



QUALITÀ DEL SERVIZIO NEI SISTEMI RADIOMOBILI DI TERZA GENERAZIONE (UMTS)

In questo articolo si descriverà il sistema UMTS WCDMA, che verrà introdotto in Europa per la realizzazione della rete radiomobile di terza generazione. Saranno descritti i principali aspetti tecnologici del sistema. Si affronterà l'analisi delle prestazioni del servizio telefonico e del servizio dati, individuando i più importanti indici di qualità che determinano il livello di soddisfazione degli utenti e del gestore. I risultati mostreranno che il servizio telefonico può essere realizzato con successo. Il servizio dati offre prestazioni soddisfacenti, ma può essere migliorato.

**Maurizio Dècina
Paolo Giacomazzi**

1. INTRODUZIONE

L'International Telecommunications Union (ITU) ha fondato un programma, denominato *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000) [5], che racchiude un insieme di standard inerenti ai diversi sistemi di telecomunicazioni radiomobili di terza generazione. IMT-2000 identifica come fattori essenziali per il successo dei sistemi di terza generazione l'accesso ad alta velocità, la flessibilità, l'economicità e la compatibilità con i sistemi radiomobili di seconda generazione (per esempio, il GSM, *Global System for Mobile Communications*) ora esistenti.

L'alta velocità corrisponde all'esigenza di supportare servizi a larga banda come l'accesso veloce ad Internet ed il trasporto di traffico multimediale (dati, voce e video) fino al terminale mobile d'utente. La flessibilità si riferisce all'esigenza di supportare nuovi tipi di servizio come lo *universal personal numbering* (numero telefonico personale universale), telefonia satellitare e, in generale, servizi che possano estendere la portata e la possibilità di interconnettere i sistemi radio-

mobili agli altri sistemi radio e terrestri esistenti. La compatibilità con i sistemi radiomobili ora esistenti è vitale per poter eseguire una transizione il più possibile continua tra i sistemi di seconda e terza generazione.

Lo *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) è uno dei più importanti sistemi di telecomunicazioni radiomobili compresi nel programma IMT-2000 ed è quello che interesserà più da vicino l'Europa. UMTS è supportato dai più importanti costruttori di apparati per la telefonia radiomobile e dai gestori di telecomunicazioni, che hanno lo scopo di favorire la crescita di un mercato di massa per le telecomunicazioni personali multimediali a larga banda.

Il sistema UMTS, nelle intenzioni dei costruttori di apparati di telecomunicazioni e dei gestori, fornirà servizi di tipo voce, dati e video agli utenti in movimento. Si intende raggiungere questo scopo usando un sistema di accesso radio innovativo rispetto a quello utilizzato nel sistema GSM e anche tramite un'evoluzione della rete *core* (per rete core si intende la rete terrestre che mette in comuni-

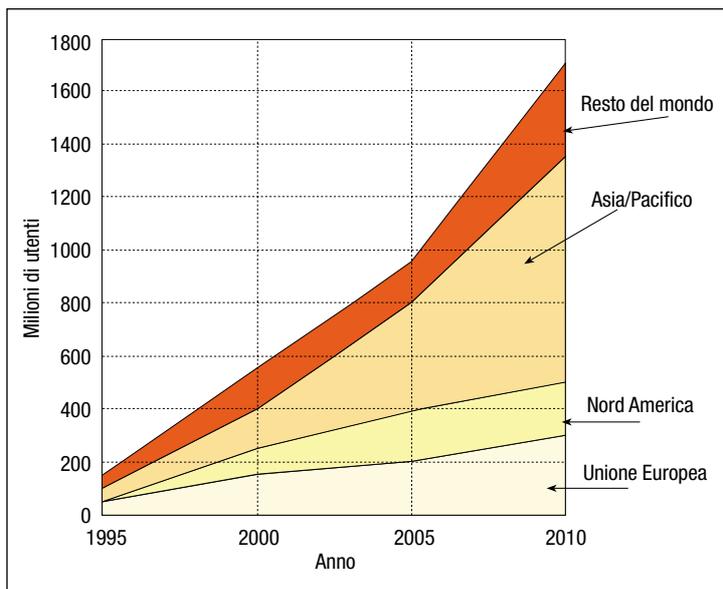


FIGURA 1
Numero di utenti radiomobili nel mondo suddivisi per area geografica

cazione le stazioni base della rete radiomobile e che offre connessione verso la rete Internet terrestre e verso la rete telefonica fissa). Il mercato dei sistemi di telecomunicazioni radiomobili è ampio. Come mostrato nella figura 1 [7], che rappresenta il numero di utenti radiomobili nel mondo suddivisi per area geografica, l'utenza radiomobile sta crescendo ad un ritmo molto elevato. A fronte di circa 400 milioni di utenti nell'anno 2000 si prevede un numero di utenti pari a 1800 milioni nell'anno 2010.

