



*Ministero delle Comunicazioni*



## QUALITÀ DEL SERVIZIO SU UMTS





## **Qualità del servizio su UMTS**

Il presente documento è stato realizzato da (in ordine alfabetico):

Andrea Alloisio	(Marconi S.p.a., una Società del gruppo Ericsson);
Enrico Angori	(Datamat S.p.a.);
Claudio Armani	(Selex Communications S.p.a.);
Daniele Biondini	(ISCOM - Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione);
Francesco Chirichigno	(Presidente della Fondazione Italiana Nuove Comunicazioni);
Francesco Corti	(Siemens S.p.a.);
Giovanni De Guzzis	(Ericsson Telecomunicazioni S.p.a.);
Luisa Franchina	(ISCOM - Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione);
Francesco Giuffrè	(ANIE ICT-CE);
Giuseppe Martufi	(Datamat S.p.a.);
Oreste Palmieri	(OTE S.p.a.);
Roberto Pellegrini	(Pirelli Broadband Solution S.p.a.);
Pietro Andrea Polese	(ALCATEL ITALIA S.p.a.);
Antonio Sfameli	(Ericsson Telecomunicazioni S.p.a.);
Francesco Quaglia	(Siemens S.p.a.);
Luca Zanetta	(SIRTI S.p.a.).



Copertina e Progetto Grafico  
Roberto Piraino (Graphics Lab - Istituto Superiore delle  
Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione)

---

Le opinioni e le considerazioni espresse in questo volume, nonché le proposte avanzate, sono da considerarsi come personali dei singoli partecipanti e non riflettono necessariamente la posizione dei rispettivi Enti e Società d'appartenenza.

Il contenuto del presente volume è da considerarsi unicamente come studio tecnico/scientifico orientativo delle problematiche inerenti la sicurezza delle reti e la tutela delle comunicazioni.

Pertanto nessuna responsabilità potrà essere attribuita agli autori o all'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione, che cura questa pubblicazione, per ogni eventuale conseguenza derivante da qualsivoglia utilizzo dei contenuti del presente testo.

---

Le citazioni di specifici marchi o nomi di prodotti presenti nel documento sono riportati a mero scopo esemplificativo, non esauriscono il novero di prodotti esistenti sul mercato e in nessun caso costituiscono elemento di valutazione o di raccomandazione per l'utilizzo dei prodotti stessi.

---

La presente pubblicazione è diffusa a titolo gratuito e gli autori hanno ceduto all'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione gratuitamente e a tempo indeterminato i diritti di autore.

---



## Indice

<b>1</b>	<b>Prefazione</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
	<b>Guida alla lettura</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Modello di riferimento logico</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Definizione dei parametri di qualità del servizio</b>	<b>17</b>
4.1	Supporto	18
4.1.1	<i>Gestione dei rapporti col cliente</i>	18
4.1.2	<i>Gestione ed erogazione del Servizio</i>	19
4.1.3	<i>Tassazione e Fatturazione</i>	19
4.2	Disponibilità	20
4.2.1	<i>Servizi di Accesso</i>	20
4.2.2	<i>Integrità della connessione e del servizio</i>	26
4.3	Operabilità	27
4.3.1	<i>Messa in servizio</i>	27
4.3.2	<i>Fruibilità delle interfacce Utente</i>	28
4.4	Sicurezza	28
4.4.1	<i>Sicurezza di Rete</i>	28
4.4.2	<i>Sicurezza del Servizio</i>	29
<b>5</b>	<b>Classi di servizio</b>	<b>31</b>

<b>6</b>	<b>Qualità dei servizi in tecnologia UMTS</b>	<b>35</b>
6.1	Servizio di comunicazione fonica di comunicazione: Servizi in Tempo Reale	36
6.2	Servizi di trasmissione dati: Servizi Diffusivi in Tempo Differito (Streaming)	37
6.3	Servizi di trasmissione dati: Servizi Interattivi	38
6.4	Servizi di trasmissione dati: Altri Servizi in Tempo Differito	39
6.5	Disponibilità e Sicurezza dei servizi	39
<b>7</b>	<b>Individuazione delle classi di qualità “attese”</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Strumenti di monitoraggio del Servizio percepito dall’utente</b>	<b>43</b>
8.1	Considerazioni generali	43
8.2	Misure in un sistema UMTS	47
8.3	Procedura di raccolta dati	48
8.4	Tipologie di misure	50
8.4.1	<i>Misure di Copertura</i>	50
8.4.2	<i>Misure di qualità in ottica utente</i>	52
<b>9</b>	<b>Acronimi</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>57</b>
<b>Indici delle Appendici</b>		
<b>Appendice 1:</b>	<b>Architettura delle reti UMTS</b>	<b>59</b>
<b>Appendice 2:</b>	<b>Il collegamento radio</b>	<b>63</b>
<b>Appendice 3:</b>	<b>Accessibilità: dimensionamento ed errore sul modello</b>	<b>76</b>
<b>Appendice 4:</b>	<b>Copertura/capacità di una rete micro-cellulare W-CDMA</b>	<b>84</b>
<b>Bibliografia</b>		<b>107</b>



## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### I - Prefazione

Questa pubblicazione è il naturale proseguimento dell'attività che l'ISCOM – Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione – ha intrapreso nel corso dell'anno 2004 e che ha portato alla realizzazione di tre linee guida su temi fondamentali per lo sviluppo delle reti di telecomunicazioni quali:

- La qualità dei servizi nelle reti ICT
- La sicurezza delle reti: dall'analisi del rischio alle strategie di protezione
- La sicurezza delle reti nelle infrastrutture critiche

Ormai da quasi due anni è infatti operativo, con il coordinamento dell'ISCOM, un Gruppo di Lavoro che riunisce più di 100 organizzazioni private e pubbliche, tra cui ANIE ICT- CE. Uno dei compiti principali di questo Gruppo di Lavoro è produrre delle Linee Guida su aspetti specifici riguardanti il settore ICT. Tali Linee Guida hanno lo scopo di diffondere alle PMI, alle organizzazioni private, alla PA e anche all'utente domestico, la cultura della qualità e della sicurezza ICT così come deriva dalle esperienze reali delle Organizzazioni che partecipano al Gruppo di Lavoro.

Nel 2005 e 2006 l'attività è proseguita con la redazione di cin-

que nuove Linee Guida che trattano, rispettivamente, di metodologie dell'analisi dei rischi, della certificazione della sicurezza ICT, del rapporto tra sicurezza ICT e outsourcing, di gestione delle emergenze e degli incidenti su scala locale e della qualità dei servizi focalizzata, nel volume presente, sull'analisi dei servizi erogati su reti UMTS.

In un volume parallelo, viene analizzata la qualità dei servizi erogati alle PMI su reti fisse a larga banda, indipendentemente dalle tecnologie utilizzate; l'analisi condotta si applica, pertanto, sia a tecnologie wireline (e.g. Xdsl, fibra) che a tecnologie wireless (Wifi, WiMax).

L'iniziativa è il risultato dell'azione sinergica tra Istituzioni, Industria ed Operatori nel campo dei servizi a larga banda su reti fisse e mobili.

L'Italia, infatti, in accordo con il piano di azione e-Europe, sta dando un'attenzione particolare al dispiegamento della prossima generazione di servizi on-line: in particolare, mira a stimolare un circolo virtuoso coordinato tra sviluppo delle infrastrutture e maturazione di nuovi servizi, applicazioni e contenuti in aree chiave, quali e-Government, e-Learning, e-Health ed e-Business.

La capacità delle imprese del settore ICT presenti in Italia di essere all'avanguardia nel contesto internazionale è testimoniata da molti casi di eccellenza; tra i più attuali citiamo il contributo fornito alla realizzazione delle infrastrutture di rete della televisione digitale terrestre, il contributo fornito alla realizzazione delle infrastrutture di rete mobile di terza generazione (UMTS/HSDPA).

Questi esempi indicano che l'industria del comparto ICT è pienamente in grado di supportare con successo il Sistema Paese negli investimenti orientati all'innovazione digitale che sono indispensabili all'Italia per recuperare competitività in campo internazionale.



## **2 - Introduzione**

La presente pubblicazione si inquadra in una serie di attività svolte da un gruppo di esperti volontari appartenenti al settore pubblico e privato nel 2005 e relative alla realizzazione di linee guida su:

- Gestione delle emergenze locali
- Risk analysis approfondimenti
- Qualità del servizio su UMTS
- Qualità dei servizi per le PMI su reti fisse a larga banda
- Outsourcing e sicurezza
- Certificazione della sicurezza ICT

Si coglie volentieri l'occasione per ringraziare quanti hanno, con entusiasmo e professionalità, collaborato alla redazione del presente documento:

- Andrea Alloisio (Marconi S.p.a., una Società del gruppo Ericsson); Enrico Angori (Datamat S.p.a.); Claudio Armani (Selex Communications S.p.a.); Daniele Biondini (ISCOM); Francesco Chirichigno (Presidente della Fondazione Italiana Nuove Comunicazioni); Francesco Corti (Siemens S.p.a.); Giovanni De Guzzis (Ericsson Telecomunicazioni S.p.a.); Francesco Giuffrè (ANIE ICT-CE), Giuseppe Martufi (Datamat S.p.a), Oreste Palmieri (OTE S.p.a.); Roberto Pellegrini (Pirelli Broadband Solution S.p.a.); Pietro Andrea Polese (ALCATEL ITALIA S.p.a.); Antonio Sfameli (Ericsson Telecomunicazioni S.p.a.); Francesco Quaglia (Siemens S.p.a.); Luca Zanetta (SIRTI S.p.a.).

Roma. Luglio 2006

Il Direttore  
dell'Istituto Superiore delle Comunicazioni  
e delle Tecnologie dell'Informazione

*Ing. Luisa Franchina*



## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### **Guida alla lettura**

L'ottimizzazione delle risorse radio (strategia della copertura e minimizzazione delle interferenze) ha consentito di giungere ad una penetrazione della telefonia cellulare, con il sistema GSM ormai vicina al 100% della popolazione.

Anche se negli ultimi anni il sistema GSM si è arricchito di prestazioni nuove mirate a consentire nuovi servizi, oltre alla telefonia di base che ad oggi costituisce la gran parte del traffico generato dall'utenza, alcune limitazioni tecniche intrinseche nel sistema non hanno favorito l'espansione dei servizi basati sulla trasmissione dati veloce a pacchetto altrettanto quanto si è verificato con la rete telefonica fissa che ha introdotto nuove tecniche di trasmissione veloce (xDSL e Fibra ottica) nella rete di accesso.

Per assicurare agli utenti delle reti cellulari gli stessi servizi e la stessa qualità offerti dalla rete fissa si è quindi sviluppata e adottata la tecnologia UMTS che può garantire prestazioni adeguate a supportare i servizi multimediali più esigenti, in termini di requisiti tecnici, quali video streaming, video call, video conference, web browsing, interactive games e quant'altro richiede che grandi quantità di informazione siano trasmesse e ricevute dall'utente in tempo reale.

La diffusione di questi servizi e la loro disponibilità ed uso da

parte degli utenti cellulari richiede per altro che sia disponibile una quantità di banda pro-capite di almeno un ordine di grandezza maggiore di quanto oggi reso disponibile dal sistema GSM.

Poichè la banda a radiofrequenza in concessione agli Operatori, per lo sviluppo delle reti UMTS, è di ampiezza comparabile a quella utilizzata dal GSM, sarà possibile realizzare reti UMTS che raggiungono gli obiettivi di diffusione e qualità dei servizi a larga banda solo se si adotterà, nel progettare la copertura fornita dalla rete di accesso UMTS, una strategia diversa da quella fino ad ora usata per il GSM.

La strategia della copertura basata sulle microcelle, che è stata già adottata anche per il GSM nelle aree a più densa e alta richiesta di traffico, si presenta come una delle soluzioni perseguibili in tempi brevi per ottenere, ad opportune condizioni, un notevole aumento dell'efficienza spettrale e assicurare così la capacità necessaria per sostenere la penetrazione a più alto livello dell'uso dei servizi multimediali a banda larga che tanto favore hanno già incontrato ove disponibili tramite le reti fisse.

In un'area densamente popolata come quella, ad esempio, di Milano si ha oggi una richiesta di traffico GSM che richiede all'Operatore che ha un "Market Share" pari a circa il 45% degli utenti, circa 250 siti per essere soddisfatta. Dato che l'area di Milano presa in considerazione è di circa 150 Km<sup>2</sup> (area nel cerchio in Fig.1.1), ne deriva un raggio di cella medio pari a circa 400 metri. Nella Fig.1.1 l'area di Milano è stata caratterizzata in tre parti:

- Il centro cittadino entro la circonvallazione urbana (circa 41 Km<sup>2</sup>);
- L'area urbanizzata di Milano, approssimata dalla circonferenza (circa 150 Km<sup>2</sup>);
- L'area entro la "Tangenziale" (circa 285 Km<sup>2</sup>).



*Fig. 1.1: Mappa della città di Milano*

Nella Fig.1.1 l'area di Milano è stata caratterizzata in tre parti:

- Il centro cittadino entro la circonvallazione urbana (circa 41 Km<sup>2</sup>);
- L'area urbanizzata di Milano, approssimata dalla circonferenza (circa 150 Km<sup>2</sup>);
- L'area entro la "Tangenziale" (circa 285 Km<sup>2</sup>).

Nel centro cittadino la situazione dell'Operatore che ha il 45% di mercato è come segue:

Abitanti a Milano centro=		2200000		di cui 1500000 residenti e 700000 pendolari			
Area di Milano centro = Km <sup>2</sup>	41						
minuti di impegno		0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
traffico per utente mErl		0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035
popolazione/Km <sup>2</sup>	53658,54	penetrazione totale cellulari =		90%			
utenti totali / Km <sup>2</sup>	48292,68						
Penetrazione dell'operatore	45%						
utenti per Km <sup>2</sup>		ut tot	traffico offerto per Km <sup>2</sup>				
	21731,71	891000,00	217,32	325,98	434,63	543,29	651,95
Capacità disponibile con GSM							
Traffico per cliente = 90 sec nell'ora di punta							
Max 8 portanti per cella con half rate se superato il 70% di occupazione delle portanti							
canali GSM per cella	% di Half rate	canali half rate	totale canali x cella		totale canali per sito		Erl al 2%
	58	20	23,2		69,6		194
							160
Senza Half rate 174 canali cioè							
Totale traffico nell'area	N° di siti necessari	Area di sito	Raggio del sito	distanza tra i siti			
22275	114,8195876	0,3570819	0,337224495	0,584072825 con uso di Half Rate			
22275	139,21875	0,2945006	0,30625151	0,530427616 senza uso di Half Rate			

Il traffico offerto è al 97% di sola fonia e corrisponde per il GSM a circa 13 Kbit (netti) per secondo per utente servito, circa 188 \* 13 Kbit per secondo per sito (2,5 Mbit/sec), ovvero circa 139 x 2,5 Mbit/sec nell'area totale.

Un incremento del traffico dati che lo porti al 30% del totale, senza che si riduca il traffico di fonia, significherebbe dover smaltire un traffico di 139 x (2,5+1,1) Mbit/sec. Poichè la capacità di sito non può essere aumentata occorre incrementare il numero di siti di una quantità pari a  $139 \times 1,1/2,5 = 61$  per un totale di 200 siti nell'area. In questo caso la nuova dimensione delle aree di sito sarà di  $41/200 = 0,205$  Km<sup>2</sup> con un raggio di copertura di circa 250 metri.

In Fig 1.2 si è ipotizzata la capacità di circa 200 Erlang equivalenti per sito UMTS (cioè 2,5Mbit per sec), capacità attualmente assicurata dai siti GSM nelle zone ad alta densità di traffico.

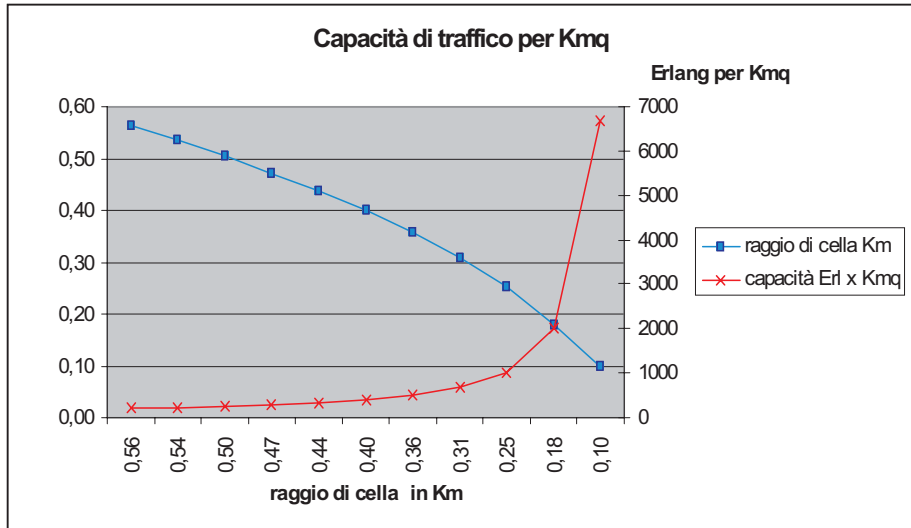


Fig. 1.2: Capacità di traffico per Km<sup>2</sup>

Il sistema UMTS intrinsecamente prevede il riuso della stessa banda RF in ciascuna stazione radio e risolve così una delle limitazioni (disturbo da interferenza) più stringenti caratteristiche dei sistemi 2G, perchè si può realizzare la copertura con celle molto piccole e tra loro vicine.

L'architettura di sistema (Appendice 1), che prevede le prestazioni di handover gestite direttamente all'interno delle stazioni radio e della rete di accesso in modo continuo (Soft-Handover e Softer-Handover) e non discreto come nel GSM, facilita il mantenimento della connessione anche se una pluralità di celle sovrappongono le loro coperture.

Le peculiari caratteristiche del canale radio UMTS e le sue modalità di accesso e gestione della comunicazione (Appendice 2) rendono possibili nuove soluzioni di ingegnerizzazione della rete di accesso.

I risultati delle analisi delle caratteristiche della modulazione e codifica delle trasmissioni dati ad alta velocità sviluppati dall'ISCOM mostrano come siano differenti i requisiti di rapporto Segnale / Rumore (o del rapporto Segnale Utile / Interferenza) a seconda della banda necessaria per la voluta qualità del servizio.

E infine il confronto delle prestazioni ottenibile tra le due strategie di realizzazione della copertura radio della rete di accesso è ampiamente illustrato nell'Appendice 4.

In particolare in quest'ultima appendice si dimostra che la copertura microcellulare è una possibile soluzione che consente di controllare efficacemente la propagazione del segnale utile e di quelli interferenti perché si possono usare effetti di propagazione (Appendice 2) che permettono di "ritagliare" i confini delle aree di servizio delle diverse celle e minimizzare le potenze trasmesse mantenendo il livello del segnale radio in aria ben al di sotto dei valori raggiunti nelle reti dei sistemi 2G.

In conclusione quindi, per i sistemi cellulari che utilizzano la rete di accesso radio come una risorsa condivisa tra una moltitudine di utenti, la qualità del servizio dipende quasi esclusivamente dall'efficienza spettrale che si riesce ad ottenere progettando e ottimizzando la copertura radioelettrica per il massimo riuso dello spettro disponibile così da assicurare ad ogni utente l'ampiezza di banda attesa.



## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

### 3 - Modello di riferimento logico

In questo capitolo viene definito un modello di riferimento logico, per effettuare le rilevazioni necessarie alla individuazione della qualità percepita dall'utente finale di una rete UMTS (Figura 3.1)..



Figura 3.1 – Modello di riferimento logico per connessioni a larga banda

#### Esemplificazione per connessione UMTS:

**MS:** terminale mobile

**Accesso:** Comprende BTS-BSC e RNC

**CCI (Centro di Controllo e Instradamento):**  
comprende MSC/SGSN

**Dorsale 1:** comprende la dorsale tra il CCI e il CID

**CID (Centro Inter Dominio):** Centro di  
Commutazione Transito (CN-CSN/PSN)

**Dorsale 2:** comprende la dorsale tra il CID di  
livello nazionale e il suo corrispondente all'esterno  
dell'operatore (GMSC/GGSN)

Tale modello consente di "mappare" le funzioni di una rete di telecomunicazioni realizzate da diversi attori (ad es. operatori di rete, fornitori di servizio, fornitori di contenuto) e identificare punti necessari per la misura della qualità del servizio, utilizzando anche i parametri descritti nei capitoli seguenti.

Tale Modello di Riferimento Logico identifica i blocchi logici funzionali che compongono l'infrastruttura di telecomunicazioni attraverso la quale i Fornitori di Servizi (FdS) erogano i servizi; i blocchi logici funzionali sono separati da punti di riferimento (PdR).

Gli utilizzatori dei servizi (utenti) sono connessi all'infrastruttura al PdR (A) e dispongono di terminali e sistemi d'utente (MS) che realizzano le funzioni locali necessarie alla ricezione, distribuzione locale, trattamento e fruizione dei servizi.

I Fornitori di Servizi possono erogare servizi al Punto di Riferimento (C) oppure (E).

Il PdR (C) si trova a valle del Blocco Funzionale Centro di Controllo e Instradamento (CCI) in cui termina l'accesso al servizio.

Al fine di poter misurare in modo consistente la qualità del servizio rivestono particolare importanza il PdR (E), la Dorsale 2 e il PdR (F), i quali permettono la interconnessione tra 2 operatori (mediante GMSC) o di un operatore di rete con un ISP mediante il GGSN (per servizi 'internet-based'); il PdR (C), la Dorsale 1 e il PdR (D) permettono talvolta la interconnessione tra 2 operatori attraverso SGSN e opportuni media-gateway per servizi dati.

Il Blocco Funzionale Accesso comprende tutte le funzioni necessarie per collegare il Fornitore di Servizi con l'Utilizzatore comprese le funzioni di concentrazione multiplazione, instradamento e trasmissione (ad esempio la dorsale metropolitana ed eventualmente anche dorsali a lunga distanza).

La Qualità del Servizio erogato dal FdS considerato può essere misurata, in linea di principio, tra i punti (A) e (C) e tra i punti (A) ed (E). Nel primo caso si misura la Qualità dei servizi erogati dal FdS

direttamente dal suo centro servizi collegato a livello del PdR (C); nel secondo caso si misura l'accesso a servizi offerti direttamente o indirettamente da altri FdS, esterni, nazionali o esteri attraverso il primo FdS. Nel caso di FdS con più centri servizi o con architetture diversificate, potranno essere identificati ulteriori PdR (C) ed (E) da considerare.





## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### **4 - Definizione dei parametri di qualità del servizio**

In questo capitolo si individuano i parametri principali attraverso i quali è possibile misurare la qualità di una rete nell'erogazione di uno o più servizi.

L'utente percepisce la qualità dei servizi offerti dal gestore di telecomunicazioni nelle seguenti quattro macro-aree:

**Supporto:** Abilità di un'organizzazione di assistere l'utente nell'uso di un servizio;

**Disponibilità:** Capacità di un servizio di essere fruito quando richiesto e per tutta la sua durata;

**Operabilità:** Fruibilità delle interfacce utente e la semplicità con cui è possibile attivare ed utilizzare il servizio e le relative applicazioni;

**Sicurezza:** Insieme di problematiche legate all'autenticazione, all'affidabilità ed alla riservatezza delle informazioni trasmesse.

## 4.1 Supporto

L'abilità di un'organizzazione di assistere il cliente nell'utilizzo di uno o più servizi si valuta attraverso la misurazione di tre processi:

- Gestione dei rapporti coi clienti
- Gestione ed erogazione del servizio
- Tassazione e fatturazione

Nei seguenti paragrafi sono riportate per ognuna di queste aree, la lista e la definizione dei parametri da misurare.

### 4.1.1 Gestione dei rapporti col cliente

La qualità del processo di Customer Relationship Management viene misurata attraverso i seguenti parametri.

Parametri:

**Orario di copertura:** orario in cui il servizio CRM è disponibile all'utente finale.

**Tempo di risposta:** tempo intercorrente tra la richiesta di accesso al servizio di supporto e l'attivazione del servizio di supporto.

**Tempo di latenza:** tempo intercorrente tra la richiesta di accesso al servizio di supporto e l'assunzione del problema.

**Tempo di intervento:** tempo intercorrente tra l'apertura del ticket e l'intervento per una prima diagnosi con le previsioni di ripristino.

**Tempo di ripristino:** tempo intercorrente tra l'apertura del ticket ed il ripristino del servizio.

**Disponibilità del servizio:** valore percentuale di funzionamento del sistema rispetto all'orario di copertura.

**Gestione delle priorità nelle richieste di intervento:** accettazione di code gestionali con tempi di risposta per classe di priorità.

**Tracciabilità delle richieste dell'utente:** possibilità di mantenere “la storia” delle richieste dell'utente.

#### 4.1.2 Gestione ed erogazione del Servizio

La qualità del processo di Provisioning e Management viene misurata attraverso i seguenti parametri:

Parametri:

**Tasso d'errore nella raccolta dei dati utente:** probabilità di errore nell'acquisizione dei dati utente.

**Trasparenza e tracciabilità del contratto e del profilo tariffario:** capacità del servizio di rendere visibile il profilo tariffario scelto.

**Modifica del contratto, dei dati di utente e del profilo tariffario:** capacità del servizio di permettere all'utente la scelta e l'applicazione di un nuovo profilo tariffario.

**Tasso d'errore nella profilazione tariffaria:** probabilità di errore nella corretta profilazione utente per il piano tariffario e servizi sottoscritti.

#### 4.1.3 Tassazione e Fatturazione

La qualità del processo di Tassazione e fatturazione viene misurata attraverso i seguenti parametri.

Parametri:

**Tasso di sovratassazione:** probabilità di tassare tentativi di fruizione del servizio o di tassarlo in modo errato.

**Tasso di sottotassazione:** probabilità di non tassare tempestivamente la fruizione del servizio (con rischio di successivo conguaglio).

**Tasso di integrità dei dati di fatturazione:** probabilità che le informazioni presentate nella fatturazione riportino correttamente i dati utente e i servizi fruiti e/o sottoscritti.

## 4.2 Disponibilità

La capacità di fornire un servizio per tutta la sua durata si valuta accedendo alla misurazione di due processi:

- Servizi di Accesso;
- Integrità della connessione e del servizio.

Nei seguenti paragrafi sono riportate per ognuna di queste aree, la lista e la definizione dei parametri da misurare.

### 4.2.1 Servizi di Accesso

La qualità del processo viene misurata attraverso i seguenti parametri.

#### Parametri

**Tasso di accesso al servizio:** probabilità di accedere al servizio quando richiesto dall'utente. La probabilità di accedere al servizio in una rete radiomobile è determinata da due fattori:

- L'intensità e continuità della copertura radio
- La disponibilità delle risorse (canali o banda) necessarie per supportare il servizio richiesto dall'utente

La copertura radio è determinata dalla dislocazione delle stazioni radio, dalla potenza trasmessa e dal rumore ambiente che si somma al segnale utile e perviene all'ingresso del ricevitore. Il rumore ambiente è la somma di segnali RF dovuti a sorgenti diverse; i segnali

possono essere residui parzialmente soppressi di generatori di segnali elettromagnetici oppure segnali generati dal sistema stesso in altre locazioni deputate a servire altre celle in altre zone geografiche.

I risultati dei test effettuati dall'ISCOM evidenziano che esistono dei rapporti minimi tra segnale utile e potenza di interferenza o rumore che devono essere soddisfatti se si vuole che la qualità della comunicazione radio sia adeguata. Infatti, al fine di studiare i requisiti della rete di accesso necessari per consentire la sua realizzazione nelle modalità ottimali e nel rispetto delle vigenti leggi relative alla salvaguardia dell'ambiente, l'ISCOM ha proceduto a verificare in laboratorio, gli effetti della propagazione in diverse condizioni di interferenza e fading.

In particolare si è focalizzata l'attenzione sulle soluzioni ingegneristiche di rete che prevedono l'impiego di basse potenze in trasmissione e l'estensione della copertura radioelettrica con livelli di campo il più possibile omogenei e contenuti in una fascia di intensità di segnale (Volt per metro) il più possibile ridotta e al di sotto delle limitazioni imposte dall'attuale legislazione.

Scopo dello studio è stato quello di consolidare i requisiti degli apparati e i valori dei parametri necessari a modellizzare la propagazione in ambienti densamente popolati al fine di assicurare una corretta previsione delle aree di servizio e quindi una corretta progettazione della rete di accesso radio per UMTS.

Per questo esperimento si è provveduto a realizzare un banco di prove strutturato come in fig. 4.1.

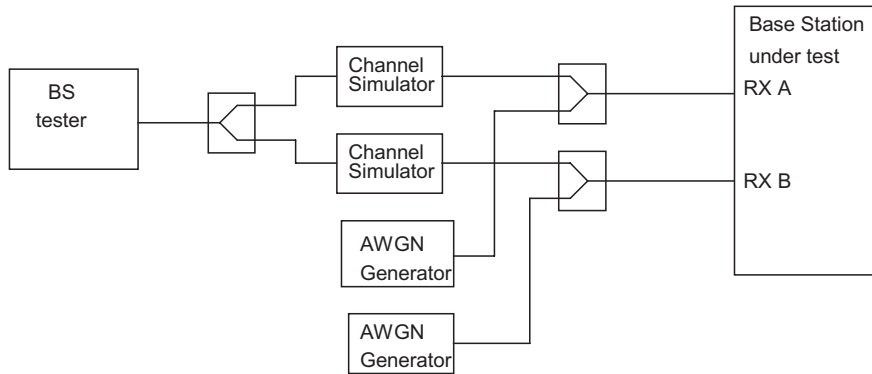


Fig. 4.1: Banco di Prove

In particolare la strumentazione adoperata ha visto l'utilizzo dei seguenti componenti:

Base Station Tester: CMU300 R&S-S.M.C.

Channel Simulator: Fading Emulator Multipath 2500  
NOISE/COM

AWGN Generator: TAS 5600 SPIRENT

Sono state prese come riferimento le raccomandazioni 3GPP per le celle "medium range" e di altri enti di riferimento internazionale per le comunicazioni radioelettriche al fine di assicurare alle misure effettuate la più ampia rispondenza alle raccomandazioni inerenti gli standard attuali

I risultati ottenuti in laboratorio portano a concludere che per i sistemi del tipo W-CDMA e quindi anche UMTS, l'omogeneità e la qualità del servizio a banda larga richiede livelli minimi di rapporto Utile/Interferente abbastanza elevati e precisi, livelli che si possono raggiungere solo se l'allocazione delle stazioni radio è progettata con attenzione ai suddetti requisiti. Il risultato raggiunto in laboratorio, incoraggia lo sviluppo, nelle opportune condizioni topografiche di reti microcellulari, Si è dimostrato infatti, come d'altra parte è facilmente intuibile (Fig.4.2) che la densità di stazioni radio per unità di superficie

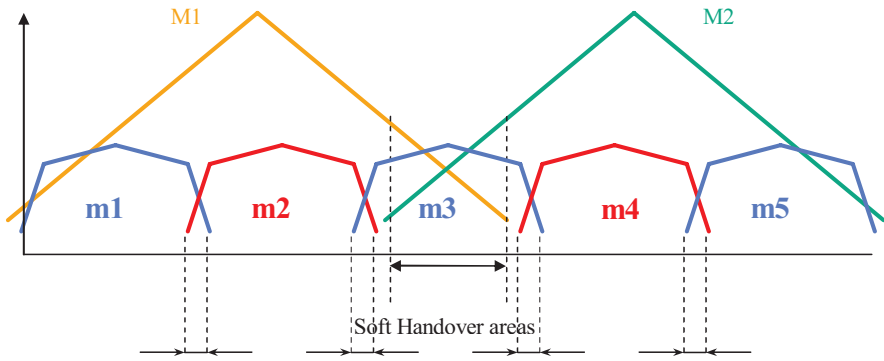


Fig.4.2

Copertura con macro o micro celle  
Andamento del campo elettromagnetico (concettuale)

è la chiave di soluzione per assicurare la qualità del servizio.

Ridurre la superficie dell'area di servizio di ogni singola stazione e quindi ridurre la potenza emessa, e avvicinare le stazioni porta a risultati, in termini di quantità di banda disponibile all'utenza e uniformità della qualità della copertura radio, che non possono essere raggiunti utilizzando stazioni radio dislocate con i criteri mediamente validi per i sistemi delle precedenti generazioni (TACS, GSM).

La disponibilità di risorse riguarda invece l'ampiezza della banda disponibile nell'area servita; nei sistemi radiomobili la banda per km<sup>2</sup> (che poi è la banda disponibile agli utenti che si trovano in quell'area) dipende dal numero di stazioni radio che servono l'area e dal numero di canali che ogni stazione può mettere a disposizione dell'utenza. In generale, essendo limitata la banda RF utilizzabile da un qualsiasi sistema radiomobile, la copertura viene realizzata riutilizzando le stesse frequenze in diverse stazioni e la conseguente mutua interferenza viene prevista e limitata in sede di progettazione della rete (cioè in sede di definizione del numero di siti, della loro potenza e allocazione sul territorio). All'appendice 4 sono riportate alcune considerazioni pertinenti alla progettazione della rete di accesso radio.

**Tempo di ritardo d'accesso al servizio:** tempo intercorrente tra la richiesta di accesso effettivo al servizio specifico richiesto in quel momento dall'utente e l'accesso allo stesso (es. accesso ad Internet; accesso alla posta elettronica; accesso ad un portale per video-on-demand).

Nei sistemi radiomobili la rete radio di accesso costituisce in generale una funzione di concentratore del traffico e quindi si possono rilevare tempi di attesa o successivi tentativi di accesso dovuti alla momentanea congestione delle risorse (già tutte utilizzate da altri utenti) oppure dovute a fallimenti della connessione radio per intensità di segnale radio insufficiente. Effettuato l'accesso radio i successivi ritardi nell'attivazione del servizio richiesto possono essere dovuti solo alla ristrettezza delle risorse disponibili nell'infrastruttura fissa (Core Network, backbone di trasporto, server eroganti il servizio richiesto).

I ritardi di seconda specie sono tutti misurabili ed analizzabili con strumenti e metodologie già definiti per le reti fisse.

**Tasso di copertura:** probabilità di usufruire di un segnale di accesso alla rete. La probabilità di ricevere il segnale di accesso alla rete (canale Pilota) nelle reti UMTS può essere garanzia di collegamento possibile (fatta salva la disponibilità di canali di traffico), ma data la sua natura non è garanzia di possibilità di poter usufruire di tutti i servizi resi disponibili dall'Operatore. Specie nella situazione attuale, dove la copertura ha livello sufficiente solo per garantire la continuità (tra le aree servite dai diversi siti) dei servizi a bassa velocità di trasmissione, si possono trovare aree dove i servizi a più alta velocità di trasmissione non sono fruibili per le condizioni insufficienti della potenza del segnale ricevuto e del rapporto utile/interferente che ne risulta.

Il tasso di copertura si dovrebbe quindi misurare considerando non solo l'estensione geografica generica, ma anche l'intensità del segnale disponibile, o per meglio dire, per ogni servizio, caratterizzato dalla necessità di una specifica velocità di trasmissione dati, occorre definire la percentuale di area utilizzabile rispetto all'area dove invece il servizio di telefonia normale è accessibile.

Con il sistema UMTS si ha poi un effetto di variazione dell'estensione della copertura radioelettrica dovuto alla condivisione tra gli utenti della medesima risorsa "Potenza disponibile" relativa alla

portante RF.

In pratica tanto più grande è il numero di chiamate in corso tanto minore è la distanza (raggio di cella) in cui il servizio è accessibile. Ne deriva che il dimensionamento della rete di accesso, in termini di capacità di traffico o di numero di utenti serviti, è tanto più corretto quanto più è esatto il modello di traffico. Il modello di traffico a sua volta non è più così semplice da costruire come è stato per la telefonia classica; infatti non si tratta più di rendere un solo tipo di servizio caratterizzato da una sola ampiezza di banda (risorsa fisica consumata) e dalla durata di occupazione continua della risorsa. Nel sistema UMTS i servizi disponibili sono diversi e ciascuno caratterizzato in modo diverso, per cui l'occupazione di risorse è il risultato del mix tra i diversi servizi. Per avere il modello completo corretto occorre quindi avere il modello di traffico per ogni servizio e il modello del mix.

E' evidente che per quanto possano essere precisi i modelli singoli, il risultato dell'insieme ha un'approssimazione alla realtà molto grande e quindi la probabilità di "congestione" che indica la probabilità (o la % di tempo) per cui la rete di accesso è saturata non è più solo un numero ma l'insieme di diverse probabilità (ciascuna relativa ad una "famiglia" di servizi) tra loro interdipendenti.

Per esemplificare in prima approssimazione questo problema si è fatta un'analisi teorica i cui risultati sono riportati all'appendice 3) "Dimensionamento per la capacità di traffico"

**Velocità media (Upstream / Downstream):** velocità di cifra (bit/s) media fornita dalla rete per la fruizione del servizio (rilevante sia per l'accesso alla rete che per la fruizione del servizio). La velocità media resa possibile dalla rete di accesso nel sistema UMTS è funzione di 2 fattori:

- la velocità minima effettivamente necessaria al servizio;
- il tasso d'errore a cui è soggetto il collegamento.

La velocità media effettiva è quella depurata dalle ripetizioni di trasmissione necessarie a correggere eventuali errori rilevati nella trasmissione precedente degli stessi dati.

**Ritardo medio di accesso:** tempo di attesa tra il primo tentativo di chiamata e l'istante in cui il servizio risulta attivo per l'utente.

## 4.2.2 Integrità della connessione e del servizio

La qualità dell'integrità della connessione e del servizio viene misurata attraverso i seguenti parametri.

### Parametri

**Tasso di continuità di connessione (Call Drop):** probabilità che una chiamata/connessione sia interrotta senza il volere dell'utente. Questo parametro assume per le reti radiomobili un valore che dipende dalla copertura radioelettrica e dalla disponibilità di risorse (non si possono fare handover verso una stazione radio che ha già tutte le risorse impegnate). Inoltre se la copertura non è adeguata a supportare con continuità tutti i servizi, il valore target del parametro, dichiarato dall'operatore, può variare da servizio a servizio e per le diverse aree geografiche.

**Tasso di continuità del servizio (Session Drop):** probabilità che un servizio, una volta ottenuto, sia interrotto senza il volere dell'utente. Questo parametro, è complementare del precedente e misura la probabilità che nonostante sia attiva la connessione radio per l'accesso, si abbia una discontinuità del servizio imputabile a cause che risiedono nell'infrastruttura fissa. Può dunque essere misurato con gli stessi strumenti e criteri già definiti per i servizi forniti tramite la rete fissa.

