELE FRANCESCHINI è nato a La Spezia il 21/10 1971. Si è laureato in Ingegneria Elettronica indirizzo telecomunicazioni nell'aprile del 1997. Nello stesso anno ha iniziato la sua carriera lavorativa in CSELT (Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni) centro di ricerca e sviluppo del gruppo Telecom Italia in Torino, dove si è focalizzato sull'analisi delle prestazioni della rete GSM/GPRS mediante simulazioni di sistema. Dal 1998 ha seguito attivamente il processo di standardizzazione UMTS, rappresentando Telecom Italia nei gruppi ETSI SMG2 L2&3 e successivamente 3GPP TSG RAN WG2 e WG4. Da Marzo 2000 ha continuato la sua carriera lavorativa in Omnitel dove ha seguito vari aspetti relativi alla progettazione radio UMTS. Dal 2001 è ritornato in Telecom Italia dove ha seguito vari aspetti relativi all'evoluzione della rete di accesso radio e focalizza le sue attività sull'evoluzione delle tecnologie radio beyond 3G (e.g. HsxPA ev., OFDMA, LTE).
E-mail: daniele.franceschini@telecomitalia.it

SANDRO DIONISI ha ricevuto la laurea cum laude in Ingegneria Elettronica presso l'Università "La Sapienza" di Roma. Ha oltre 25 anni di esperienza in vari campi delle telecomunicazioni fisse e mobili. Dal 1983 è in Telecom Italia (allora SIP), dove ha lavorato in diverse aree di Rete, ricoprendo vari livelli di responsabilità. Nel 1999 è stato nominato responsabile della Rete di Accesso e di Trasporto Fissa e nel 2002 è divenuto responsabile di un'Area Territoriale di Rete; nel 2003 ha ricevuto l'incarico di coordinare le Infrastrutture e le *Operations* della Rete Internazionale di Telecom Italia per i servizi fissi e mobili per l'Europa e l'America Latina. Ha partecipato attivamente a diversi *forum* e gruppi di standard internazionali in ITU ed ETSI dove, nel periodo dal 1990 al 1996, ha guidato il gruppo responsabile degli standard di radio relay. Da febbraio del 2008 è Direttore di Telecom Italia Lab ed è responsabile delle attività di Ricerca, Innovazione ed Ingegneria per le reti fissa e mobile del gruppo Telecom Italia.
E-mail: sandro.dionisi@telecomitalia.it