Al fine di inquadrare la situazione del mercato nel quale si andrà a inserire il servizio radiomobile di terza generazione, è utile descrivere la situazione corrente del mercato dei sistemi radiomobili di prima generazione (analogica) e seconda generazione. I sistemi di prima generazione (AMPS *Advanced Mobile Phone System*, TACS *Total Access Communication* (o *Cellular*) *System* e NMT *Nordic Mobile Telephone*) sono stati realizzati nei primi anni '80 e hanno fornito un buon servizio di telefonia. I sistemi radiomobili di seconda generazione, digitali, offrono servizio voce e dati a velocità relativamente bassa. Questi sistemi sono il GSM in Europa, i sistemi IS-95 (*Interim Standard-95*) e IS-95 CDMA (*IS-95 Code Division Multiple Access*) in America e, in Giappone, i sistemi *Personal Digital System* (PDC) e *Personal Handphone System* (PHS). Nella figura 2 [7] è mostrato il numero di utenti di queste tecnologie nel mondo. Attualmente, il GSM è la tecnologia più diffusa mentre la tecnologia analogica di prima generazione è da anni in fase decrescente. Per quanto riguarda il futuro, si prevede che nel 2010 il 60% del traffico totale in Europa sarà generato da applicazioni multimediali radiomobili. I servizi che piloteranno la crescita del mercato radiomobile saranno:

• accesso a Internet tramite il terminale mobile d'utente, posta elettronica, trasferimento di immagini in tempo reale, trasferimento di documenti multimediali;

• telefonia mobile avanzata, anche con videotelefonia, servizi dati a larga banda;

• servizi *video on demand*, servizi video interattivi, *teleshopping*, servizi *video broadcasting*.

Questi servizi eterogenei comportano l'esigenza di una rete molto flessibile, in grado di gestire contemporaneamente il traffico telefonico, il traffico dati e quello video. Questi tipi di servizi hanno caratteristiche molto diverse, sia in termini di banda necessaria per il loro trasporto, sia per la qualità del servizio richiesta. Infatti, il servizio telefonico richiede una banda relativamente bassa, ma è necessario garantire ritardi di trasmissione molto piccoli al fine di offrire connessioni di qualità adeguata. Il trasporto di dati richiede invece una banda generalmente più elevata ma non è necessario uno stretto controllo del ritardo di trasmissione. Queste esigenze così variegate non possono essere soddisfatte in modo adeguato dai sistemi radiomobili di seconda generazione.

Lo scopo di questo lavoro è in primo luogo quello di descrivere l'architettura del sistema UMTS e come si intende trasportare in modo integrato e con adeguata qualità del servizio il traffico di tipo voce e dati e sull'interfaccia radio. In seguito, si affronterà in modo critico il problema della qualità del servizio nella rete UMTS, analizzando l'effettiva possibilità di questo sistema di garantire un livello di soddisfazione adeguato degli utenti voce e dati. È altresì importante verificare che, se gli utenti possono essere soddisfatti della qualità del servizio ricevuto, i gestori della rete possano:

a. avere a disposizione una rete ad elevata capacità, cioè, poter servire molti utenti e in

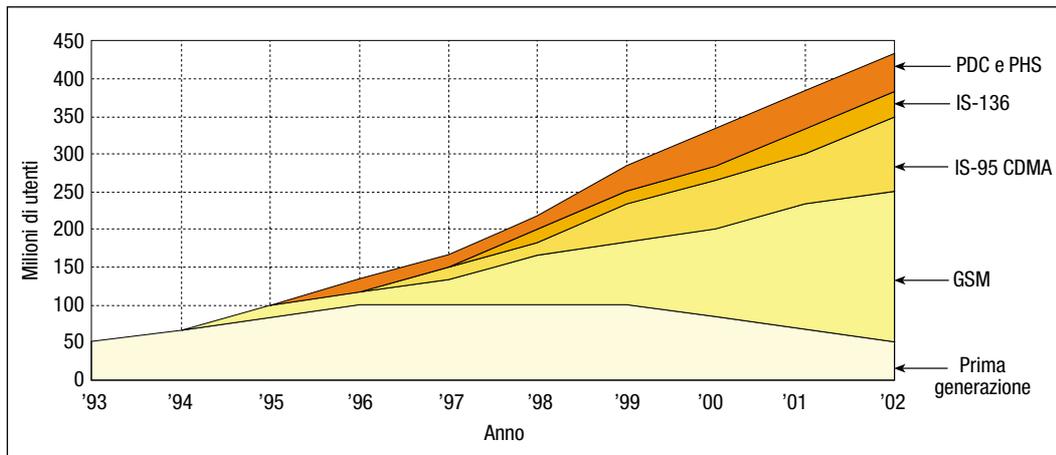


FIGURA 2
Grado di penetrazione delle tecnologie radiomobili di prima e seconda generazione nel mondo

tal modo poter mantenere le tariffe ad un livello adeguatamente basso;

b. disporre di celle di ampie dimensioni, in modo da poter coprire il territorio con un numero il più possibile basso di stazioni base (si parla in questo caso di ampia copertura); anche la *copertura* ha un notevole impatto sull'economia del servizio offerto agli utenti. Nel paragrafo 2 vengono definiti gli aspetti tecnologici fondamentali del sistema UMTS, mentre nel paragrafo 3 si descrive la gestione del servizio telefonico nel sistema UMTS e si analizzano le prestazioni dello stesso in termini di qualità del servizio percepita dagli utenti e di volume di utenza servibile da parte del gestore. Nel paragrafo 4 si delinea il principale servizio dati che sarà offerto nel sistema UMTS e se ne analizzano le prestazioni. Nel paragrafo 5, infine, sono espone le conclusioni.

2. IL SISTEMA UMTS

Il sistema radiomobile UMTS è basato su un'architettura cellulare, cioè, come mostrato in figura 3, il territorio è suddiviso in celle, ognuna delle quali è servita da una stazione base. Gli utenti all'interno di una cella si collegano alla stazione base di pertinenza. Nel caso in cui un utente mobile attraversi il confine tra due celle adiacenti, opportune procedure, dette di *handover*, passano il controllo della connessione di quell'utente alla base station che controlla la cella nella quale l'utente sta entrando.