**Ritardo di trasmissione:** tempo intercorrente tra l'invio e la ricezione del pacchetto (metà del Round trip delay). La misura di questo parametro è statisticamente significativa della qualità della connessione in quanto, per sua natura, la connessione tra utente e sorgente del servizio è variabile in funzione dell'adeguamento del collegamento radio (passaggio da una stazione radio all'altra degli utenti in movimento).

**Continuità della connessione di rete e del servizio (Jitter):** variazione massima del ritardo medio dei pacchetti. Questo parametro può essere misurato sull'apparato d'utente o meglio sul canale radio per eliminare possibili differenze, tra gli apparati terminali, nella ricezione ed elaborazione dei pacchetti.

Particolare importanza riveste la variazione del ritardo medio del sincronismo tra Audio e Video (sincronismo delle parole ascoltate

via audio con il movimento delle labbra del parlatore). In ogni caso detto ritardo non deve superare i 100ms (secondo lo standard 3GPP).

**Perdita o errore di informazione (FER o % di pacchetti persi):** nella valutazione della qualità di un collegamento dati, specie se realizzato tramite collegamento radio, è di fondamentale importanza la rilevazione del tasso d'errore riscontrato in ricezione. Il tasso d'errore può essere espresso in termini di rapporto tra il numero di trame ricevute e contenenti errore rispetto al totale delle trame ricevute in un dato intervallo di tempo (Frame Error Rate) oppure come numero di pacchetti dati persi rispetto al numero di pacchetti dati trasmessi.

### 4.3 Operabilità

La qualità sulla fruibilità delle interfacce utente si valuta attraverso la misurazione di due aree:

- Messa in servizio
- Fruibilità delle interfacce Utente.

Nei seguenti paragrafi sono riportate per ognuno dei processi, la lista e la definizione dei parametri da misurare.

#### 4.3.1 Messa in servizio

La qualità della messa in servizio è misurata attraverso i seguenti parametri:

- Tempi di attivazione;
- Tempo che intercorre dalla firma del contratto alla fruizione del servizio;
- Disponibilità di supporto multilingua.

### 4.3.2 Fruibilità delle interfacce Utente

La qualità della fruibilità delle interfacce utente è misurata attraverso i seguenti parametri:

**Tasso di ambiguità sul servizio richiesto:** probabilità di fraintendimento nel tentativo d'invocazione del servizio.

**Tasso di ambiguità nella percezione:** probabilità di fraintendimento nel tentativo d'utilizzo del servizio.

**Tasso di abbandono del servizio:** probabilità d'interruzione involontaria del tentativo d'uso del servizio.

## 4.4 Sicurezza

Viene valutata attraverso la misurazione di due processi:

- Sicurezza di Rete;
- Sicurezza del Servizio.

Nei seguenti paragrafi sono riportate per ognuna di questi processi, la lista e la definizione dei parametri da misurare.

### 4.4.1 Sicurezza di Rete

La qualità della sicurezza di rete è misurata attraverso i seguenti parametri.

Parametri:

**Autenticazione della rete:** livello di affidabilità offerta dalla rete nella identificazione univoca del network provider.

**Vulnerabilità del punto di accesso:** capacità del fornitore del servizio di identificare attacchi esterni, di qualunque natura, ai dispositivi di accesso della rete.

**Integrità e confidenzialità delle informazioni:** garanzia relativa all'alterazione ed alla intercettazione dei dati sensibili nell'accesso alla rete.

**Tasso di non ripudio (livello di rete):** probabilità d'errore nella tracciabilità univoca della transazione nell'accesso alla rete.

**Tasso di instradamento:** probabilità d'instradamento erroneo del servizio.

#### 4.4.2 Sicurezza del Servizio

La qualità della sicurezza del servizio è misurata attraverso i seguenti parametri.

**Autenticazione del servizio:** livello di affidabilità offerta dall'organizzazione nella identificazione univoca del service provider.

**Integrità e confidenzialità delle informazioni (livello servizio):** garanzia relativa all'alterazione ed alla intercettazione dei dati sensibili nell'accesso al servizio.

**Tasso di non ripudio (livello servizio):** probabilità d'errore nella tracciabilità univoca della transazione nell'accesso al servizio.





## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### 5 - Classi di servizio

In questo capitolo si definiscono le classi di servizio da considerare nella definizione e nel rilevamento della qualità del servizio per l'utente. In particolare, sono state identificate quattro classi di servizio:

- Servizi in Tempo Reale;
- Servizi diffusivi in Tempo Differito;
- Servizi Interattivi;
- Altri Servizi in Tempo Differito

A queste quattro classi di servizi possono essere associate, in maniera univoca, ogni tipo di servizio presente fornito attraverso la rete di telecomunicazioni opportuna. In tabella 5.1, definita nella Raccomandazione 3GPP TR22.25 V3.1.0, sono riportate le quattro classi di servizio con associata una lista di possibili servizi.

	Servizi in Tempo Reale	Servizi diffusivi in Tempo Differito	Servizi Interattivi	Altri Servizi in Tempo Differito
Ritardo di ricezione	< 1sec.	<10sec	<= 1sec	> 10sec
Compatibili con errori in ricezione	Voce Videotelefono	Audio streaming Video on demand	Messagistica vocale	Fax
Non compatibili con errori in ricezione	Gaming interattivo in tempo reale comunicazione Telemetria bidirezionale Telnet	Traferimento files Fermo immagine Telemetria	Transazioni on-line (E-commerce) Navigazione internet Dati Posta elettronica Gaming interattivo non in tempo reale	Servizi a bassa priorità (es. SMS) Posta elettronica (server-to-server)

Tabella 5.1 esempi di classi di servizio

In tabella 5.2 si riporta il grado di importanza dei parametri per le aree di supporto ed operabilità, così come descritte nel capitolo 2. I valori numerici di tali parametri sono indipendenti dalla tecnologia

		Servizi in Tempo Reale	Servizi diffusivi in Tempo Dif.	Servizi Interattivi	Altri Servizi in Tempo Dif	
Supporto	CRM	Orario di copertura	***	***	***	***
		Tempo di risposta	***	***	***	***
		Tempo di latenza	***	***	***	*
		Tempo di intervento	***	***	***	**
		Tempo di ripristino	***	**	***	**
		Disponibilità del servizio	**	**	**	**
		Gestione delle priorità del ticket intervento	***	**	***	*
	Tracciabilità delle richieste dell'utente	***	***	***	**	
	Provisioning	Tasso di errore nella raccolta dati di utente	***	***	***	*
		Trasparenza e tracciabilità del contratto e del profilo tariffario	*	*	*	*
		Modifica del contratto, dei dati di utente e del profilo tariffario	**	**	**	**
		Tasso di errore nella profilazione tariffaria	***	***	***	*
	Charging & Billing	Sovratassazione	***	***	***	*
		Sottotassazione	***	***	***	*
		Integrità dei dati di fatturazione	**	**	**	**
Operabilità	Messa in servizio	Tempi di attivazione	***	**	***	**
		Supporto multilingua	***	**	***	*
	Frutibilità delle interfacce utente	Ambiguità sul servizio richiesto	***	**	***	*
		Ambiguità nella percezione	***	**	***	*
		Abbandono del servizio	***	***	***	*

Tabella 5.2: importanza dei parametri relativi al supporto ed all'operabilità

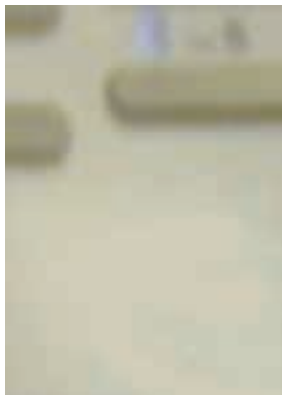
- \* Poco importante  
 \*\* Importante  
 \*\*\* Molto importante

In tabella 5.3 si riporta il grado di importanza dei parametri per le aree di disponibilità e sicurezza, così come descritte nel capitolo 2. I valori numerici associati a tali parametri sono dipendenti dal tipo di tecnologia considerata e sono descritti nel capitolo quarto per quanto riguarda la tecnologia UMTS.

		Servizi in Tempo Reale	Servizi diffusivi in Tempo Differito	Servizi Interattivi	Altri Servizi in Tempo Differito
Disponibilità	Probabilità di accesso	***	***	***	***
	Tempo di ritardo di accesso al servizio	***	**	**	*
	Copertura	***	***	***	***
	Velocità media (kbps)	***	**	**	*
	Ritardo media di accesso (ms)	***	**	**	*
	Call drop	***	**	***	*
	Session drop	***	***	**	**
	Ritardo di trasmissione (ms)	***	**	*	*
	Jitter (ms)	***	***	***	*
	Perdita o errore di informazione (FER)	***	***	***	**
Sicurezza	Autenticazione	***	***	***	***
	Vulnerabilità del punto di accesso	***	***	***	***
	Integrità e confidenzialità delle informazioni	***	***	***	***
	Non ripudio	***	***	***	***
	Instradamento	***	***	***	***

Tabella 5.3: importanza dei parametri relativi a disponibilità e sicurezza

- \* Poco importante
- \*\* Importante
- \*\*\* Molto importante



## **6 - Qualità dei servizi in tecnologia UMTS**

Per i servizi resi accessibili tramite la rete UMTS la qualità in ottica utente viene misurata secondo le tabelle seguenti:

in tabella 6.1, 6.2. e 6.3 (Raccomandazione 3GPP TR22.25 V3.1.0) sono riportati i valori di soglia che i parametri misurati devono soddisfare nelle ore di maggior traffico.

Vengono inoltre assunti come ancora validi i requisiti di Disponibilità dei servizi e di Sicurezza definiti per i sistemi GSM: come riportati in tabella 6.5.

## 6.1 Servizio di comunicazione fonica di comunicazione: Servizi in Tempo Reale

Servizio	Applicazione	Grado di simmetria	Velocità di trasmissione	Parametri significativi e valori target		
<i>Nota 1: Si considera che il ritardo tipico in ciascuna direzione introdotto dalla rete mobile (accesso e parte fissa) sia circa 100 ms</i>				Ritardo End-to-end per ogni direzione	Variazione del ritardo durante la connessione	Perdita o errore di informazione
Audio	Conversazione	Bidirezionale	4-25 kb/s	<150 msec ottimale <400 msec limite max (Nota 1)	< 1 msec	< 3% FER
Video	Videochiamata	Bidirezionale	32-384 kb/s	< 150 msec ottimale <400 msec limite max Video-synch : < 100 msec		< 1% FER
Dati	Controlli di telemetria bidirezionali	Bidirezionale	<28.8 kb/s	< 250 msec	N.A	Zero
Dati	Giochi interattivi	Bidirezionale	< 1 KB	< 250 msec	N.A	Zero
Dati	Telnet	Bidirezionale (asimmetrica)	< 1 KB	< 250 msec	N.A	Zero

Tab. 6.1: QoS attesa dall'utente - Servizio di fonia e di tipo "Tempo reale"

## 6.2 Servizi di trasmissione dati: Servizi Diffusivi in Tempo Differito (Streaming)

Servizio	Applicazione	Grado di simmetria	Velocità di trasmissione	Parametri significativi e valori target		
				Ritardo di avvio del servizio	Variazione del ritardo durante la connessione	Perdita di pacchetto dati nella sessione-re di informazione
Audio	Fonia, musica e fonia, musica con qualità media o alta	Mono- direzionale	5-128 kb/s	< 10 sec	< 2sec	< 1%
Video	Film, Videoclips, sorveglianza, real-time video	Mono- direzionale	20-384 kb/s	< 10 sec	< 2sec	< 2%
Dati	Masse di dati in Trasmissione e ricezione	Mono- direzionale	< 384 kb/s	< 10 sec	N.A	Zero
Dati	Immagini fisse	Mono- direzionale	< 100kb/s	< 10 sec	N.A	Zero

Tab. 6.2 : Qualità attesa dall'utente per Servizi di tipo Streaming

### 6.3 Servizi di trasmissione dati: Servizi Interattivi

Servizio	Applicazione	Grado di simmetria	Velocità di trasmissione	Parametri significativi e valori target		
				Ritardo End-to-end	Variazione del ritardo durante la connessione	Perdita o errore di informazione
Audio	Messaggi vocali	Mono- direzionale	4-13 kb/s	< 1 sec for playback < 2 sec for record	< 1 msec	< 3% FER
Dati	Web-browsing - HTML	Mono- direzionale	10kb/s	< 4 sec /page	N.A	Zero
Dati	Transazioni commerciali -e.g. Commercio elettronico, ATM	Bidirezionale	10kb/s	< 4 sec	N.A	Zero
Dati	E-mail (accesso a sever)	Mono- direzionale	10kb/s	< 4 sec	N.A	Zero

Tab. 6.3 : Qualità attesa dall'utente per i Servizi Interattivi

## 6.4 Servizi di trasmissione dati: Altri Servizi in Tempo Differito

Servizio	Applicazione	Grado di simmetria	Velocità di trasmissione	Parametri significativi e valori target		
				Ritardo End-to-end	Variazione del ritardo durante la connessione	Perdita o errore di informazione
Audio	Messaggi vocali	Mono- direzionale				
Dati	Web-browsing - HTML	Mono- direzionale				
Dati	Transazioni commerciali —e.g. Commercio elettronico, ATM	Bidirezionale				
Dati	E-mail (accesso a sever)	Mono- direzionale				

Tab. 6.4 : Qualità attesa dall'utente per i Servizi in Tempo Differito

## 6.5 Disponibilità e Sicurezza dei servizi

Valori e concetti esposti nella Raccomandazione 3GPP si possono riportare nella tabella 6.4 attribuendo ai parametri, corrispondenti alle voci di cui si è già definita l'importanza in Tabella 5.3, i valori corrispettivi dei livelli di qualità : eccellente, buona, accettabile

	Servizi in Tempo Reale	Servizi diffusivi in Tempo Differito (Streaming)	Servizi Interattivi	Altri Servizi in Tempo Differito (Background)	
Disponibilità	Probabilità di accesso alla rete	> 0,98 , 0,95 , 0,9	> 0,98 , 0,95 , 0,9	> 0,98 , 0,95 , 0,9	> 0,98 , 0,95 , 0,9
	Tempo di ritardo di accesso al servizio (sec.)	< 2 , 10 , 20	< 2 , 10 , 20	< 2 , 10 , 20	< 2 , 10 , 20
	Copertura (% Area)	> 98 , 90 , 75	> 98 , 90 , 75	> 98 , 90 , 75	> 98 , 90 , 75
	Call drop (kbps)	< 1 , 2 , 4	< 1 , 2 , 4	< 1 , 2 , 4	< 1 , 2 , 4
	Ritardo medio di accesso al servizio (ms)	<50 , 150 , 300	<250, 500 ,1000	N.A.	N.A.
	Session drop	< 0,1 , 1 , 10	< 0,1 , 1 , 10	< 0,1 , 1 , 10	< 0,1 , 1 , 10
	Velocità media (kbps)	Audio: > 4, 16, 25 Video: >32,128,384 Dati <28.8	Audio: > 5,32,128 Video: >20,128,384 Dati: >28.8, 128,384	Audio: >4,13,25	N.A
	Ritardo di trasmissione (ms)	Audio: < 150, 250, 400 Video: < 150, 250, 400 Dati: < 150, 400, 1s	Audio: < 500, 1s,10s Video: < 500, 1s,10s Dati: <500, 2s, 10s	Audio: 00, 1s, 2s Web page: <0.5s, 2s, 4s Dati: 1s, 4s,10s	N.A. N.A. Dati:<30s(FAX, SMS)
	Jitter (ms)	Audio : < 1, 20, 50 Video: < 1, 50,100 Dati: N.A.	Audio: <1, 20, 50 Video <1, 50, 100 Dati: N.A	Audio <1, 20, 50 Video: N.A Dati: N.A	N.A
Perdita o errore di informazione (FER)	Audio : <1%,3%,5% Video :< 0,1%,1%, 2% Dati : 0%	Audio <1%, 3%, 5% Video: <0,1%,1%, 2% Dati: 0%	Audio: <1%, 3%, 5% Video: N.A. . Dati: 0%	Audio: N.A. Video: N.A. Dati: 0% .	
Sicurezza	Autenticazione	Si	Si	Si	Si
	Vulnerabilità del punto di accesso	99%	99%	99%	99%
	Integrità e confidenzialità delle informazioni	Encryption	N.A	Encryption	Encryption
	Non ripudio	0,01 , 0,1 , 1%	0,01 , 0,1 , 1%	0,01 , 0,1 , 1%	0,01 , 0,1 , 1%

Tabella 6.5 : Livelli di Disponibilità e Sicurezza attesi dagli Utenti nelle ore di maggior traffico



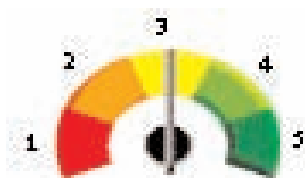
## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### **7 - Individuazione delle classi di qualità "attese"**

Questo capitolo identifica un metodo atto a dare una valutazione oggettiva, numerica e sintetica della qualità di un particolare servizio offerto. La procedura tiene conto delle classi di servizio introdotte al capitolo 5 e i relativi gradi di importanza (parametro tecnico essenziale identificato con \*\*\*, parametro tecnico importante identificato con \*\*, parametro tecnico poco importante identificato con \*). Inoltre si tiene conto dei valori soglia dei parametri di qualità introdotti al capitolo 6 (misure eccellenti, misure buone, misure accettabili).

Per ogni classe di servizio si determina un indice compreso tra il valore di un punto (qualità accettabile) e il valore di cinque punti (qualità ottima)



secondo la tabella seguente:

	Parametri Molto Importanti	Parametri Importanti	Parametri Poco Importanti
Indice di Qualità 5	95% eccellente 5% buono	100% buono	
Indice di Qualità 4	70% eccellente 30% buono	70% buono 30% accettabile	
Indice di Qualità 3	50% eccellente 50% buono	70% buono 30% accettabile	
Indice di Qualità 2	95% buono 5% accettabile	100% accettabile	
Indice di Qualità 1	80% buono 20% accettabile	100% accettabile	

*Tabella 7.1 Indici di qualità del prodotto*

Ad esempio, quindi, l'offerta di un operatore avrà un indice di qualità 5 (massimo) nel caso in cui il 95% dei parametri ritenuti molto importanti, per servizio di riferimento scelto dall'utente finale, risultano avere valore "eccellente" secondo i valori soglia; il 5% dei medesimi parametri risulta essere almeno "buono" così come il 100% dei parametri considerati importanti per quel tipo di servizio.



## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### **8 - Strumenti di monitoraggio del Servizio percepito dall'utente**

#### **8.1 Considerazioni generali**

La larga diffusione dei servizi di comunicazione personali mobili di seconda generazione (voce, SMS, WAP) con elevati standard di qualità ha generato nell'utenza aspettative di qualità sempre crescenti relativamente a tutti i nuovi sistemi di comunicazione attualmente in fase di lancio (UMTS in particolare). Sulla base di questa considerazione nasce l'esigenza per ogni nuovo sistema di comunicazione personale di soddisfare, e se possibile incrementare, sin dalla introduzione sul mercato i parametri (ed i relativi livelli) di qualità dei sistemi già in uso.