La comunicazione tra gli utenti radiomobili e la stazione base all'interno di una cella viene

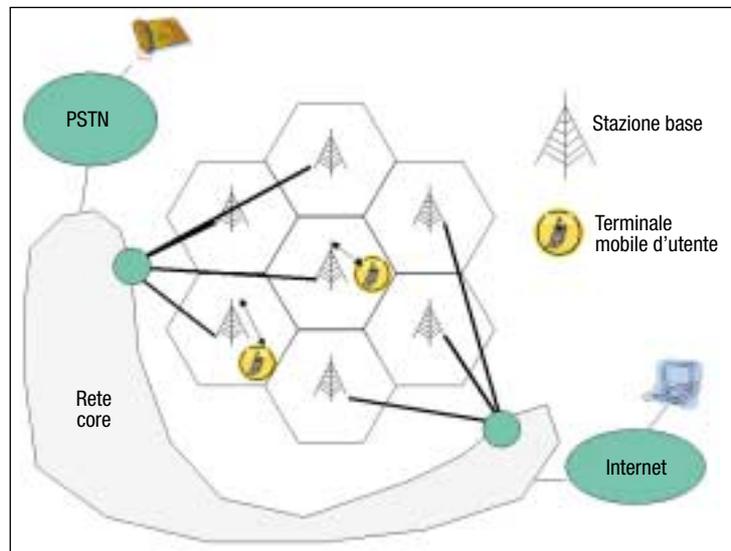


FIGURA 3
Copertura cellulare del territorio nel sistema UMTS

attuata mediante il canale radio. A tal scopo sono predisposte delle opportune bande che sono già state rilasciate dai governi dei Paesi ai gestori di telecomunicazioni. La banda disponibile per la comunicazione radio è una delle risorse scarse del sistema UMTS. Nella soluzione tecnologica di tipo *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)* [2, 4], la più interessante in Europa, sono disponibili le bande da 1885 a 2025 MHz e da 2110 a 2200 MHz. Ogni portante ha una banda disponibile che può variare tra 4,2 e 5,4 MHz e, mediante il sistema di modulazione adottato, rende disponibile un canale radio numerico con capacità pari a 2 Mbit/s.

Le stazioni base sono connesse alla rete core, che ha il compito di interconnettere in modo completo le stazioni base per mezzo di collegamenti terrestri, al fine di garantire la

comunicazione tra utenti in diverse celle. Inoltre, la rete core permette la connessione verso la rete telefonica terrestre (PSTN, *Public Switched Telecommunications/Telephone Network*) e verso Internet.

2.1. Struttura temporale delle trasmissioni nel sistema UMTS WCDMA

L'interfaccia radio nel sistema UMTS WCDMA funziona in modalità *Frequency Division Duplex* (FDD). Le stazioni mobili trasmettono verso la stazione base su un'apposita banda (trasmissione in *uplink*) diversa da quella utilizzata dalla stazione base per trasmettere verso le stazioni mobili (trasmissione in *downlink*). In tal modo non esiste interferenza tra le trasmissioni in direzione uplink e downlink all'interno della stessa cella. In figura 4 viene mostrato un esempio

FIGURA 4
Trasmissioni in uplink e downlink

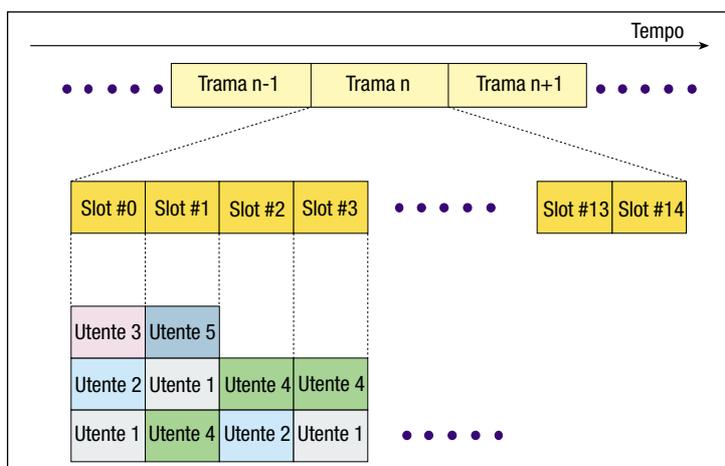
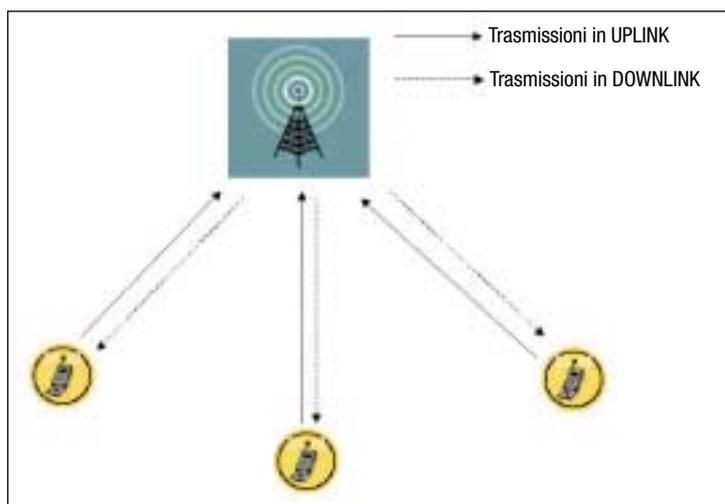


FIGURA 5
Suddivisione a trame e a time slot delle trasmissioni nel sistema UMTS WCDMA

nel quale una stazione base esegue, contemporaneamente, tre trasmissioni diverse verso tre utenti radiomobili in downlink. Nello stesso istante, i tre utenti trasmettono verso la stazione base in uplink.