Inoltre la fruibilità dei servizi dal lato utente non dovrebbe presentare limitazioni geografiche o temporali legate all'utilizzo di una determinata tecnologia. Questo, ovviamente, non é possibile in modo completo e con lo stesso livello di qualità, ma la continuità di un pacchetto di servizi di base (ad esempio voce, SMS, MMS, FTP, Web browsing) deve essere garantita e trasparente all'utenza, indipendentemente dalla tecnologia utilizzata. Sulla base di questa esigenza sono stati introdotti sul mercato terminali mobili multi-modo (GSM/GPRS/EDGE/UMTS), che possono funzionare su reti di telecomunicazioni mobili caratterizzate da tecnologie differenti in maniera completamente trasparente all'utenza finale. Questo però comporta la cura di tutti gli aspetti che garantiscono il perfetto interlavoro tra le reticoesistenti.

Le reti di comunicazione radiomobili in tecnologie GSM e UMTS presentano molte analogie e un approccio architetturale simile. Nonostante questo l'idea di utilizzare lo stesso approccio per entram-

be le tecnologie (sulla base dell'esperienza fatta sulle reti di 2° generazione) per quanto concerne la pianificazione e l'ottimizzazione di rete è sicuramente fuorviante e può portare a conclusioni errate.

Il sistema UMTS presenta notevoli differenze rispetto al GSM per quanto concerne la struttura dell'interfaccia radio e la politica di gestione di accesso ai servizi.

Per quanto riguarda l'interfaccia radio le principali differenze sono da ricercarsi nel rapporto tra copertura, traffico e condizioni interferenziali. Infatti nel sistema UMTS FDD tutte le celle presenti in una data area trasmettono e ricevono sulla stessa banda di frequenza e vengono identificate sulla base di codici non ortogonali.

La non ortogonalità dei codici fa sì che ci sia mutua interferenza fra le celle che quindi devono essere opportunamente controllate in sede di pianificazione e ottimizzazione. Inoltre, non potendo utilizzare come per i sistemi GSM la pianificazione delle frequenze quale grado di libertà per la gestione di scavalchi di copertura ed eccessiva sovrapposizione delle celle, per i sistemi di tecnologia UMTS è essenziale ai fini di una buona qualità di servizio porre particolare attenzione e cura nella definizione di:

- Aree di sovrapposizione fra le celle (ottimizzazione della pianificazione di copertura della rete).
- Frammentazione dell'area di copertura di ogni singola cella.
- Pilot pollution.
- Definizione delle celle adiacenti per soft handover ma soprattutto per handover verso sistemi di 2° generazione o altre frequenze UMTS.

Al tempo stesso all'interno di una cella i vari utenti sono discriminati attraverso l'utilizzo di codici ortogonali che, in linea di principio, dovrebbero eliminare la mutua interferenza fra gli utenti. Considerando però la natura del canale radio caratterizzato da una miriade di cammini multipli, nonché dall'impossibilità da parte dei ricevitori di recuperare tutti i contributi dati dal multipath, appare evidente come l'ortogonalità tra i codici di utente non sia totale.

Questo fenomeno, descritto in letteratura per mezzo del fattore di non ortogonalità, dà origine ad una interferenza mutua tra gli utenti aventi servizio all'interno di una stessa cella. E' quindi chiaro come il traffico, descritto in termini di utenti connessi alla stessa cella,

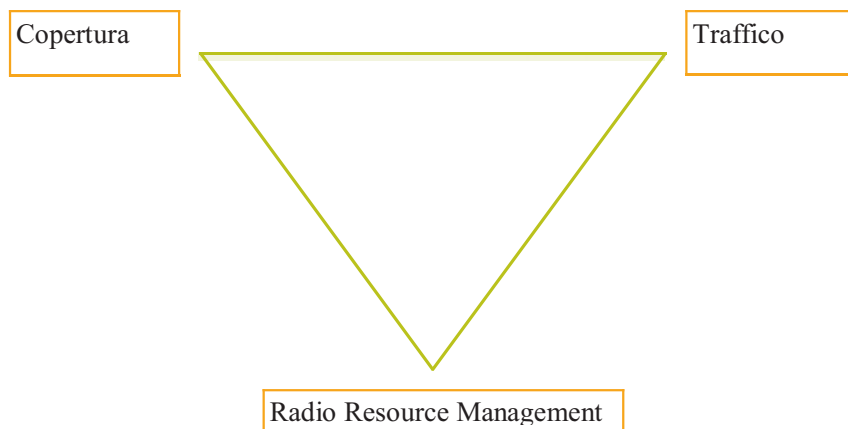
abbia un forte impatto sulle condizioni interferenziali e quindi, in ultima analisi, sulla qualità del servizio di una rete di 3° generazione.

Dal punto di vista dell'accesso ai servizi il sistema UMTS (di tipo soft block) consente, rispetto alle tecnologie 2G, una maggiore flessibilità e adattabilità alle condizioni istantanee del traffico offerto. A questa flessibilità fa però da controaltare una maggiore complessità dal punto di vista degli algoritmi utilizzati per la gestione delle risorse radio.

Inoltre, rispetto al caso GSM, per molti algoritmi (ad esempio quelli relativi al soft handover e cell selection and reselection) non è possibile adottare una configurazione dell'algoritmo stesso indipendentemente dalle condizioni radio ma, al contrario, i parametri possono essere modificati soltanto in un ristretto intorno del punto di lavoro fissato dalle condizioni radio.

Considerata l'evidente interdipendenza tra condizioni radio, traffico offerto alla rete e algoritmi di gestione delle risorse radio, nonché l'aspettativa degli utenti UMTS di una qualità di servizio delle reti 3G uguale se non addirittura maggiore rispetto alle prestazioni delle reti di 2° generazione, appare evidente come il comune approccio all'ottimizzazione di rete basato sulla filosofia di tentativi reiterati non sia il più efficiente, efficace e di interesse per gli operatori di telecomunicazione.

Nasce quindi l'esigenza di poter disporre di strumenti di analisi e ottimizzazione più evoluti che possano prendere in considerazione le interazioni tra le "grandezze fondamentali" caratterizzanti la QoS e la loro permanenza nel tempo.



*Tabella 8.1 Misure*

I nuovi strumenti di analisi e ottimizzazione dovrebbero consentire la simulazione dell'impatto di ogni possibile cambio di una delle grandezze caratteristiche di una rete 3G sulle prestazioni di rete.

Data l'inevitabile incertezza che caratterizza le previsioni di copertura, tali simulazioni dovrebbero essere preferibilmente basate su di un insieme di misure reali, raccolte in campo, rappresentative delle condizioni generali della rete cellulare di 3° generazione in corso di analisi e ottimizzazione.

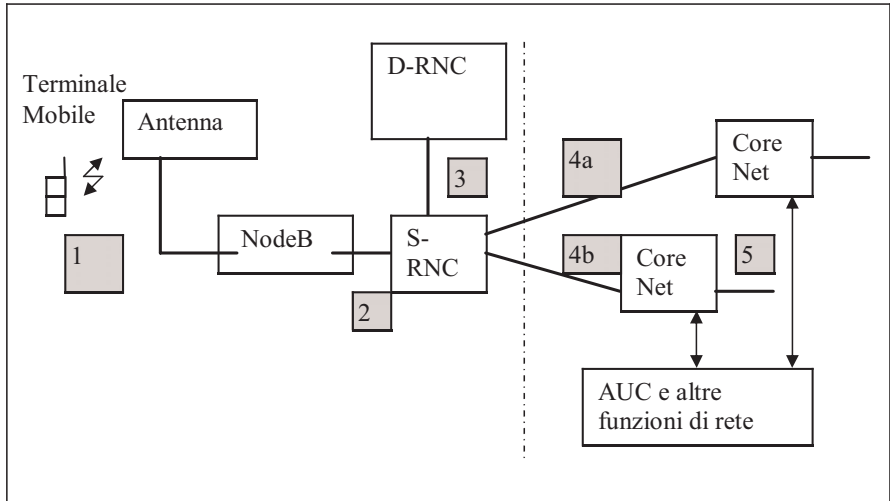


Fig 8.2 misure in un sistema UMTS

## 8.2 Misure in un sistema UMTS

Considerando l'architettura semplificata di sistema riportata in figura 8.2, indicante i possibili punti di misura in una rete UMTS (numerati da 1 a 5) è possibile identificare una prima classificazione delle modalità di misura ed analisi della qualità in ottica utente dei servizi offerti da una rete UMTS:

### *Modalità non intrusive per l'operatore*

In questa classe ricadono sicuramente le misure di qualità effettuate sull'interfaccia radio (interfaccia Uu, indicata in figura col punto 1), le informazioni raccolte tramite tracciamenti interni di macchina (RNC, NodeB, MSC ecc.) per ogni elemento di rete, oppure i tracciamenti IMSI attivabili tramite il software di controllo presso il centro di O&M.

*Modalità intrusive per l'operatore*

In questa classe ricadono le misure di qualità effettuate su tutte le rimanenti interfacce (punti da 2 a 5 in figura) ad esempio tramite l'utilizzo di analizzatori di protocollo: è possibile in questo modo raccogliere informazioni sia sullo user plane che sul control plane, in entrambe le direzioni di comunicazione (Uplink e Downlink).

Le misure di tipo non intrusivo, molto semplici da realizzare, forniscono indicazioni sulla qualità percepita dall'utente e, non sono esaustive per quanto concerne sia la qualità percepita da un secondo utente coinvolto nella comunicazione, sia per quanto concerne l'identificazione delle cause che sono alla base di eventuali degradazioni della qualità stessa del servizio. Al contrario i metodi di misura intrusivi, se abbinati e sincronizzati con quelli non intrusivi, forniscono una panoramica completa dello stato della qualità di rete, consentendo al tempo stesso una approfondita analisi End-to-End.

Concentrandosi sulle misure non intrusive, si impongono alcune considerazioni di carattere generale che hanno un impatto sulla modalità di raccolta nonché sulla tipologia della strumentazione necessaria delle misure.

### **8.3 Procedura di raccolta dati**

A differenza di quanto accade nella tecnologia GSM, nel sistema UMTS tutte le celle che coprono una determinata area geografica trasmettono sulla stessa portante a radiofrequenza avente una larghezza di banda lorda pari 5 MHz. L'identità delle diverse celle è poi determinata attraverso correlazioni matematiche su codici non ortogonali.

L'elevata potenza di calcolo oggi disponibile ha reso possibile la realizzazione di strumenti compatti, chiamati genericamente PN Scanners, in grado di decodificare su base temporale e geografica le celle serventi un'area, identificandone contemporaneamente sia il livello di potenza ricevuto, sia il rapporto segnale/rumore a larga banda del canale pilota (rispettivamente RSCP ed  $E_c/I_0$  del canale P-CPICH).



*Fig 8.3: foto di un banco di misura UMTS, rappresentante Scanner e telefoni di test collegati ad un PC*

La non ortogonalità dei codici non consente però, nel processo di decodifica e misura delle grandezze caratteristiche di una cella, una cancellazione completa dell'interferenza di fondo provocata da tutti i segnali trasmessi dalle altre celle presenti nella stessa area.

Questa peculiarità rende indispensabile una definizione precisa ed accurata dell'area di copertura della singola cella, che non deve essere eccessivamente sovrapposta alle altre e, possibilmente, non deve essere molto irregolare. Nel sistema GSM invece questi aspetti, assai meno rilevanti poiché le diverse celle di un'area utilizzano portanti differenti, sono risolti per mezzo della definizione di un adeguato piano frequenze. Da questa premessa si evince che le misure di copertura in una rete UMTS rivestono un ruolo di primaria importanza per garantire la qualità finale. Per tale motivo, si rende opportuna una metodologia di esecuzione delle misure e analisi dei dati che, oltre a impiegare uno o più telefoni di test (ovvero terminali abilitati ad effettuare misure), utilizza soprattutto un PN Scanner per ottenere una caratterizzazione completa ed accurata dell'ambiente radio e di tutti gli aspetti peculiari della tecnologia UMTS, impiegando tra l'altro speciali simulazioni per stimare l'impatto del traffico. Tale metodologia è già stata applicata con successo anche in altri Paesi europei.

Passando a descrivere con maggior dettaglio la procedura di raccolta dei dati, si può dire che le misure provenienti dal PN scanner e dai telefoni di test sono raccolte mediante un software che, oltre a provvedere al tracciamento, consente la loro combinazione su base temporale, nonché la correlazione con la corrispondente posizione geografica (rilevata tramite GPS o sistemi di georeferenziazione equivalenti). I dati sono normalmente raccolti in sessioni di misura in movimento (drive test) e con più terminali in parallelo in modo tale da monitorare contemporaneamente più servizi. In casi particolari, i software di gestione dello scanner e dei telefoni utilizzati per i drive test vengono sincronizzati utilizzando il tempo rilevato dal GPS, in modo da poter essere posti in relazione con i tracciamenti raccolti nella rete tramite i sistemi di misura intrusivi (es. analizzatori di protocollo) o non intrusivi (es. tracciamento IMSI o Cell trace). In questo modo tutte le fonti di informazione possono essere “allineate”, ottenendo così una panoramica completa in ottica End-to-End.

## **8.4 Tipologie di misure**

Come accennato in precedenza e a differenza di quanto accade nel sistema GSM, in una rete UMTS è indispensabile uno studio accurato delle aree di copertura delle singole celle, della loro sovrapposizione e frammentazione, nonché poter stimare l'impatto del traffico sulla copertura stessa. Vista l'importanza di questa tipologia di misure ad esse verrà esplicitamente dedicata la prossima sezione.

### **8.4.1 Misure di Copertura**

In questa classe rientrano le misure effettuate sul canale pilota (P-CPICH) e alcune elaborazioni successive:

- P-CPICH RSCP (livello)
- P-CPICH Ec/Io (rapporto segnale interferenza a larga banda)
- Indice di Pilot-Pollution
- Indice di copertura irregolare
- Variazione della copertura ipotizzando diversi modelli di traffico (Load Simulation)



Fig 8.4: esempio di studio di una copertura UMTS



Fig 8.5: indice di Pilot Pollution

## 8.4.2 Misure di qualità in ottica utente

Questa classe di misure è ottenuta tramite l'utilizzo di terminali mobili di test e viene classificata in due categorie: misure comuni a tutti i servizi e misure dipendenti dal tipo di servizio. Infatti, a seconda che si stia analizzando una chiamata voce o video, oppure una connessione in streaming (audio o video), le grandezze caratteristiche atte a misurare la qualità del servizio percepita dall'utente variano sensibilmente.

### Misure comuni

- Call Setup Success Rate
- Call Setup Time (MTF, FTM, MTM)
- Potenza trasmessa dal terminale mobile (indicatore relativo al consumo di risorse da parte del mobile)
- SIR, SIR Target, TPC history (indicatori relativi al corretto funzionamento del Power Control ed alla condizione radio a banda stretta)
- BLER (Block Error Rate, indicativo dello stato di qualità della connessione – lato controllo)
- Active Set Size e composizione Active Set (indicatori relativi allo stato del Soft-Handover e del consumo totale di risorse)

### Misure dipendenti dal servizio

- Connessioni a circuito (CS – Circuit Switched)
- MOS Voce (Mean Opinion Score, indicatore standard della qualità della voce in ottica utente)
- MOS Video (indicatore della qualità del video in ottica utente, a sua volta interpretabile in termini di Blur, Blockiness, Jerkiness – non ancora standardizzato)
- Tempo di interruzione della voce durante un Hard Handover (interfrequenza UMTS, Intersistema)
- Connessioni a pacchetto (PS – Packet Switched)
- PDP Context Activation Success Rate
- PDP Context Activation Time
- Session Drops
- Jitter

- Round Trip Time, Round Trip Delay
- Throughput (Uplink and Downlink)
- SMS, MMS Delivery Time

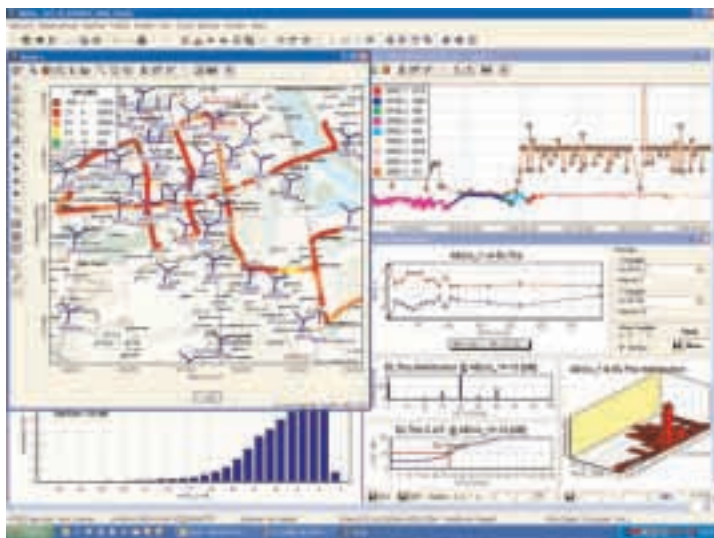


Fig 8.6: analisi dei parametri di un servizio PS





## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

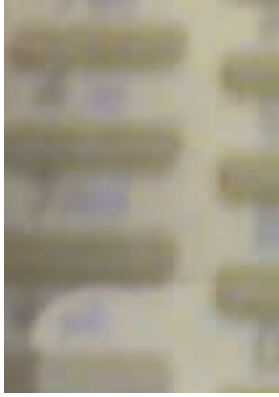
---

### 9 - Acronimi ed abbreviazioni

<b>Abbreviazione</b>	<b>Descrizione</b>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
AUC	<i>Authentication Center</i>
BRAS	<i>Broadband Remote Access Server</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Transceiver System</i>
C/I	<i>Carrier to Interference Ratio</i>
CP	<i>Content Provider</i>
CCI	<i>Centro di Controllo e Instradamento</i>
CN-CSN	<i>Core Network - Circuit Switched Network</i>
CN-PSN	<i>Core Network</i>
CID	<i>Centro Interdominio</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
DNS	<i>Domain Name System/Service</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
FdS	<i>Fornitore di Servizio</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
FR	<i>Frame Relay</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
FR	<i>Full Rate</i>

---

FR	<i>Full Rate</i>
GMSC	<i>Gateway Mobile Switching Center</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HTTP	<i>HyperText Transport Protocol</i>
HTTPS	<i>HyperText Transport Secure Protocol</i>
IMEI	<i>International Mobile Station Equipment Identity</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
MSU	<i>Mobile Station User</i>
MTU	<i>Mobile Test Unit</i>
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MTU	<i>Maximum Transmission [Transfer] Unit</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PdR	<i>Punti di Riferimento</i>
PESQ	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality</i>
QOS	<i>Quality of Service</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SMS	<i>Service Management System</i>
SQI	<i>Speech Quality Index</i>
SW	<i>Software</i>
TE	<i>Telecom Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VLR	<i>Visited Location Register</i>
VOIP	<i>Voice Over IP</i>
xDSL	<i>All the different DSL technologies</i>
Wi-Max	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>



## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### **Conclusioni**

L'ultimo biennio ha visto un'ulteriore crescita dei collegamenti a larga banda e la conferma della dimensione del fenomeno mobile con l'avvio delle reti di terza generazione.

Lo sviluppo delle infrastrutture può essere stimolato da esigenze di ricerca della qualità nei servizi, in modo particolare, attivando opportune sinergie tra il mondo delle comunicazioni mobili e quello delle comunicazioni fisse.

In tale scenario, soprattutto per le piccole e medie imprese, la crescente accessibilità alle soluzioni a larga banda rappresenta oggi uno degli elementi chiave per lo sviluppo di nuovi modelli di business e per la crescita della propria competitività.

In quest'ottica sono da inquadrare i benefici del processo di liberalizzazione del mercato delle Telecomunicazioni che ha favorito e favorisce, attraverso la competizione dell'offerta, il progresso tecnologico e commerciale, incentivando l'ideazione di servizi sempre più mirati a soddisfare la richiesta dell'Utenza al prezzo più competitivo possibile.

Al fine di salvaguardare questo principio, è indispensabile che si definiscano gli strumenti per misurare la qualità dei servizi offerti.

La costituzione di una metodologia - oggetto di questa pubblicazione - è sicuramente un passo in avanti nella direzione di assicurare che gli obiettivi della "deregulation" producano l'atteso arricchimento in termini di qualità, fornendo ai clienti stessi, prima di effettuare l'acquisto, una chiave di interpretazione della qualità dei servizi offerti dai gestori.

Questo "libro bianco", crediamo, fornisca utili spunti di riflessione in tale direzione ed, insieme, individui gli strumenti da utilizzare per raggiungere l'obiettivo prefissato, vale a dire la qualità come indice e strumento per la crescita delle infrastrutture e della trasparenza nelle caratteristiche dell'offerta verso il cliente finale .



## Appendici

### APPENDICE 1 Architettura delle reti UMTS

L'architettura delle reti UMTS è presentata in fig 1 ; L'intero sistema può essere diviso in due parti principali: la rete di accesso radio (UTRAN) e l'infrastruttura di commutazione e routing (Core Network).

Dell'infrastruttura di commutazione e routing si richiamano qui di seguito le principali caratteristiche che non pur essendo sostanzialmente diverse da quelle delle reti 2G ne rappresentano però l'evoluzione verso un 'architettura del tipo "sistema aperto" con l'orientamento sempre più evidente di favorire l'inserimento nel sistema di piattaforme di tipo informatico a commutazione di pacchetto e a comandi distribuiti per la gestione specifica dei servizi di cui gli utenti mobili possono fruire.

Poiché la parte caratteristica delle comunicazioni mobili e dell'innovazione apportata da UMTS è la rete di accesso radio (UTRAN), questo documento sarà successivamente dedicato sostanzialmente ad analizzare le condizioni per cui le prestazioni della rete di accesso saranno compatibili con la possibile ed attesa qualità di servizio necessaria a fare dell'UMTS un sistema di successo per utenti e Operatori.

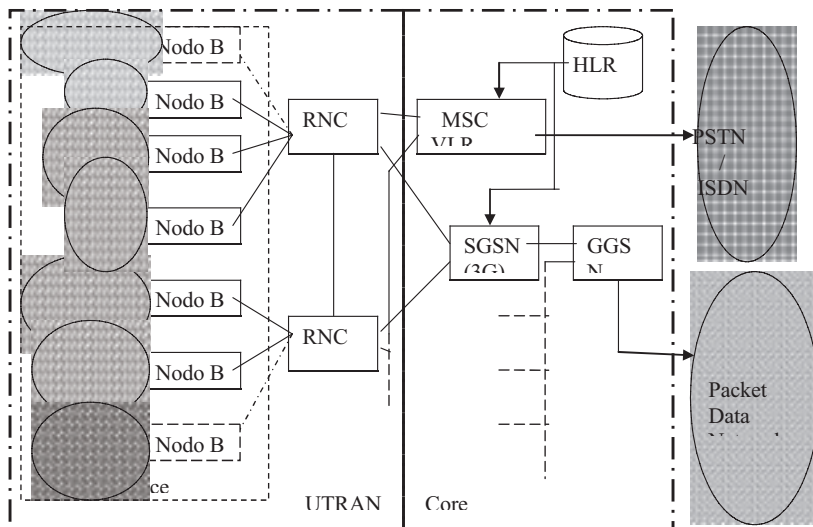


Fig. 1

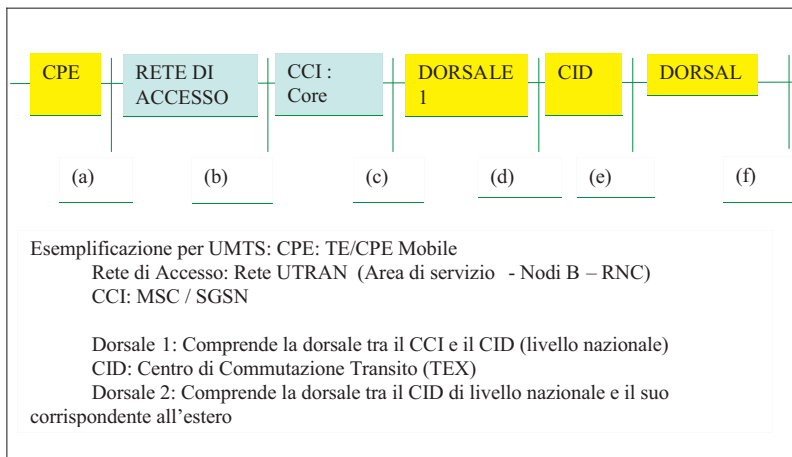
### A1.1 Infrastruttura di commutazione e routine

Nella figura 1 si riconoscono alcune parti di infrastruttura già presenti nel sistema 2G e sono principalmente le parti o funzioni destinate a supportare i servizi di base cioè fonia e dati a banda stretta le cui connessioni sono basate sulla commutazione di circuito. Sono anche riconoscibili le funzioni di servizio HLR e VLR che consentono l'autenticazione degli utenti che richiedono l'accesso in rete e gli instradamenti verso le aree dove l'utente mobile si trova di volta in volta a transitare o risiedere per qualche tempo. La parte di infrastruttura che supporta invece i servizi a banda larga è l'evoluzione degli apparati SGSN e GGSN già presenti nelle reti GSM e dedicati alla gestione delle connessioni a pacchetto tipo IP.

Per queste apparecchiature, dal punto di vista della qualità della rete, sono importanti le prestazioni in termini di capacità e disponibilità al servizio. La loro funzione è simile a quella dei router

che fanno a front end con gli utenti ADSL almeno nel senso che governano le risorse assegnabili agli utenti e interfacciano tramite la rete PDN altri router o server che producono i servizi richiesti dagli utenti. Il contributo che queste apparecchiature danno alla qualità della rete sta nella loro adeguatezza a smaltire il traffico richiesto dagli utenti, e nella correttezza del loro modo di operare per quanto riguarda la tariffazione del traffico o dei servizi erogati.

Le metodologie adatte per verificare prestazioni e qualità dei servizi erogati, almeno per quel che riguarda questa parte di infrastruttura di rete sono già state illustrate nei capitoli aventi lo stesso soggetto, della pubblicazione: “La qualità dei servizi nelle reti ICT”



In particolare il sezionamento (a) corrisponde al collegamento radio, il sezionamento (b) corrisponde al link tra RNC (Radio Network Controller) e la core network, il sezionamento (c) corrisponde ai link tra Core network e PSTN / ISDN per i servizi a banda stretta e commutazione di circuito, e al link a pacchetto tra GGSN o comunque all'uscita a pacchetto da Core Network verso una rete tipo IP che consente di accedere a Internet ed a tutti i siti ad essa collegati. L'accesso a pacchetto potrebbe avvenire anche su una PDN privata dell'Operatore per facilitare e gestire al meglio alcuni servizi specifici per l'utenza mobile che l'Operatore realizza in

proprio (per esempio “localizzazione” ed erogazione di informazioni locali coerenti con la posizione geografica dell’utente).

In ogni caso anche per i servizi basati su infrastrutture allestite e gestite dagli Operatori Mobili, i criteri definiti nel libro precedente possono essere applicati con validità anche alle infrastrutture che rendono disponibili i suddetti servizi agli utenti UMTS.

### **A 1.2 La rete di accesso radio**

La rete di accesso radio è fisicamente costituita da un certo numero di ricetrasmittitori fissi (detti Nodi B nel sistema UMTS) collocati in opportune posizioni geografiche atte ad assicurare la presenza (con opportuno livello di potenza) del segnale trasmesso in un’area predefinita. I ricetrasmittitori sono tutti collegati a dispositivi (detti RNC) in cui si svolgono le principali funzioni di gestione dei collegamenti radio e fisici per la massimizzazione della qualità del servizio richiesto dall’utente:

- Assegnazione delle risorse agli utenti.
- Scelta della stazione radio da cui assegnare la risorsa all’utente (in generale detta “canale”)
- Scambiare con l’apparato d’utente e il ricetrasmittitore le segnalazioni di servizio che consentono l’uso delle risorse radio.
- Gestire verso MSC e SGSN le segnalazioni che consentono l’uso delle risorse di collegamento terrestri e l’adeguamento del canale di comunicazione complessivo ai requisiti che caratterizzano il servizio.

L’area dove il segnale ha valori di potenza utili per consentire il collegamento radio con adeguata qualità è detta “area di servizio” ed il numero di risorse di connessione presenti nell’area è vincolan-

te nella definizione della “capacità di traffico” disponibile per gli utenti.

I canali radio disponibili sono infatti in generale molti di meno degli utenti presenti nell’area ed il loro numero è definito in sede di progetto della rete di accesso in base a considerazioni statistiche che tengono conto del numero di utenti che si presume di dover servire e della probabilità d’uso dei canali da parte degli utenti. Per usare un gergo telefonico, la rete di accesso radio è uno “stadio concentratore” che non può servire contemporaneamente tutti gli utenti dell’area, ma può essere “dimensionato” in modo da ridurre ad un valore “piccolo a piacere” la probabilità che tutte le risorse siano contemporaneamente impegnate (stato di “congestione”) per un intervallo di tempo sufficientemente lungo per creare disagio agli utenti che desiderano il servizio ma non possono averlo perché le risorse sono già impegnate.

A differenza dei sistemi di connessione radio progettati per l’utenza fissa (sistemi tipo WLL e sistemi per reti private), i sistemi cellulari radiomobili devono essere capaci di sopportare variazioni, anche significative, della densità di utenza nelle diverse parti dell’area di servizio. La mobilità dell’utenza porta come conseguenza una certa aleatorietà nella capacità richiesta in momenti e luoghi diversi. La qualità del servizio offerto non può quindi essere “stabile nel tempo e nello spazio” a meno di sostenere maggiori costi per “sovradimensionare” l’infrastruttura che mette a disposizione i canali radio cioè la rete di accesso.

## **APPENDICE 2 - Il collegamento radio**

### **A 2.1 Fondamenti di comunicazione radio per telefonia mobile.**

Il principio fondamentale su cui si basano le comunicazioni radio consiste nell’utilizzare le onde radio come mezzo trasmissivo; poiché queste ultime sono basate sui campi elettromagnetici le loro caratteristiche sono strettamente dipendenti dall’ambiente in cui tali onde si propagano. Di conseguenza un sistema di radiocomunicazio-

ne basato su onde radio risulta sensibile a fattori ambientali come montagne , colline , grandi superfici riflettenti come palazzi , atmosfera etc.

Ogni sistema di comunicazione consiste di almeno due elementi che sono un trasmettitore e un ricevitore. Un esempio di tale sistema è costituito da una stazione radio base e un dispositivo portatile in un sistema mobile pubblico.



Fig. 2

In figura 2 viene riportato il più semplice sistema di radiocomunicazione

Supponendo che la stazione radio base agisca come trasmettitore per un certo tempo in un determinato ambiente, il segnale radio si propaga dal trasmettitore della stazione radio base verso il mobile con un segnale alla velocità della luce. Il livello del segnale ricevuto dal portatile dipende dalla distanza dalla stazione radio base dalla frequenza utilizzata e dall'ambiente in cui avviene la comunicazione.

Il meccanismo di propagazione dipende in modo stretto dalla lunghezza d'onda ( o dalla frequenza). In aggiunta a questo un qualunque insediamento umano o ostacolo naturale come alte costruzioni, condizioni di meteorologiche etc influenzano il modo e il tempo di propagazione del segnale tra trasmettitore e ricevitore. Allo stesso tempo parametri di sistema, per esempio altezza dell'antenna e direzione di radiazione dell'antenna stessa hanno un loro effetto sulla distanza di propagazione, sul modo e il ritardo. Intrinsecamente la natura della propagazione radio presenta dei problemi, i principa-

li risultano essere:

- affievolimento del segnale ricevuto allontanandosi dalla sorgente
- fenomeno della propagazione multipath e fading veloce (Rayleigh)
- Shadowing o schermatura del segnale, che non é ricevuto in linea diretta (Line Of Sight) ma dopo la riflessione o diffrazione dovuta ad un ostacolo.

La propagazione multipath viene anche considerata per molti versi un vantaggio per la radiocomunicazione, dal momento che consente al ricevitore radio di continuare a ricevere il segnale dal trasmettitore anche in assenza di visibilità con il trasmettitore [senza LOS (line of sight)]; a parte questo vantaggio aggiunge comunque complessità al sistema ponendo limiti espliciti e vincoli.

I fattori che influenzano la propagazione radio sono estremamente dinamici e sofisticati .

Per stabilire un modello per i fenomeni di propagazione i meccanismi possono essere classificati in riflessione, diffrazione e scattering. In un ambiente radio questi meccanismi di propagazione portano a multipath che causa fluttuazioni nelle caratteristiche del segnale ricevuto, incluse: ampiezza, fase e angolo d'arrivo dando luogo al fading veloce tipico per le comunicazioni con utenti mobili.

La riflessione è conseguenza della collisione delle onde elettromagnetiche con un ostacolo le cui dimensioni sono molto grandi rispetto alla lunghezza dell'onda radio e la cui costante dielettrica è diversa dallo spazio libero in cui avviene la propagazione normale.

Il risultato di questo fenomeno consiste nella creazione di onde riflesse che possono essere captate dal ricevitore, per esempio un apparato mobile (Fig. 8.1.2).

La diffrazione, denominata anche shadowing a sua volta è una conseguenza della collisione dell'onda radio con un ostacolo le cui proprietà elettromagnetiche cambiano nella scala della lunghezza d'onda utilizzata .

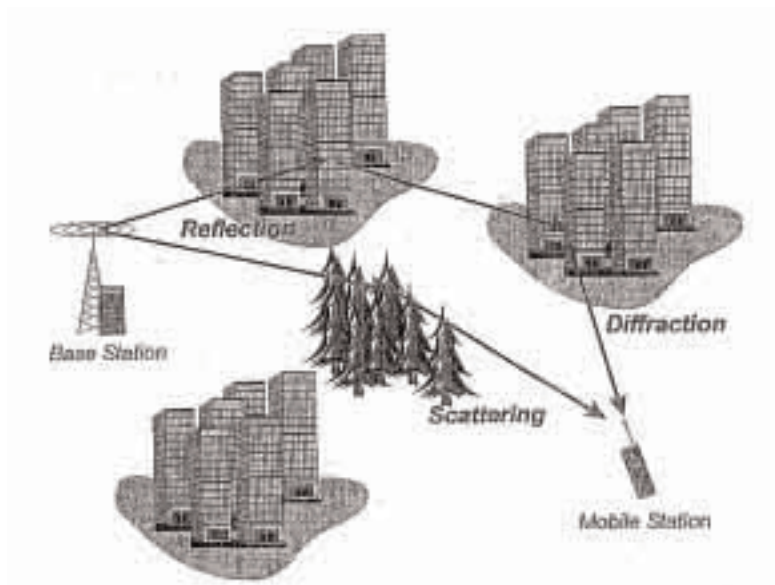


Fig. 3

Scattering da parte sua è una conseguenza della collisione dell'onda radio con ostacoli le cui dimensioni sono comparabili o inferiori alla lunghezza d'onda dell'onda radio incidente.

L'insieme di questi fenomeni spiega la ragione per cui le onde radio si propagano in un ambiente senza LOS.:

Dal punto di vista del ricevitore e in dipendenza delle condizioni di ambiente esistenti secondo quanto descritto, la potenza di segnale ricevuta è influenzata in modo casuale da un singolo o da una combinazione dei fenomeni descritti. In aggiunta a questi fenomeni specifici nei sistemi mobili si aggiungono altri aspetti da considerare quali la mobilità, la copertura indoor e outdoor rendendo più complesso il sistema da studiare.

Esistono modi differenti per descrivere gli effetti del meccanismo di propagazione sul livello del segnale del canale radio, includendo link budget e dispersione temporale. L'idea base dietro al link budget consiste nel determinare il livello di segnale atteso a una determinata distanza dal trasmettitore costituito da una stazione

radio base o da un apparato portatile. Il calcolo del link budget può essere ottenuto dalla stima del path-loss del segnale. La stima del path-loss può essere effettuata sulla base del modello spazio libero, stabilendo che in un modello ideale di spazio libero la attenuazione del livello di segnale tra stazione radio base e unità mobile si comporti in accordo con la legge di attenuazione del quadrato inverso.

Nell' intento di considerare in forma completa l' effetto sul fading di canale tuttavia il considerare il solo link budget non è adeguato; in aggiunta a questo parametro occorre considerare l'effetto sulla propagazione multipath della dispersione temporale; questo può essere ottenuto stimando i diversi ritardi di propagazione legati alle repliche del segnale di trasmissione che raggiungono il ricevitore.

Se il cammino tra trasmettitore e ricevitore presenta riflessioni o ostacoli possono verificarsi fenomeni di fading; in questo caso il segnale raggiunge il ricevitore da molti cammini differenti (Fig. 4), ognuno una copia dell'originale;ciascuno di questi segnali ha un piccolo differente ritardo e una differente attenuazione. I ritardi di propagazione risultano in differenze di fase che sommate alla componente del segnale principale provocano la degradazione del segnale.

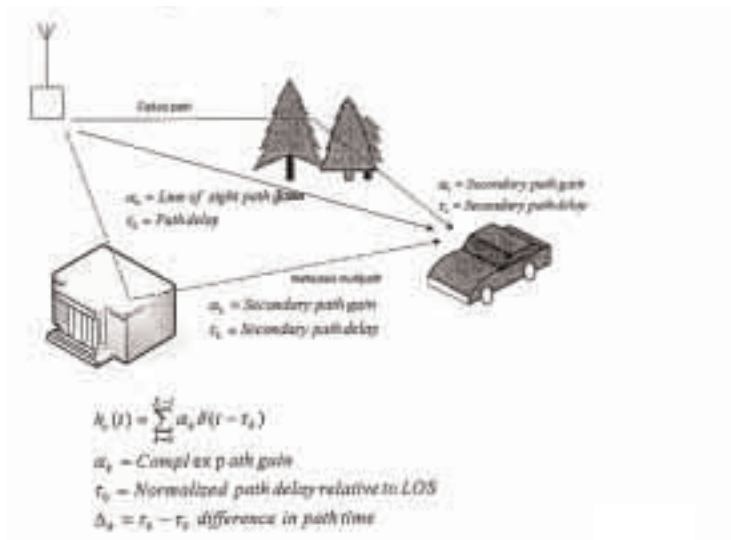


Fig. 4

Un tipico processo di fading è descritto in figura 5), in questa si possono notare curve di due semplici forme in particolare profondi “fades” o affievolimenti (variazione verso il basso) che fanno riferimento al deterioramento del segnale e variazioni verso l’alto causate dal sommarsi di interferenze costruttive.