Nell'UMTS WCDMA, la trasmissione avviene nelle modalità a divisione di tempo e a divisione di codice. I canali uplink (dai mobili alla stazione base) e downlink (dalla stazione base ai mobili) hanno una struttura a trama e a *time slot*. Sul canale si susseguono le trame, ognuna della durata di 10 ms e ogni trama è suddivisa in 15 time slot, come mostrato nella figura 5.

La struttura temporale delle trasmissioni è identica in direzione uplink e downlink. In direzione uplink, all'interno di una trama un utente può trasmettere in uno o più time slot. Sono possibili anche trasmissioni contemporanee di più utenti nello stesso time slot, dato che nel sistema UMTS viene adottata la tecnica del CDMA. In particolare, ad ogni utente viene assegnato un codice che, opportunamente combinato con i dati che l'utente stesso deve trasmettere, permette alla stazione base di identificare le trasmissioni contemporanee dei singoli utenti con un livello ridotto di mutua interferenza.

In modo analogo, per le trasmissioni in direzione downlink ogni stazione base può effettuare contemporaneamente trasmissioni verso più di un utente, utilizzando un codice diverso per ogni utente.

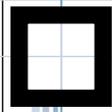
Nell'esempio di figura 5, gli utenti 1, 2 e 3 trasmettono nel time slot 0, gli utenti 1, 4 e 5 nel time slot 1 e così via. Un utente può trasmettere in più time slot all'interno di una trama.

La modalità di trasmissione adottata è nota anche come **spreading spectrum**, cioè, spettro esteso.

2.2. I canali per la trasmissione delle informazioni in UMTS WCDMA

Nel sistema UMTS WCDMA sono disponibili molti canali per la trasmissione delle informazioni; i principali sono il *Dedicated Channel* (DCH) ed il *Downlink Shared Channel* (DSCH) [1].

I Dedicated Channel sono canali bidirezionali (utilizzabili sia in uplink che in down-



link) dedicati. Il fatto che il DCH sia un canale dedicato permette la trasmissione delle informazioni in modalità *commutazione di circuito*. Un utente che ha bisogno di trasmettere/ricevere informazioni tramite una risorsa trasmissiva dedicata, come per esempio accade nel caso del servizio telefonico, può richiedere l'allocazione di un canale DCH in uplink o downlink, oppure di una coppia di canali DCH in direzione uplink e downlink. Per esempio, nel caso del servizio telefonico, che è di natura bidirezionale, sarà assegnata all'utente una coppia di canali DCH, uno in uplink ed uno in downlink, di uguale capacità trasmissiva.

Il segnale che un utente intende trasmettere (o ricevere), che è a banda stretta, per esempio, voce a 12,2 kbit/s o dati a 384 kbit/s, nel momento in cui viene codificato tramite il codice assegnato a quell'utente, passa anche attraverso l'operazione di **spreading spectrum** (o spettro esteso) [6] tramite la quale la banda del segnale viene aumentata di un fattore proporzionale allo *Spreading Factor*. Lo scopo principale di questa operazione è quello di permettere la trasmissione in modalità CDMA. L'espansione dello spettro del segnale lo rende più robusto all'interferenza causata da trasmissioni contemporanee.

Un esempio di combinazione di un segnale con un codice di spreading è mostrato in figura 6: si considera una sequenza di 5 bit informativi che vengono codificati con un codice con spreading factor uguale a 7. Questo significa che ogni bit informativo viene diviso in 7 unità elementari per la trasmissione, chiamate *chip*. Quello che viene trasmesso sul canale è la combinazione dei bit informativi con il codice di spreading. Il risultato è un segnale di banda maggiore, circa 7 volte superiore alla banda del segnale originale. Il vantaggio è che, con un'opportuna scelta dei codici, è possibile ridurre notevolmente l'interferenza mutua tra trasmissioni contemporanee.

Il Downlink Shared Channel è un canale condiviso in direzione downlink, da stazione base a utenti radiomobili. Il DSCH viene utilizzato principalmente per le trasmissioni di dati in quanto ne è sconsigliabile l'utilizzo per traffico che, per sua natura, dovrebbe essere trasportato in modalità commutazione di circuito, come la voce. Un utente coinvolto in una trasmissione dati richiede accesso al DSCH, che utilizzerà in modo condiviso insieme agli altri utenti che ne hanno fatto richiesta. Tipicamente, una sessione dati è asimmetrica, cioè, un utente tende a scaricare più dati di quanti ne trasmette. Per questo motivo, la soluzione più frequente è quella di assegnare ad ogni utente che ha accesso al DSCH un canale dedicato DCH in direzione uplink. Questo canale, di capacità ridotta, rende possibile la trasmissione di dati anche in direzione uplink. In figura 7 è mostrata la tipica allocazione di canali radio per il servizio voce e per il servizio dati. La capacità dei canali DCH e DSCH è selezionabile, tramite il parametro *Spreading Factor*, all'interno di un insieme discreto di scelte possibili.