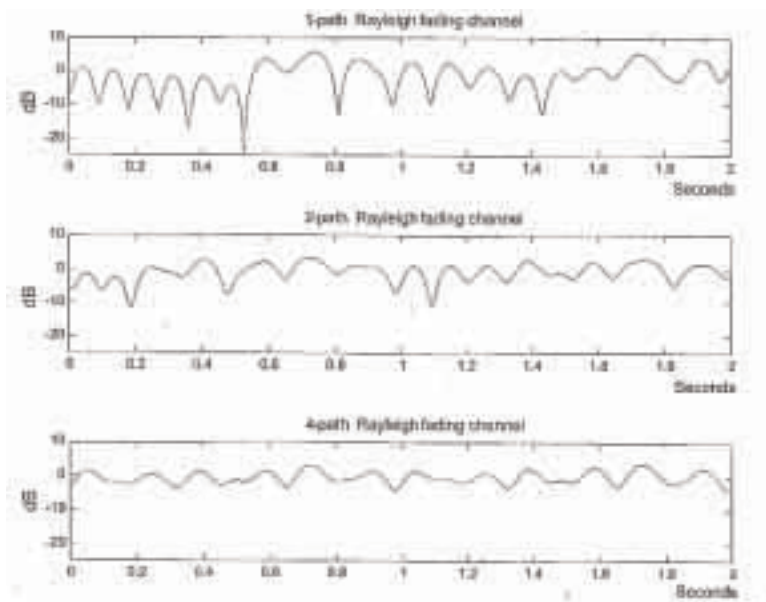


Fig. 5

Il canale radio sperimenta un fading di segnale che consiste principalmente nel fading di Rayleigh senza LOS, per cui alla unità mobile perviene un segnale da molte direzioni con differenti ritardi provocando significative differenze di fase in segnali che seguono percorsi diversi. Inoltre il comportamento del fading di canale radio dipende strettamente dalla posizione fisica e dal movimento dell’unità mobile; un piccolo scostamento nella posizione o nel movimento della unità mobile può provocare variazioni di fase per i diversi percorsi.

Per risolvere i problemi sopra citati sono state sviluppate molte soluzioni in particolare modo negli ultimi decenni da quando

le radiocomunicazioni hanno realizzato reti pubbliche. Un incremento nel numero di utilizzatori radio e la richiesta di aree vaste di copertura pongono stringenti vincoli per la realizzazione di sistemi radio-mobili; come conseguenza sono state molte situazioni tecnologicamente avanzate come il concetto di rete cellulare, tecniche di allocazione di risorse radio, tecniche di modulazione, sistemi di antenna.

## **A 2.2 Le tecniche dell'accesso multiplo**

I sistemi radio di questo tipo ricevono e trasmettono su una risorsa comune rappresentata dalla frazione di spettro elettromagnetico assegnata al sistema stesso dagli Enti Regolatori Nazionali e sovra-Nazionali. L'utilizzo di una risorsa comune da parte di più utenti dello stesso sistema (o Rete) produce, in generale, situazioni di conflitto se due o più utenti trasmettono sulla stessa frequenza nello stesso istante. Allo scopo di risolvere le possibili interferenze tra gli utenti e massimizzare la capacità del sistema ovvero il numero di utenti che possono contemporaneamente utilizzare il sistema stesso godendo comunque di una certa Qualità di Servizio prefissata, sono state definite diverse tecniche di Accesso Multiplo. Le principali tecniche utilizzate fino a pochi anni fa erano quelle a divisione di frequenza (FDMA) e quelle a divisione di Tempo (TDMA).

### **A 2.2.1 Tecnica di accesso a divisione di frequenza (FDMA)**

La tecnica FDMA consiste nel dividere la banda RF assegnata alla rete in tante porzioni di larghezza definita (ogni porzione è denominata "canale") che vengono assegnate una per utente nel momento e per il tempo in cui l'utente ottiene il servizio di connessione radio.

Lo stesso canale radio, quando libero, può essere assegnato a qualsiasi utente. La limitazione intrinseca di questo tipo di sistema è

che la banda assegnabile all'utente è di ampiezza fissa e quindi non ottimizzabile per supportare il servizio richiesto dall'utente. In considerazione che questo tipo di accesso è quello storicamente più antico e che le prime reti ad accesso multiplo si ponevano come obiettivo esclusivamente la mobilità del collegamento telefonico in fonia, i canali di collegamento si sono rivelati a banda troppo stretta per supportare servizi il cui presupposto è la velocità di trasmissione dati.

### **A. 2.2.2 Tecnica di accesso a divisione di tempo (TDMA)**

La necessità di disporre di un canale più “flessibile” e meglio adattabile a supportare servizi digitali, ha portato a sviluppare la tecnologia GSM e i sistemi di accesso composito FDMA+TDMA dove il canale utilizzabile dall'utente non è limitato solo dall'ampiezza della banda ma anche dal tempo concesso all'utente per l'impiego del canale. In parole semplici lo stesso canale viene utilizzato da più utenti, ma l'uso a ciascun utente è riservato per un arco di tempo limitato che si ripete ad intervalli regolari nel tempo. Questa tecnica si presta ad una codifica digitale del segnale utile e quindi ad una “compressione” del segnale stesso che viene trasmesso in un arco di tempo di molto inferiore a quello che sarebbe necessario per trasmettere la stessa quantità di informazione in modo analogico come avveniva per i sistemi FDMA.

In funzione della robustezza della modulazione adottata (la sua immunità al rumore) è possibile aumentare la quantità di informazione trasmessa attraverso lo stesso canale elementare ottenendo così, si potrebbe dire in modo “virtuale”, un allargamento della banda utilizzata. Nonostante le tecniche di compressione, esistono dei limiti al volume di dati che si possono trasmettere in un certo arco di tempo occupando una banda limitata come quelle di un canale radio, e quindi si sono sviluppate altre tecniche che consentono di associare tra loro più canali e dedicarli al singolo utente qualora il servizio richiesto non possa essere dato, con la qualità attesa dall'utente, tramite un solo canale.

Tipico risultato di questa evoluzione è il sistema GSM /

EDGE / GPRS che oggi consente non solo la compressione dell'informazione, ma anche l'associazione dinamica di più canali per servire lo stesso utente nei momenti in cui la quantità di informazione da trasmettere per unità di tempo richiede una banda maggiore.

Esistono però dei limiti intrinseci nella tecnica di accesso a divisione di tempo per cui comunque il tempo (e quindi la banda) dedicabile al singolo utente non può avere la dimensione necessaria per supportare i servizi più avanzati che sono invece ben supportati dalle moderne reti IT.

La principale limitazione dei sistemi FDMA e TDMA è comunque dovuta al fatto che la risorsa radio non può essere utilizzata contemporaneamente da utenti diversi (il sistema non è protetto contro l'interferenza che generano l'uno verso l'altro utenti che condividono il canale nello stesso istante), e per superare questa limitazione si è sviluppata la tecnica WCDMA.

### **A 2.2.3 La Tecnica di accesso a divisione di codice WCDMA ( Wideband Code-Division Multiple Access).**

Questa tecnica realizzabile solo utilizzando la trasmissione di segnali digitali, consente di distinguere i canali in modo logico invece che in modo fisico. In altre parole ogni utente caratterizza il proprio canale utilizzando un diverso codice di identificazione che caratterizza i dati da / a lui trasmessi. L'operazione di codifica è chiamata "spreading" e consiste nel codificare l'informazione "pura" operando una moltiplicazione per un fattore rappresentato da una sequenza numerica che come risultato produce una quantità di informazione molto maggiore e associa in modo univoco l'informazione pura al codice identificativo dell'utente.

La velocità di trasmissione necessaria per il nuovo segnale, è molto maggiore di quella che sarebbe stata necessaria per il segnale puro, ma la possibilità di condividere tra molti utenti tutta la banda disponibile consente la massima flessibilità in termini di ampiezza di

banda godibile da ciascun utente. Si ha quindi un sistema di accesso capace di superare i precedenti limiti non tanto per la capacità, quanto per l'ampiezza di banda allocabile a ciascun utente nel momento in cui il servizio richiesto lo impone.

Rimane comunque la limitazione del numero di utenti servibili contemporaneamente che è tanto minore quanto maggiore è la banda necessaria a ciascuno di essi.

I codici (le sequenze numeriche) che consentono la generazione dei segnali caratteristici di ciascun utente sono scelti in modo da assicurare la minima correlazione tra loro e questo li rende riconoscibili anche in presenza di molteplici segnali trasmessi contemporaneamente alla stessa frequenza radio. I bit ottenuti per le sequenze codificate sono detti "chip" e la velocità necessaria a trasmettere l'informazione si misura in chip / sec ed è così alta che in pratica nel sistema UMTS un canale occupa tutta la banda disponibile su una portante. Proprio l'ampiezza della banda occupata consente al segnale ricevuto di essere più "resistente" agli effetti dell'interferenza di altri segnali simili trasmessi sulla stessa portante o su portanti della stessa frequenza. Naturalmente comunque esiste un limite di questa resistenza ai disturbi e quindi l'efficienza della rete di accesso è condizionata proprio dalla sua ottimizzazione per il controllo dell'interferenza intrinseca nel sistema stesso.

#### **A 2.2.4 Spreading e despreading : principi di funzionamento.**

L'effetto dello spreading sul segnale e sulla banda da esso occupata è rappresentato in Fig. 8.2.3.1 dove  $b(t)$  è il segnale utile,  $c(t)$  è la sequenza di bit che costituiscono il codice assegnato all'utente e  $C(t)$   $B(t)$  è lo spettro del segnale risultante dopo lo spreading Fig. 8.2.3.2E' importante notare che per operare lo spreading si possono usare sequenze di bit opportunamente "ortogonali" tra loro in modo da assicurarne il riconoscimento inequivocabile; inoltre il segnale utile può essere a sua volta codificato usando opportune ridondanze utili per correggere eventuali errori nella ricezione dei singoli chip. Si definisce "Processing Gain" il rapporto tra la banda del segnale

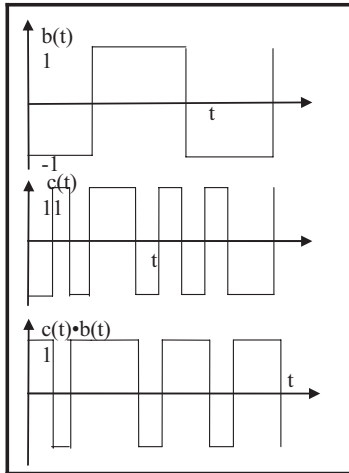


Fig. 6

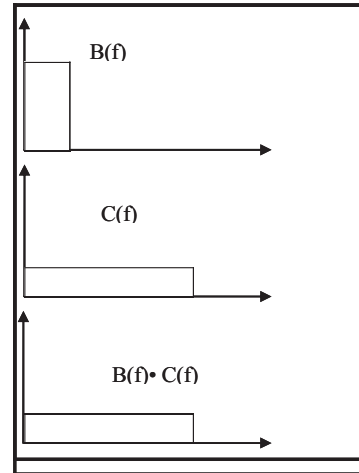


Fig. 7

originale (utile) e quella del segnale ottenuto dopo lo spreading, questo “guadagno” può arrivare anche all’ordine delle centinaia di volte.

Si definisce “Spreading Factor” il numero di “Chip” utilizzati per trasmettere ciascun bit del segnale in entrata al codificatore. Detto segnale può essere già stato trattato in modo da proteggere il “segnale utile” con opportune compressioni e codici per la correzione d’errore. Mentre il “Processing Gain” è determinante per le prestazioni di protezione del segnale contro i disturbi esterni (rumore e interferenza RF), lo “Spreading Factor” è determinato dal numero di sequenze ortogonali disponibili aventi un certo numero di bit di lunghezza; il loro numero è pari al numero di utenti che possono essere codificati e riconosciuti individualmente sulla stessa portante RF.

In ricezione avviene l’operazione di “Despreading” che si compie moltiplicando il segnale ricevuto per la stessa sequenza  $c(t)$  assegnata all’utente. Più esattamente il segnale ricevuto, che è composto dalla somma dei segnali degli  $N$  utenti in quel momento collegati, viene inviato a  $N$  moltiplicatori, ciascuno caratterizzato da un diverso codice  $c(t)$ , si ottengono così in uscita gli  $N$  segnali trasmessi dagli utenti, ciascuno eventualmente codificato con le opportune

protezioni.

La Fig 8 mostra come lo spettro risultante dopo despreading per il segnale utile sia più stretto di quello del segnale in ingresso e con una densità di potenza maggiore.

Il rumore del segnale in ingresso si modifica per effetto della moltiplicazione diluendo la sua potenza su uno spettro più ampio e come conseguenza si ha che la parte di rumore residua nella banda del segnale utile dopo il despreading ha una potenza ridotta rispetto a quella che aveva prima del despreading. Il segnale risultante (utile + rumore) viene filtrato in modo da eliminare la parte di spettro che contiene la sola potenza di rumore. La potenza di rumore che rimane nella banda del segnale utile sarà quindi pari alla potenza totale nella banda RF moltiplicata per un fattore pari all'inverso del Processing Gain ( Fig. 9). Non ha importanza la banda del rumore

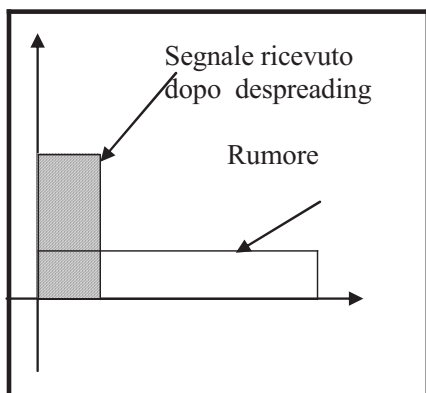


Fig. 8

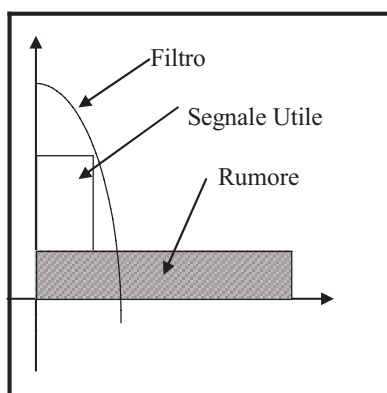


Fig. 9

(tutto ciò che non è codificato per mezzo del codice d'utente) all'ingresso del moltiplicatore di despreading, il risultato del prodotto sarà sempre un segnale con spettro più largo di quello del segnale utile e quindi con potenza residua ridotta nella banda utile.

La capacità in termini di utenza o di estensione della copertura viene comunque limitata dalla potenza totale del disturbo (rumore o interferenza intrasistema) che si aggiunge lungo il percorso del segnale dal trasmettitore al ricevitore. E' evidente che quanto mag-

giore è la potenza del disturbo all'ingresso del ricevitore tanto minore sarà comunque il rapporto tra la potenza del segnale utile e quella del disturbo e tanto maggiore il numero di errori in ricezione. Nonostante le protezioni del codice e il recupero degli errori a un certo punto non sarà più possibile decodificare correttamente il segnale utile e la connessione radio sarà inutilizzabile. E' interessante capire che la limitazione all'uso della connessione radio può derivare sia dalla distanza (che indebolisce il segnale utile ricevuto rispetto al rumore, termico e ambientale), sia dal segnale provenienti da altri utenti che utilizzano la stessa risorsa (frequenza radio); si capisce così che la potenza del segnale utile viene spesa o per superare la distanza (in assenza di traffico sarà il rumore termico e ambientale a limitare la portata della connessione radio) o per superare l'interferenza (in tal caso la limitazione alla distanza massima superabile dipende dalla potenza dell'interferenza da contrastare)

Si ha poi un altro effetto di cui occorre tener conto, ed è la limitazione derivante dalla quantità di informazione che deve essere trasmessa ovvero dalla banda occupata dal segnale utile prima di applicare lo spreading. Poiché la banda RF occupata dalla portante è costante e definita dalla regolamentazione per l'uso dello spettro, è chiaro che il "processing gain" sarà tanto minore quanto più larga è la banda originale.

Ne deriva quindi che a pari ambiente di propagazione, la ricezione di un segnale utile a banda larga è più sensibile al disturbo e questo si traduce in una riduzione della portata utile per il collegamento.

Inoltre, il segnale a banda larga, composto dalla somma di più canali a banda stretta, dal punto di vista di un utente che concorre a formare il segnale somma, può essere assimilato ad un canale "rumoroso" per via del disturbo prodotto dalla somma dei segnali degli altri utenti che concorrono a formare il segnale complessivo. La rumorosità del canale dipende dal numero di utenti che lo utilizzano; al crescere del numero di utenti (traffico) la potenza di interferenza aumenta ed il suo effetto si somma al rumore raccolto nella propagazione. Il risultato è che la portata è minore di quella che possibile a pari numero di utenti se ciascuno avesse un segnale separato

su una sua banda stretta dedicata.

Di fatto non è sempre vero che il sistema UMTS consente una maggiore efficienza spettrale, o almeno non è vero che a pari spettro impiegato consente un maggior traffico da parte di un maggior numero di utenti in confronto con un sistema come il GSM; è vero però che consente un uso più flessibile dello spettro RF che viene dedicato in modo dinamico a seconda delle necessità di servizio.

### **APPENDICE 3 - Accessibilità: Dimensionamento ed errore sul modello**

Mentre nella telefonia a circuito l'elemento di base del dimensionamento è il "circuito" (il servizio in fonia o dati si svolge sempre su un circuito dedicato), nel caso di UMTS il contenuto informativo della comunicazione è digitalizzato e la quantità di bit da trasmettere nell'unità di tempo determina l'ampiezza della banda di frequenza necessaria a dare il servizio con la qualità voluta.

Data la variabilità dei servizi richiesti dall'utente, la totalità del traffico offerto da un certo numero di utenti è rappresentato da un certo volume di bit, somma dei volumi relativi ai servizi richiesti, che deve essere trasmesso in un certo tempo

Anche se in pratica per certi servizi il vincolo del mantenimento costante della velocità di trasmissione dati non è inderogabile come nei casi di trasmissione di fonia o di video, è comunque opportuno dimensionare la rete d'accesso in modo che eventuali ritardi di trasmissione dovuti alla carenza di banda (o velocità di trasmissione) siano limitati e accettabili per l'utente che fruisce del servizio.

Assumendo quindi, per semplificare il ragionamento, che il traffico sia misurato in volume di bit da trasmettere in un certo arco di tempo, si può esprimere il traffico offerto in Kbit al secondo per utente e utilizzare questa unità di misura nel modello di traffico.

Per semplificare ulteriormente si può assumere che esista un valore di Kbit al secondo che rappresenta il canale di comunicazione elementare che è sufficiente a supportare il servizio che richiede

la banda (o la velocità) minima, e che i servizi a banda più larga siano supportati affasciando più canali elementari fino a raggiungere la velocità di trasmissione necessaria.

Esiste ovviamente un limite fisico strutturale alla velocità massima possibile, limite dovuto all'ampiezza di banda massima (5 MHz.) definita per le portanti UMTS; ma è evidente che l'affasciamento di più portanti (disponibili nella stessa area all'utenza) consente di aumentare la capacità di traffico in modo più che proporzionale.

In tecnica UMTS il servizio che richiede la banda minima è la comunicazione in fonia e per garantire il collegamento in fonia con buona qualità e la velocità minima risulta pari a 12,2 Kbit al secondo (Kbits).

Ne deriva che l'unità elementare di connessione è il canale dati che porta 12,2 Kbits.

Nella tabella che segue (Fig 10) è presentato un modello in cui le tipologie di servizio sono caratterizzate in termini di velocità di trasmissione necessaria per assicurare la qualità adeguata.

PROFILO DEI SERVIZI		QoS	Kbit/sec UP	Kbit/sec down	activity factor
servizio					
fonia		Conversational	12,2	12,2	1
circuit data (video call)		Conversational	64	64	1
High quality interactive Multimedia streaming		packet streaming	16	64	1
Simple messaging mail		Packet background	64	64	1
medium quality Multimedia		Packet interactive	64	128	0,25
High quality Mmedia		Packet interactive	64	384	0,33

Fig. 10

PROFILO DI UTENTE				NUMERO DI UTENTI NELL'AREA					1832
servizio	BHCA probab. richiesta da utente in busy hour	durata media sec	offered Kbit Up in 1 Hour	offered Kbit Down in 1 Hour	total offered Kbit/sec UP PER SERVICE	total offered Kbit/sec DOWN PER SERVICE	Caratteristica del servizio UP/DOWN	Kbit/sec UP per user	Kbit/sec Down per user
fonia	0,6	85	622,2	622,2	282,06	282,06	1	0,17	0,17
circuit data (video call)	0,03	156	299,52	299,52	135,78	135,78	1	0,08	0,08
High quality interactive Multimedia streaming	0,06	180	172,8	691,2	78,34	313,34	0,25	0,05	0,19
Simple messaging mail	0,25	10	160	160	72,53	72,53	1	0,04	0,04
medium quality Multimedia	0,06	1200	1152	2304	522,24	1044,48	0,5	0,32	0,64
High quality Mmedia	0,01	800	126,72	760,32	57,45	344,68	0,17	0,04	0,21
TOTAL volume Kbit offered per user in 1 h.			2533,24	4837,24				0,70	1,34
TOTAL Kbit/sec offered by		Users =	1832		1148,40	2192,68	0,52		
probabilità fonia =	0,6	Traffic volume Kbit/sec fonia			282,06	282,06		0,17	0,17
probabilità dati =	0,4	Traffic volume dati Kbit/sec			866,34	1910,82		0,53	1,17
		Canali elementari (12,2) richiesti			94,13	179,74		0,53	1,17

Tabella 1

In Tabella 1 il modello di traffico dell'utente è presentato sia come volume che come Kbits richiesti e calcolato infine per una popolazione di 1632 utenti presenti su una determinata area geografica

Le diverse ipotesi di traffico sui diversi tipi di servizi vengono ridotte a due soli indicatori che sintetizzano il "volume di bit/sec" e il numero di canali a 12,2 Kbits rappresentativi del traffico offerto.

Si evidenzia il risultato che, dato il modo di funzionamento di certi servizi, il volume downlink è stimato più elevato di quello uplink e quindi sarà questo volume a determinare la capacità richiesta alla rete di accesso che serve l'area ove è allocata l'utenza.

Applicando la formula B di Erlang e ammettendo la perdita del 2% si ricava che per smaltire il traffico stimato in 179,4 erlang (si ipotizza che i canali a 12,2 kbit per secondo sono usati al 100% del tempo), sono necessari 194 canali disponibili.

Data la novità dei servizi offerti e la scarsa esperienza attualmente maturata nella gestione dei servizi resi disponibili dall'UMTS, può essere utile verificare gli effetti di possibili errori di stima commessi nell'ipotizzare i valori inseriti nel modello di traffico.

A questo scopo si possono fare delle assunzioni abbastanza convenzionali, quali ad esempio immaginare che l'errore con cui sono stati stimati i valori produca una dispersione di tipo gaussiano delle probabilità relative a valori diversi dispersi attorno al valore assunto che rappresenta il valore mediano di quelli possibili.

Questo tipo di distribuzione statistica rappresenta bene anche la disuniformità del comportamento dei diversi utenti fruitori dei servizi realizzati tramite UMTS, almeno in una fase di avvio dei servizi quando le consuetudini dell'utenza non sono ancora consolidate.

Per utilizzare questa schematizzazione della realtà, conviene immaginare che la statistica gaussiana sia applicata a ciascuna tipologia di servizio e ricavare infine la possibile statistica del risultato composto dalla somma delle singole tipologie concorrenti a formare il traffico globale.

La distribuzione gaussiana delle probabilità, rappresentata in fig 11, gode della proprietà che per un valore della variabile pari a  $Z = 2s + M$ , dove  $M$  è il valore mediano, si ha la probabilità che nel 95% dei casi il valore della variabile non supera il valore  $Z$ .

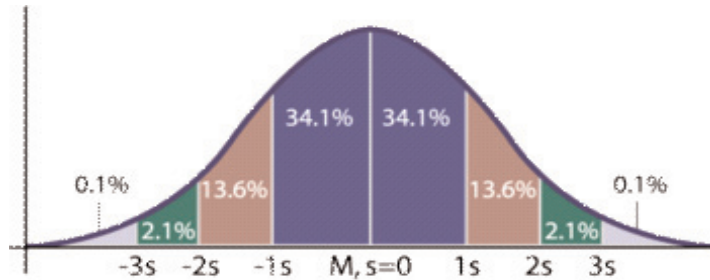


Fig. 11

Si può allora impostare un valore di errore intrinseco nella stima, in percentuale del valore mediano, con cui si è definito il modello di traffico e ricavare la “s” che caratterizza la gaussiana corrispondente sapendo che nel 95% dei casi il valore reale della variabile (volume di traffico) non sarà superiore all’errore commesso nella stima.

Assumendo per esempio che la stima del traffico d’utente possa essere affetta da un errore del 20% relativamente al servizio di fonia si ottiene la distribuzione riportata in

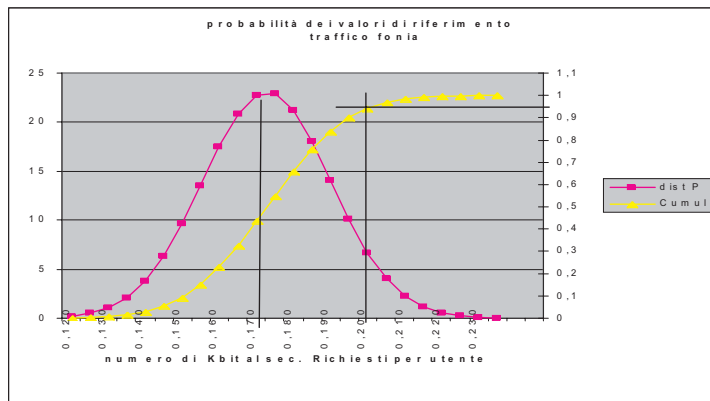


Fig. 12

Dalla figura 12 si vede che, se mediamente il traffico di fonia per l'utente è 0,17 Kbit per sec nell' "ora di punta" e si ammette che nello stimare questo valore si può aver commesso un errore di  $\pm 20\%$ , in pratica esiste la probabilità del 5% che il traffico d'utente sia maggiore di 0,2 Kbit per secondo

Applicando la stessa ipotesi alle altre componenti che concorrono a formare il modello, e mantenendo sempre la stessa ipotesi di errore del 20% , si ottengono altrettante curve simili alla Fig 12

Il traffico globale, risultato dalla somma delle componenti di traffico dovute ai diversi servizi, avrà a sua volta una distribuzione di probabilità di volume rappresentato ancora da una gaussiana caratterizzata dall'aver come valore mediano il risultato della somma dei valori mediani delle componenti e come varianza (indice di dispersione) il risultato della somma dei quadrati delle singole "s" caratteristiche delle componenti di traffico. La curva che ne risulta è la Fig.13

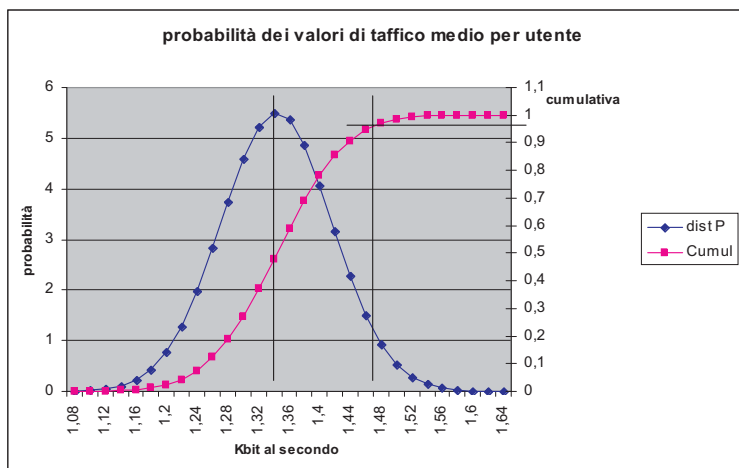


Fig. 13

Dalla figura si vede che se si vuole assumere un valore di modello che "assorbe" l'errore del 20% che può verificarsi nel 5% dei casi occorre prendere non più 1,34 come valore mediano, ma il valore 1,47 Kbit per secondo per utente.

Il ragionamento può essere esteso per verificare l'effetto di diverse percentuali di errore del valore medio relativo ai diversi tipi di servizi.

Si può ottenere così una matrice come quella di Tab 9.2 dove assunto il valore di modello 0,17 come valore medio per il servizio di fonia e 1,17 come valore medio per il totale dei servizi dati, sono valutati gli impatti di diverse entità di errore e ricavati i diversi valori di "s" che assicurano che il valore complessivo di modello + l'errore non è superato nel 95% dei casi.

quadro riassuntivo		confidenza = 95%							
Kbit al sec	valore stimato	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %
servizio di fonia	0,17	5	10	15	20	25	30	35	
	sigma	0,004321	0,008642	0,012963	0,017283	0,021604	0,025925	0,030246	
servizio dati		total mean 1,343678							
valore stimato	1,17								
errore %	sigma	sigma della gaussiana del traffico totale per utente							
5	0,029271111	0,029588	0,03052	0,032013	0,033993	0,03638	0,039101	0,04209	
10	0,058542222	0,058701	0,059177	0,05996	0,06104	0,062401	0,064026	0,065894	
15	0,087813333	0,08792	0,088238	0,088765	0,089498	0,090432	0,09156	0,092876	
20	0,117084444	0,117164	0,117403	0,1178	0,118353	0,119061	0,11992	0,120928	
25	0,146355556	0,146419	0,14661	0,146928	0,147373	0,147942	0,148634	0,149448	
30	0,175626667	0,17568	0,175839	0,176104	0,176475	0,17695	0,17753	0,178212	
35	0,204897778	0,204943	0,20508	0,205307	0,205625	0,206034	0,206531	0,207118	
40	0,234168889	0,234209	0,234328	0,234527	0,234806	0,235163	0,2356	0,236114	
45	0,26344	0,263475	0,263582	0,263759	0,264006	0,264324	0,264713	0,265171	
50	0,292711111	0,292743	0,292839	0,292998	0,293221	0,293507	0,293857	0,29427	

Tabella 2

Appare evidente dai valori riportati in tabella che l'eventuale errore di stima del traffico fonia ha un impatto quasi trascurabile al confronto dell'effetto prodotto da un errore della stessa entità percentuale commesso per la stima del valor medio del traffico dati.

Per dare un significato più concreto a quanto detto fino ad ora e rendere facilmente apprezzabile l'effetto del possibile errore commesso nella formulazione del modello di traffico, possiamo applicare i risultati fin qui ottenuti ad un caso concreto.

Supponiamo ad esempio di dover servire un certo numero di utenti in una certa area geografica e verifichiamo la variazione di risorse cioè canali necessari per assicurare una certa qualità di servizio UMTS.

Nell'ipotesi di riprendere i dati della Tab. 1 e ammettendo diverse percentuali d'errore di stima si ricava la tabella seguente:

calcolo del dimensionamento per		1632 utenti							
quadro riassuntivo		confidenza = 95%							
Kbit al sec	valore stimato	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %	errore %	
servizio di fonia	282,06	0	10	15	20	25	30	35	
	sigma	0	14,1032	21,1548	28,2064	35,258	42,3096	49,3612	
servizio dati									
valore stimato	total mean	2192,882					canali a 12,2 Kbit al sec. Equival. =		180
1910,82									
errore %	sigma	sigma della gaussiana risultante per il traffico totale per l'utenza							
0	0	0	14,1032	21,1548	28,2064	35,258	42,3096	49,3612	
15	143,31136	143,3114	144,0036	144,8643	146,0608	147,5848	149,4264	151,574	
20	191,0818133	191,0818	191,6016	192,2493	193,1524	194,3075	195,7099	197,3545	
25	238,8522667	238,8523	239,2683	239,7873	240,512	241,4405	242,5706	243,8994	
30	286,62272	286,6227	286,9695	287,4023	288,0073	288,7832	289,7286	290,8421	
35	334,3931733	334,3932	334,6904	335,0617	335,5807	336,2468	337,0592	338,0167	
40	382,1636267	382,1636	382,4238	382,7487	383,2031	383,7866	384,4986	385,3382	
45	429,93408	429,9341	430,1653	430,4542	430,8583	431,3774	432,0109	432,7584	
50	477,7045333	477,7045	477,9127	478,1727	478,5365	479,0039	479,5745	480,248	
55	525,4749867	525,475	525,6642	525,9006	526,2315	526,6565	527,1756	527,7883	

Tabella 3

Assumendo il valore mediano nel modello e calcolando le risorse necessarie con la B di Erlang si ottiene che il numero di canali a 12,2 Kbit per secondo necessari è 194.

Se però si considera l'errore di stima e dalle curve corrispondenti si ricalcola il valore mediano che assorbe nel 95% per cento dei casi l'errore di stima si ottiene la successiva Tabella 4 dove si riporta in funzione dell'errore di stima il nuovo valore da assumere nel modello se si vuole che nel 95% il modello sia adeguato ad assorbire l'errore.

In corrispondenza delle nuove valutazioni marginate per il

canali necessari ( a 12,2 Kbit sec)per assicurare il 2% di perdita (B di Erlang)						
194	198	202	206	210	214	222
218	220	222	224	226	228	229
226	228	230	232	234	236	237
233	235	237	239	241	243	245
241	243	245	247	249	251	254
249	251	253	255	257	259	261
257	259	261	263	265	267	269
265	267	269	271	273	275	277
274	276	278	280	282	284	285
281	283	285	287	289	291	293

Tabella 4

traffico offerto, che si è espresso in numero di canali a 12,2 Kbit per secondo occupati al 100% del tempo (erlang), si possono calcolare con la B di Erlang i canali necessari sempre con l'obiettivo di avere solo il 2% di perdita (o probabilità di saturazione delle risorse); il risultato si riporta in Tab 9.4

I valori riportati in Tabella 9.4 corrispondenti ai valori della tabella 9.2, sono quelli che consentono di restare entro il 2% di perdita di traffico.

Se viceversa si mantiene il dimensionamento della rete di accesso previsto dal modello senza tener conto dell'errore si ha una situazione di perdita di traffico, dipendente dall'errore commesso, riportata in Tabella 9.5.

traffico perduto se i		canali sono in saturazione					
errore %	0	10	15	20	25	30	35
0	0	39,78005	59,67008	79,5601	99,45013	119,3402	139,2302
15	286,6227	326,4028	346,2928	366,1828	386,0728	405,9629	425,8529
20	382,1636	421,9437	441,8337	461,7237	481,6138	501,5038	521,3938
25	477,7045	517,4846	537,3746	557,2646	577,1547	597,0447	616,9347
30	573,2454	613,0255	632,9155	652,8055	672,6956	692,5856	712,4756
35	668,7863	708,5664	728,4564	748,3464	768,2365	788,1265	808,0165
40	764,3273	804,1073	823,9973	843,8874	863,7774	883,6674	903,5574
45	859,8682	899,6482	919,5382	939,4283	959,3183	979,2083	999,0983
50	955,4091	995,1891	1015,079	1034,969	1054,859	1074,749	1094,639
55	1050,95	1090,73	1110,62	1130,51	1150,4	1170,29	1190,18

Tabella 5

Per effetto del traffico non smaltito si ha un disservizio che riguarda una certa percentuale di utenza i cui valori sono riportati nella tabella di Fig.9.6

%utenti in overflow							
errore %	0	10	15	20	25	30	35
0	0	0,018141	0,027211	0,036281	0,045351	0,054422	0,063492
15	0,130706	0,148846	0,157917	0,166987	0,176057	0,185128	0,194198
20	0,174275	0,192415	0,201485	0,210556	0,219626	0,228696	0,237766
25	0,217843	0,235984	0,245054	0,254124	0,263195	0,272265	0,281335
30	0,261412	0,279552	0,288623	0,297693	0,306763	0,315833	0,324904
35	0,304981	0,323121	0,332191	0,341262	0,350332	0,359402	0,368472
40	0,348549	0,36669	0,37576	0,38483	0,393901	0,402971	0,412041
45	0,392118	0,410258	0,419329	0,428399	0,437469	0,446539	0,45561
50	0,435686	0,453827	0,462897	0,471968	0,481038	0,490108	0,499178
55	<b>0,479255</b>	0,497396	0,506466	0,515536	0,524606	0,533677	0,542747

Tabella 6

## **APPENDICE 4: Copertura/capacità di una rete micro-cellulare W-CDMA**

### **A 4.1 Introduzione**

Nel seguito vengono riportate alcune considerazioni utili per l'esecuzione dell'attività, definita congiuntamente con ISCOM, finalizzata alla simulazione e stima delle prestazioni di una copertura micro-cellulare in sostituzione o ad integrazione di un layer classico realizzato utilizzando macro-celle.

Gli apparati coinvolti sono micro-celle con caratteristiche rispondenti a quanto definito in 3GPP per apparati "Medium Area", quindi con potenza di uscita 38 dBm e sensibilità del ricevitore -111 dBm.

Prima di ogni cosa viene fatta l'analisi per determinare il link budget.

Successivamente viene descritto il processo seguito per effettuare opportune simulazioni in ambiente urbano finalizzate ad una definizione più precisa dei parametri radio applicati nel calcolo di link budget.

Da ultimo vengono presentati i risultati delle simulazioni.

### **A 4.2 Tool di link budget**

Nel calcolo del link budget è stato integrato anche un algoritmo per il dimensionamento della capacità di traffico.