2.3. La gestione dell'interferenza e della potenza nel sistema UMTS WCDMA

Nel sistema UMTS l'accesso CDMA permette la trasmissione contemporanea di informazioni da parte di più utenti verso la stazione base (uplink) e multiple trasmissioni contemporanee da parte della stazione base verso gli utenti (downlink). Nonostante l'utilizzo dei codici, le trasmissioni concorrenti possono causare mutua interferenza, sia al ricevitore della stazione base che al ricevitore del terminale mobile d'utente. Per

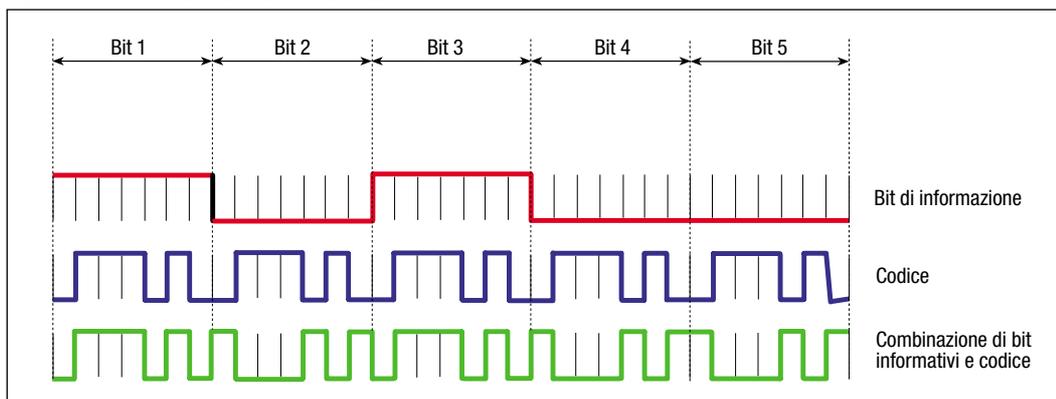


FIGURA 6

Esempio di trasmissione a spreading spectrum, con spreading factor pari a 7

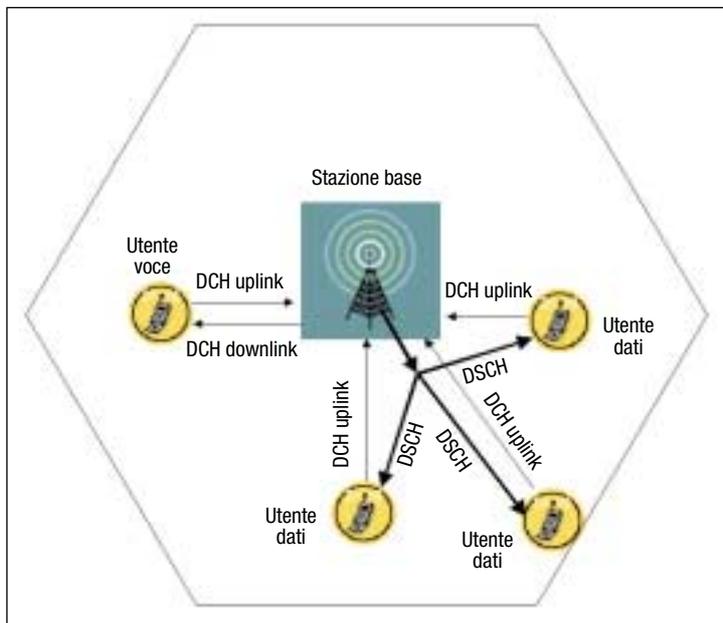


FIGURA 7
Allocazione dei canali DCH e DSCH per i servizi voce e dati in UMTS WCDMA

quanto riguarda l'interferenza captata da un utente mobile, questa è generata sia da trasmissioni che la stazione base effettua nello stesso istante verso altri utenti all'interno della stessa cella (in questo caso si parlerà di interferenza *intracella*), sia da trasmissioni effettuate da stazioni base remote, di altre celle (questa è, invece, l'interferenza *intercella*). Nella figura 8 è mostrato il fenomeno dell'interferenza intracella e intercella in downlink.

Nella figura 8 la stazione base 1 (BS#1) effettua una trasmissione verso l'utente 1. Contemporaneamente, la stessa stazione base effettua una trasmissione verso l'utente 2; questo segnale viene captato anche dall'utente 1 e questo causa un'interferenza che abbassa il livello della qualità del segnale captato dall'utente 1. Nello stesso istante, la stazione base 2 (BS#2) trasmette verso l'utente 3, in una cella diversa da quella di pertinenza dell'utente 1. Anche questa trasmissione verrà captata dall'utente 1 e questo costituisce un'interferenza intercella. La stessa cosa succede per la trasmissione che, in un'altra cella, la stazione base 3 (BS#3) effettua verso l'utente 4. Anche questa trasmissione causa interferenza di tipo intercella per l'utente 1.

L'interferenza captata da un utente diminuisce la qualità del segnale da esso percepito. Questa degradazione di qualità può essere

contrastata in quanto un utente, tramite opportuni comandi, può richiedere alla stazione base di aumentare la potenza del segnale. Questa procedura di calibrazione della potenza è detta *power control* e determina il livello di potenza complessivo erogato dalla stazione base. La stazione base ha un budget di potenza limitato, tipicamente 20 W per cui gli utenti ricevono segnali intelleggibili fino a che la stazione base può erogare una potenza sufficiente a combattere l'interferenza captata dagli utenti. Quando la stazione base raggiunge il livello massimo di potenza erogabile (saturazione) gli utenti non possono ricevere un segnale intelleggibile e il servizio non è più qualitativamente accettabile.

Nello stesso modo, per quanto riguarda le trasmissioni in direzione uplink, la stazione base riceve segnali interferenti. La stazione base può richiedere agli utenti di aumentare il livello di potenza trasmessa tramite la procedura di *power control*. Come per le stazioni base, la potenza erogabile da un terminale mobile ha un livello massimo, tipicamente pari a 125 mW. La stazione base riceve da un utente un segnale intelleggibile fino a quando il terminale mobile è in grado di erogare un livello di potenza tale da combattere l'interferenza captata dalla stazione base stessa. Quando il terminale mobile satura il livello di potenza erogabile, la stazione base non è più in grado di comprendere il segnale trasmesso dal mobile e la qualità del servizio degrada.

Nel sistema UMTS, dunque, la potenza disponibile in trasmissione è la principale risorsa critica, in quanto tramite la potenza trasmessa si combatte l'interferenza. La capacità complessiva del sistema UMTS è determinata da un complesso bilancio tra il livello di interferenza ed il livello di potenza in trasmissione richiesto per combatterla.

Questo fenomeno crea anche una potenziale *unfairness* del trattamento degli utenti lontani dalla stazione base rispetto a quelli vicini. Un utente lontano dalla stazione base deve in generale trasmettere un livello di potenza più elevato, in quanto deve compensare la maggiore attenuazione del segnale dovuta alla maggiore distanza. Gli utenti lontani dalla stazione base ten-

deranno perciò a saturare per primi la potenza disponibile in trasmissione. Questo è il principale fattore che determina la dimensione massima della cella, detta anche copertura.

2.4. I codici per la protezione dagli errori nel sistema UMTS WCDMA

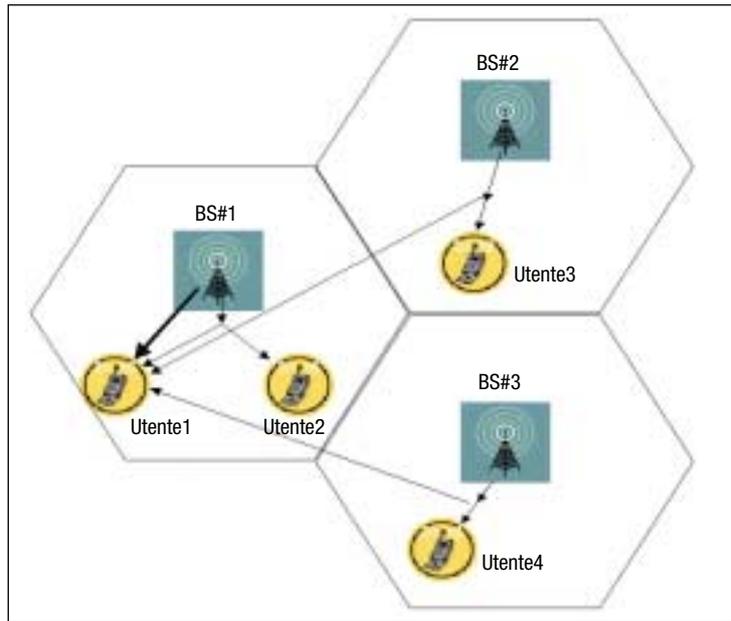
Per proteggere le informazioni trasmesse dagli inevitabili errori di trasmissione che si verificano a causa dell'interferenza e del rumore termico captato al ricevitore, nel sistema UMTS si utilizzano dei codici di protezione che servono per rivelare e, in parte, per correggere gli errori. Il flusso di bit che si intende trasmettere viene in primo luogo protetto tramite un **codice** di tipo **convoluzionale**. Nonostante la presenza dei codici

Il **codice convoluzionale** è un FEC (Forward Error Correction) e serve per correggere automaticamente gli errori dovuti all'interferenza e al rumore termico. I codici convoluzionali utilizzati nel sistema UMTS sono caratterizzati da un rate pari a $1/2$ o $1/3$. Un codice con rate pari a $1/2$ introduce un bit aggiuntivo per ogni bit di informazione trasmesso, quindi il numero di bit al secondo effettivamente trasmessi sul canale raddoppia. Un codice con rate pari a $1/3$ introduce due bit aggiuntivi per ogni bit di informazione e la velocità di trasmissione effettiva triplica.

convoluzionali, è possibile che permangano errori residui. Per correggere questi errori, alla fine di ogni trama viene inserito un ulteriore codice, di tipo CRC (Cyclic Redundant Code), che serve per rivelare gli errori, ma non per correggerli. Quando il ricevitore, tramite il codice CRC, determina che nella trama sono presenti degli errori, la trama viene ritrasmessa tramite una procedura di ARQ (Automatic Retransmission reQuest).

Le trame errate vengono ritrasmesse fino a che non si riesce a inviarle correttamente.

Le procedure per la correzione degli errori sono molto pesanti dal punto di vista della capacità di trasmissione aggiuntiva richiesta e per la necessità di implementare delle procedure di ARQ. D'altra parte, sono necessarie per mantenere un livello di qualità del servizio adeguato.



3. PROBLEMATICHE E PRESTAZIONI DEL SERVIZIO TELEFONICO NEL SISTEMA UMTS WCDMA

Nel sistema UMTS il servizio telefonico è supportato tramite una coppia di canali dedicati DCH, uno in uplink e uno in downlink. La voce è codificata mediante la tecnica *Adaptive Multi Rate* (AMR), con una velocità media tipica pari a 12.2 kbit/s. Il flusso di bit informativi a 12.2 kbit/s è protetto da un codice convoluzionale a rate pari a $1/3$.

Per quantificare le prestazioni del servizio telefonico nel sistema UMTS si deve tener conto sia della soddisfazione degli utenti, sia, dal punto di vista del gestore di telecomunicazioni, la capacità della rete (del numero, cioè, di utenti telefonici che il sistema è in grado di servire contemporaneamente), sia della copertura della cella (ovvero, della massima estensione geografica della cella).

Per il servizio voce si deve prevedere una procedura di *Connection Admission Control* (CAC) che possa decidere, al momento della richiesta di effettuare una connessione telefonica da parte di un utente, se accettarla o meno. Una procedura di Connection Admission Control è necessaria perché se si accettano indiscriminatamente utenti, si può giungere ad una situazione nella quale in una cella troppo popolata, il livello di interferenza è

FIGURA 8

Interferenza intracella e intercella captata dall'utente 1

troppo elevato e, conseguentemente, la potenza di trasmissione richiesta alla stazione base e/o ad alcuni mobili eccede il limite massimo, per cui il livello di qualità del segnale risulta inaccettabile.

Le migliori politiche di Connection Admission Control sono quelle basate sul livello di interferenza: se, al momento dell'instaurazione della connessione la stazione base determina che l'utente aggiuntivo potrebbe causare un incremento eccessivo del livello di interferenza, la connessione viene rifiutata.

Un utente telefonico può essere insoddisfatto:

- a. perché il suo tentativo di chiamata viene rifiutato dalla stazione base;

- b. perché per almeno 5 s consecutivi ha sperimentato un *Bit Error Rate* (percentuale di bit informativi errati) superiore a 10^{-3} (in queste condizioni, la connessione viene automaticamente abbattuta);

- c. perché durante la connessione telefonica ha sperimentato complessivamente, per più del 5% della durata della conversazione, un *Bit Error Rate* superiore a 10^{-3} .

Lo scopo del gestore della rete è ovviamente quello di mantenere una percentuale bassa di utenti insoddisfatti (per uno qualunque dei motivi sopra elencati) e, al contempo, ottenere una elevata capacità (grande numero di utenti serviti) e una estesa copertura (celle con ampia estensione geografica). Questi obiettivi risultano però in conflitto tra di loro e si deve perciò raggiungere un compromesso.

Nella tabella 1 [3] è riportata la corrispondenza tra capacità e copertura per il servizio telefonico su UMTS WCDMA, con una percentuale di utenti insoddisfatti pari a 1% (comunemente ritenuta soddisfacente). La tabella è stata computata tramite un simulatore del sistema UMTS sviluppato presso il Politecnico di Milano.

Dai risultati esposti nella tabella si conclude

che la capacità del sistema UMTS WCDMA relativamente al servizio telefonico diminuisce al crescere della copertura della cella e viceversa. Questo risultato è intuitivo, poiché all'aumentare del diametro della cella gli utenti più lontani si trovano in condizioni sfavorevoli e possono facilmente saturare la potenza in trasmissione. Per celle di raggio inferiore a 1 km, comunque, la capacità è elevata. Si può quindi concludere che è possibile individuare un buon compromesso tra capacità e copertura per quanto riguarda il servizio telefonico nel sistema UMTS.

4. PROBLEMATICHE E PRESTAZIONI DEL SERVIZIO DATI NEL SISTEMA UMTS WCDMA

Per quanto riguarda il servizio dati nel sistema UMTS, si considera che un utente tende nella maggior parte dei casi a scaricare più dati di quanti ne trasmette. Per questo motivo in generale si assegna ad un utente, che intende usufruire di un servizio dati, un canale DSCH condiviso in direzione downlink ed un canale dedicato DCH, di capacità più ridotta, in direzione uplink.

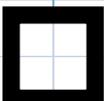
Il principale servizio dati nel sistema UMTS è l'*Unconstrained Delay Data* (UDD), un servizio dati di tipo *Best Effort*, con ritardo non garantito. Il servizio UDD è adatto per effettuare sessioni di *Web-Browsing* e, più in generale, per scaricare dati sul proprio terminale mobile. Il servizio UDD di riferimento ha una velocità media di 384 kbit/s.

All'interno di una cella, gli utenti UDD usufruiscono dello stesso canale DSCH la cui capacità deve essere ripartita in modo per quanto possibile uniforme tra gli utenti. La gestione della capacità del canale DSCH viene effettuata da un organo presente nella stazione base, lo *scheduler*. Lo scheduler esamina la quantità di dati che è in attesa di trasmissione verso ogni utente del servizio UDD e, in base a opportuni criteri che sono proprietari, cioè, non standardizzati, decide all'inizio di ogni trama quali utenti servire.

Per quanto riguarda le prestazioni del servizio UDD, il principale indice di qualità è l'*Active Session Throughput* (AST), che rappre-

TABELLA 1
Relazione tra capacità e copertura nel sistema UMTS WCDMA per il servizio telefonico

Capacità (numero di utenti attivi per cella)	Copertura (raggio della cella in km)
17	2
69	1.5
96	1
103	0.5



	10 utenti per cella	20 utenti per cella	30 utenti per cella	40 utenti per cella	50 utenti per cella	60 utenti per cella
Percentuale di utenti insoddisfatti	0.39%	0.64%	1.2%	3.2%	8%	25%

TABELLA 2
Percentuale di utenti insoddisfatti

sentata la velocità media del servizio effettivamente percepita dagli utenti. Idealmente, ogni utente dovrebbe percepire una velocità media pari a 384 kbit/s ma, non essendo questo in generale possibile, l'ETSI ha introdotto un criterio per stabilire quando un utente si dichiara soddisfatto del servizio ricevuto. In particolare, si è stabilito che un utente è soddisfatto quando la velocità media del servizio da lui percepita, cioè, l'AST, è almeno uguale al 10% della velocità media di riferimento del servizio. Per quanto riguarda il servizio UDD a 384 kbit/s, un utente è dichiarato soddisfatto quando percepisce una velocità media del servizio pari a 38,4 kbit/s. Le prestazioni del servizio UDD nel sistema UMTS WCDMA sono state valutate tramite un simulatore sviluppato presso il Politecnico di Milano. Le misurazioni riportate in seguito si riferiscono ad un sistema UMTS nel quale lo Spreading Factor del canale condiviso DSCH è pari a 4 (velocità di cifra pari a 1920 kbit/s). Il rate del codice convoluzionale è pari a $1/2$, le antenne utilizzate dalle stazioni base sono omnidirezionali e il numero di canali DSCH per ogni stazione base è pari a 1.

Nella tabella 2 [8] è riportata la percentuale di utenti insoddisfatti in funzione del numero di utenti per cella. Dai risultati riportati si conclude che è possibile ottenere una percentuale ragionevole di utenti soddisfatti (limitata cioè a pochi punti percentuali) solo quando gli utenti attivi in una cella sono meno di 30-40.

Questa prestazione del sistema UMTS per quanto riguarda il traffico dati non è insoddisfacente, ma bisogna considerare che il requisito di soddisfazione degli utenti adottato dalla ETSI è poco stringente, in quanto un utente viene dichiarato soddisfatto se sperimenta un Active Session Throughput di soli 34 kbit/s, quando la velocità nominale del servizio è pari a 384 kbit/s.

La prestazione del sistema UMTS per il traffico dati può essere migliorata, comunque, agendo in due direzioni. In primo luogo, si deve valutare l'effetto dell'adozione di canali DSCH multipli in ogni cella. In tal caso, è possibile che le prestazioni migliorino per la suddivisione del carico tra diversi canali (l'effetto negativo in questo caso sarebbe un aumento dell'interferenza). Un altro modo per migliorare le prestazioni del sistema è utilizzare antenne settoriali invece di antenne omnidirezionali, come si è ipotizzato in questo lavoro. L'obiettivo più immediato della ricerca in corso è quello di individuare l'impatto dei suddetti fattori sulle prestazioni del servizio dati su UMTS. Ci si aspetta di poter riscontrare miglioramenti significativi.

5. CONCLUSIONI

In questo lavoro si sono esporsi i principi fondamentali del sistema UMTS, descrivendo le tecniche di trasmissione a divisione di codice e la gestione dell'interferenza e della potenza in trasmissione, che è la risorsa più scarsa del sistema. Si è poi descritto come vengono allocati i canali per la realizzazione dei servizi telefonici e dati. Si è quindi effettuata l'analisi delle prestazioni del servizio telefonico e del servizio dati di tipo Web-Browsing tramite un simulatore sviluppato presso il Politecnico di Milano. I risultati mostrano che per quanto riguarda il servizio telefonico, il gestore della rete può servire un numero elevato di utenti mantenendo celle di dimensione adeguata e garantendo un soddisfacente livello di qualità del servizio. Per quanto riguarda il servizio dati di tipo Web-Browsing si è individuato come fattore di soddisfazione degli utenti la capacità realmente percepita. A seguito delle ipotesi adottate nella ricerca effettuata, si è concluso che è

possibile mantenere una percentuale di utenti dati insoddisfatti ragionevolmente bassa con un numero di utenti per cella compresi fra 30 e 40. Ci si aspetta un miglioramento significativo delle prestazioni del servizio dati su UMTS tramite l'utilizzazione di più canali DSCH per ogni cella e tramite l'adozione di antenne di tipo settoriale invece che omnidirezionali.

Bibliografia

- [1] 3GPP Technical Specification 25.211: *Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD)*. Release 1999.
- [2] Dahlman E. et al.: *WCDMA – The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications. IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47, Novembre 1998.
- [3] Giacomazzi P, Musumeci L, Verticale G: *Evaluation of Cell Coverage and Capacity for Voice Traffic Using the ETSI-3GPP QoS Model*. Proc. of CNDS 2002, San Antonio, Texas.
- [4] Holma H, Toskala A: *WCDMA for UMTS*. John Wiley & Sons, LTD, 2000.
- [5] IMT2000: www.imt2000.org
- [6] Laiho J, Wacker A, Novosad T: *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. John Wiley & Sons, LTD, 2002, ISBN 0-471-48653-1.

- [7] Prasad R, Mohr W, Konhauser W: *Third Generation Mobile Communications Systems*. Artech House Publisher, Boston-London, 2000, ISBN 1-58053-082-6.
- [8] Verticale G, Musumeci L, Giacomazzi P: *Performance of Web-Browsing Services over the WCDMA-FDD Downlink Shared Channel*. Proc. of IEEE GLOBECOM 2001, San Antonio, Texas, Nov. 25-29, 2001.

MAURIZIO DÈCINA è professore ordinario di Telecomunicazioni al Politecnico di Milano ed è direttore scientifico del CEFRIEL. I 30 anni di esperienza nelle telecomunicazioni sono stati impiegati pariteticamente nell'industria (Telecom Italia, Italtel e AT&T) e nell'accademia (Università di Roma, Politecnico di Milano). Ha scritto in italiano ed inglese vari libri e un centinaio di pubblicazioni tecniche.
e-mail: decina@cefriel.it

PAOLO GIACOMAZZI è professore associato di Telecomunicazioni presso il Politecnico di Milano. Correntemente tiene i corsi di Fondamenti di telecomunicazioni, Protocolli e infrastrutture per la rete internet e Telematica. La sua ricerca attualmente riguarda i sistemi UMTS, con particolare riferimento alla gestione della risorsa trasmissiva sull'interfaccia radio e il trasporto di traffico multimediale con qualità del servizio sulla rete Internet. È editor del IEEE Network Magazine.
e-mail: giacomaz@elet.polimi.it