La figura riportata di seguito è un esempio del foglio Excel di calcolo principale utilizzato per il calcolo del link budget:

I parametri che rappresentano le ipotesi di sistema sono i seguenti:

tipo di area (dense urban, mean urban, rural, ecc.)

modello di canale (vehicular, pedestrian, ecc.)

tipo di apparato (Macro 20W, micro 6W, micro 3W, micro 500mW, pico 200mW)

Area	AREA 1		AREA 2		AREA 3		AREA 4		AREA 5	
	Descr. Param.	Valore	Descr. Param.	Valore	Descr. Param.	Valore	Descr. Param.	Valore	Descr. Param.	Valore
Antenna	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Power	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Loss	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Load	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Noise	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ratio	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Factor	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Gain	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Model	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prob	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Power	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fig. 14

- dati d'antenna
- Tx power dei mobili
- body loss
- cell load
- DL noise rise
- interference ratio (inter-cell/intra-cell)
- DL orthogonality factor
- soft HO gain
- diversity gain
- propagation model
- coverage probability
- ommon channels power

Dopo aver terminato l'analisi di copertura, si passa al calcolo del modello di traffico, illustrato nella seguente figura:

CS services										
Application	QoS class		BCHCA/Subscriber #	GM Duration (s)	Data rate (kbit/s)	Activity factor	Traffic demand (kbit/s)	Traffic demand (kbit/s)	Traffic demand (kbit/s)	Power Capacity (W)
Speech	Conversational	UL	8.8	90.00	12.2	1	104.568	104.568	0.16	120.000
	Conversational	DL	8.8	90.00	12.2	1	104.568	104.568	0.16	120.000
Switched Data	Conversational	UL	0.03	180.00	64	1	180.000	180.000	0.01	120.000
	Conversational	DL	0.03	180.00	64	1	180.000	180.000	0.01	120.000

PS services										
Application	QoS class		BCHCA/Subscriber #	GM Duration (s)	Data rate (kbit/s)	Activity factor	Traffic demand (kbit/s)	Traffic demand (kbit/s)	Traffic demand (kbit/s)	Power Capacity (W)
High quality interactive video	Streaming	UL	0.00	700	16	1	112.000	112.000	0.00	120.000
	Streaming	DL	0.00	700	64	1	112.000	112.000	0.00	120.000
Video conferencing	Real-time	UL	0.20	91	64	1	128.000	128.000	0.01	120.000
	Real-time	DL	0.20	91	64	1	128.000	128.000	0.01	120.000
Medium quality video	Streaming	UL	0.00	1200	64	0.75	288.000	288.000	0.00	120.000
	Streaming	DL	0.00	1200	256	0.75	288.000	288.000	0.00	120.000
High quality video	Streaming	UL	0.01	300	64	0.75	144.000	144.000	0.00	120.000
	Streaming	DL	0.01	300	256	0.75	144.000	144.000	0.00	120.000

Analysis:		Macro:	
# Cells:	2007	# Macro:	7827
# Cell sectors:	6021	Capacity Ratio:	1.03
# Users:	1790	on DCH:	1.15
Area:	1.042 km²		
Load factor:	0.0004		
Use Area:	0.0000 km²		

	Coverage	Capacity
Macro:	0	0
Micro:	13.18	0.00
Use Area:	0.0000	0.0000

Fig.15 Foglio di traffico nel tool di link budget

Le prime due tabelle definiscono il modello di traffico [1].

Nella tabella Analysis si definiscono: l'area, il numero di utenti e il servizio limitante, allo scopo di calcolare il numero di siti necessario a coprire l'intera area (assicurando l'accessibilità e la qualità del servizio voluta), ed il carico di cella, che non deve mai superare il massimo indicato (ultima tabella in basso).

La tabella grigia, infine, consente di stimare il guadagno in capacità di un layer microcellulare, poichè indica il numero di macrocelle necessarie a garantire la stessa capacità che avrebbe la rete di microcelle.

### A 4.3 Analisi di equivalenza copertura/capacità fra macro e micro

Il calcolo di link budget è stato in primo luogo utilizzato per eseguire una stima dell'area di una macrocella.

L'area calcolata è stata considerata come l'area da coprire con una rete di microcelle: in questo modo è agevole individuare imme-

diatamente il numero di microcelle che sostituisce, in termini di copertura, una macrocella, e valutarne il guadagno in capacità.

Ovviamente è necessario fare alcune ipotesi di lavoro, relative all'infrastruttura dei siti radio.

La tabella seguente riporta schematicamente le assunzioni fatte per i siti macro e micro:

	<i>MACRO</i>	<i>micro</i>
<i># sectors</i>	3	1 omni
<i>Antenna Gain</i>	18.5 dB	12 dB
<i>Feeder Loss</i>	3 dB	0 dB
<i>Antenna Height</i>	30 m	4 m

*Tabella 6 Dati d'antenna*

Per quanto riguarda il rapporto fra interferenza inter-cella ed interferenza intra-cella (interference ratio), è stato ipotizzato un valore pari a 0.5 per la tratta UL, mentre non è stata fatta alcuna ipotesi sul DL in quanto il suo valore dipende dalla posizione del mobile all'interno dell'area di cella. è naturale attendersi che l'interference ratio sia crescente al crescere della distanza del mobile dal sito (in ambiente macro non è raro superare l'unità), ossia in prossimità del bordo di cella un mobile percepirà la minima interferenza intra-cella e la massima interferenza inter-cella.

Per questo motivo, è stata condotta un'analisi al variare di questo parametro.

Nella figura seguente sono riportati i risultati, limitando l'analisi al solo servizio voce.

Si osservi che all'aumentare del parametro interference ratio l'area di sito diminuisce in quanto maggiore è il livello di interferenza percepito, per cui il numero di microcelle necessario a coprire l'area di una macrocella tende ad aumentare (curva blu) con un tipico comportamento a gradini almeno nella prima parte della curva (il numero di siti è sempre un numero intero).

Capovolgendo l'interpretazione del grafico si può affermare che l'interference-ratio, che caratterizza la copertura in una certa area, cresce meno rapidamente all'aumentare del numero delle stazioni radio se queste sono realizzate con microcelle piuttosto che

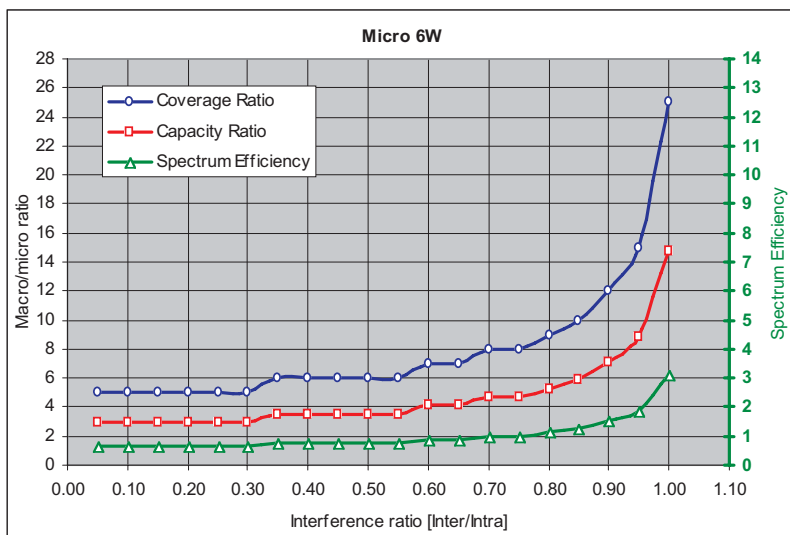


Fig. 16 Analisi al variare di interference-ratio

con siti normali. La conseguenza è che a pari capacità di traffico, ovvero di numero di siti nell'area, la qualità del collegamento radio è migliore se la copertura è realizzata con microcelle.

Il guadagno in capacità è definito come l'inverso del rapporto tra il numero degli utenti serviti nell'area coperta da una cella standard e il numero di utenti serviti se la stessa copertura è realizzata per mezzo di microcelle.

Utilizzando il tool di link budget e cambiando i parametri della stazione (così da caratterizzarla come "micro") è possibile, data l'area della cella standard, trovare quante microcelle sono necessarie per dare la stessa qualità di copertura e conseguentemente la capacità di traffico che ne deriva.

In prima approssimazione si può quindi stimare il numero di siti standard necessari per ottenere la stessa capacità realizzata dal

layer di microcelle; questo numero è descritto dalla curva rossa, e presenta un andamento a gradini simile a quello della curva precedente (aumento di capacità dovuto all'aumento del numero di siti micro).

Il carico in DL è supposto sempre pari a 50% (percentuale di potenza utilizzata rispetto alla potenza disponibile): anche per valori elevati di interference-ratio si riesce sempre a garantire un requisito di qualità sul livello di  $E_c/I_o$  ( $\geq -12 \div -13\text{dB}$ ).

Il grafico di figura 16 è stato volutamente tracciato fino a valori di interference-ratio prossimi all'unità allo scopo di mostrare la tendenza delle curve: normalmente in una rete microcellulare non si dovrebbe arrivare a valori tanto elevati, che sono invece più facilmente riscontrabili in una rete macrocellulare.

A questo punto è necessario individuare il valore più opportuno di interference-ratio, in modo da fissare sull'asse delle ascisse la posizione corretta dove leggere i rapporti di copertura e capacità per una rete micro rispetto ad una rete macro.

Dal momento che il calcolo di link budget assume, nell'ipotesi di caso peggiore, che tutti gli utenti siano a bordo cella (il che agevola anche il calcolo della potenza associata in DL al canale dedicato), è proprio a bordo cella che è necessario stimare il valore tipico del rapporto interferenziale da utilizzare.

A questo scopo sono state realizzate alcune simulazioni di copertura in ambiente urbano utilizzando un algoritmo di ray-tracing, al fine di stimare correttamente i livelli di interferenza riscontrabili in una rete in esercizio: i risultati trovati permetteranno anche di validare l'approccio link budget seguito finora.

#### A 4.4 Simulazioni di copertura Ray-Tracing

Il tool di pianificazione utilizzato consente di stimare i livelli di copertura radio-elettrica applicando un modello di propagazione di tipo ray-tracing ad un opportuno data base vettoriale che definisce posizione ed altezza degli edifici.

I vantaggi di un simile approccio sono sostanzialmente due:

L'algoritmo ray-tracing produce risultati più attendibili di un algoritmo empirico-statistico (es. Okumura-Hata), la cui validità è limitata alla sola area in cui siano state acquisite misure idonee alla calibrazione dei coefficienti che compaiono nella sua equazione

L'applicazione ad un data base vettoriale urbano consente di eseguire analisi di propagazione elettromagnetica di un ambiente reale, in cui le aree di servizio perdono acquisiscono la forma più realisticamente legata alla maglia delle vie cittadine

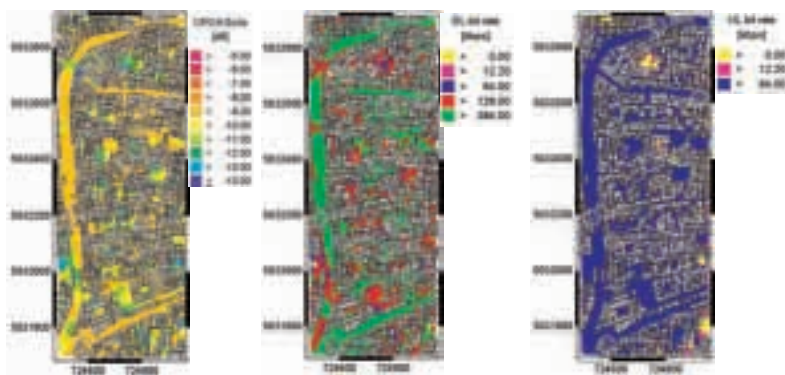


Fig.17 Mappe di copertura simulata con algoritmo ray -tracing: CPICH Ec/Io, DL RABs e UL

L'area in esame può essere coperta (e in effetti questa è la soluzione attualmente realizzata) utilizzando 2 macrocelle che assicurano almeno il servizio di fonia su tutta l'area.

Sostituendo il layer macro con un layer micro, sono necessarie 13 microcelle per dare lo stesso servizio.

Si noti che la posizione dei siti è stata scelta in modo tale da garantire, in tutte le vie dell'area urbana selezionata, la condizione di visibilità (Line of Sight), o comunque l'assenza di brusche svolte d'angolo all'interno dell'area di competenza di ogni stazione.

I risultati ottenuti, visibili nelle mappe di figura 17, sono i seguenti:

- un valore più che accettabile di  $E_c/I_o$  ( $\geq -12 \div -13\text{dB}$ )
- il massimo bit rate consentito in DL, almeno lungo le strade, è 384 kbps, per cui tutti i servizi 3G sono garantiti.
- in UL sono garantiti praticamente ovunque tutti i servizi: si osservi che per tutti i servizi a pacchetto considerati il bit rate in UL è 64 kbps

Sono visibili, nelle mappe di figura 18, aree in cui sono consentiti solo bit rate inferiori a 384 kbps in DL o inferiori a 64 kbps in UL, come meglio evidenziato nei seguenti ingrandimenti:

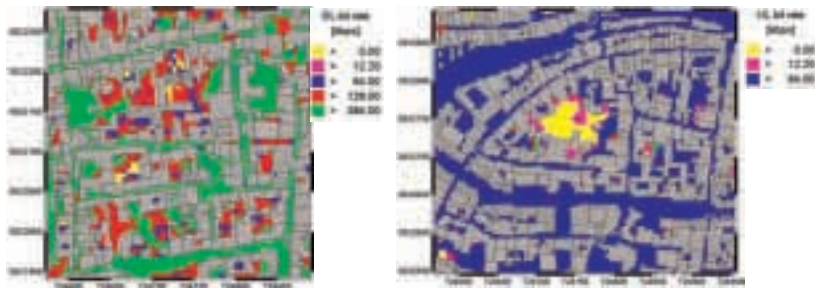


Fig.18 - Aree in cui non sono garantiti certi servizi

Si osservi che si tratta per lo più di cortili interni agli isolati, in cui la copertura è accidentale più che pianificata, dal momento che, in fase di pianificazione della copertura radio-elettrica, sono state privilegiate le sedi stradali.

L'analisi di copertura per servizi 3G in DL è stata condotta giudicando un punto coperto da un certo servizio solo nel caso in cui il valore di  $E_b/N_o$  simulato non sia inferiore a quello riportato in Tabella 7.

Service	DL Eb/No	UL Eb/No
<b>Voice</b>	7.8 dB	4.8 dB
CS 64/64	6.0 dB	3.2 dB
PS 64/64	4.9 dB	2.0 dB
PS 64/128	4.0 dB	2.0 dB
PS 64/384	5.1 dB	2.0 dB

Tab.7 - Eb/No minimi per servizio

Per il caso UL, invece, si è ritenuto più interessante simulare per ogni punto e per ogni servizio il livello di potenza richiesto al mobile per garantire un Eb/No in UL pari al minimo necessario per la qualità del servizio stesso: in questo caso, al fine di verificare l'accessibilità dei servizi in indoor, si è tenuto conto di un fattore di perdita di penetrazione all'interno degli edifici pari a 12dB, che è equivalente a dire che il massimo livello di potenza disponibile al mobile (in outdoor equivale ad un ulteriore margine di potenza disponibile di 12 dB) è pari a  $21 - 12 = 9\text{dBm}$ .

La seguente mappa illustra i livelli di potenza richiesti al mobile per il servizio voce:

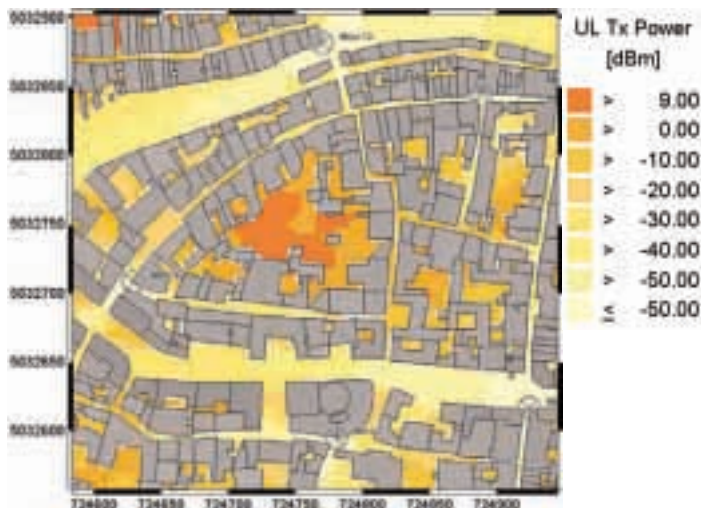


Fig. 19 - Livelli di potenza richiesti al mobile per servizio voce

Si osservi che l'area critica in cui il servizio indoor non è garantito dalla copertura microcellulare pianificata, è il cortile interno ad un isolato.

#### A 4.6 Analisi dell'interferenza

Allo scopo di valutare il valore di interference-ratio in DL da utilizzare all'interno del tool di link budget, è stata condotta un'analisi dei livelli di potenza ricevuta riscontrati per l'interferenza intra-cella, ovvero generata dalla cella servente, e per l'interferenza inter-cella, ovvero l'insieme di tutti i contributi interferenziali generati dalle altre celle, percepiti dal mobile come contributo aggiuntivo al rumore gaussiano a banda larga (AWGN).

Come termine di confronto sono stati scelti i valori tipici di interference-ratio per reti microcellulari riportati in letteratura [3]: in particolare, si prevede un valore medio di interference-ratio identico per UL e DL pari a 0.25 (0.65 in ambiente macro), che diventa 0.4 tenendo conto dell'incremento di interferenza inter-cella generato per compensare gli effetti del fading rapido (0.82 in ambiente macro).

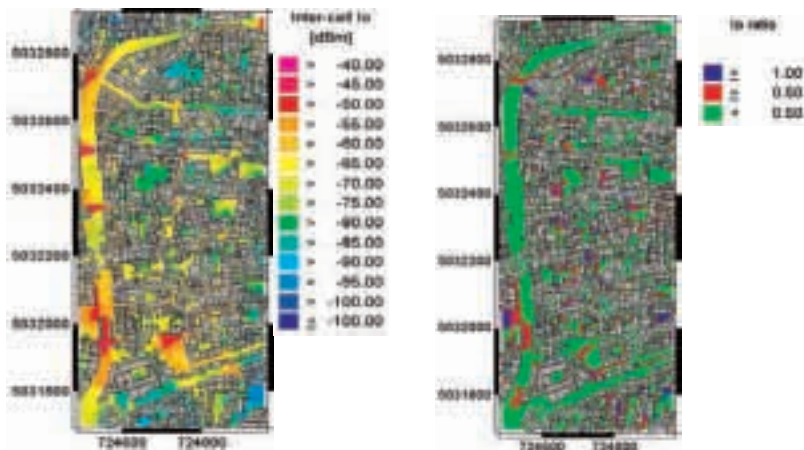


Fig. 20 - Interferenza inter-cella ed interference-ratio.

In figura sono illustrate le mappe relative al livello di interferenza inter-cella ed al livello di interference-ratio:

Nei seguenti ingrandimenti si nota meglio una caratteristica tipica dell'interferenza inter-cella in coperture microcellulari: essa raggiunge i livelli più elevati in corrispondenza degli incroci, ossia laddove si crea una condizione di visibilità con più di un sito, per cui i livelli di interferenza intra-cella ed inter-cella tendono ad assumere valori più vicini.

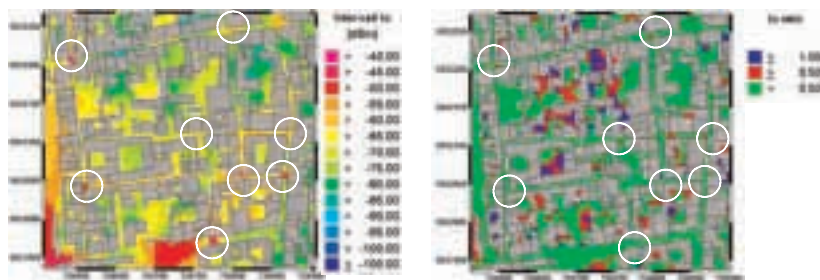


Fig. 21 - Posizione dei livelli maggiori di interferenza inter-cella e confronto con i livelli di valori più vicini

Si osservi, comunque, che almeno nel 50% dei casi individuati dai marker, il livello di interference-ratio è minore di 0.5, ossia l'interferenza inter-cella non supera la metà dell'interferenza intra-cella, mentre nel rimanente 50% dei casi non viene superata l'unità.

I valori più alti di interference-ratio si riscontrano nelle aree già precedentemente riconosciute come aree critiche, ossia i cortili interni degli isolati, la cui copertura non era fra gli obiettivi del processo di pianificazione adottato.

Considerando realisticamente come bordi di cella le zone di confine copertura lungo le strade ed in prossimità degli incroci, è legittimo considerare valori di interference-ratio nettamente sotto l'unità.

Il seguente grafico illustra la distribuzione statistica dei valori di interference-ratio:

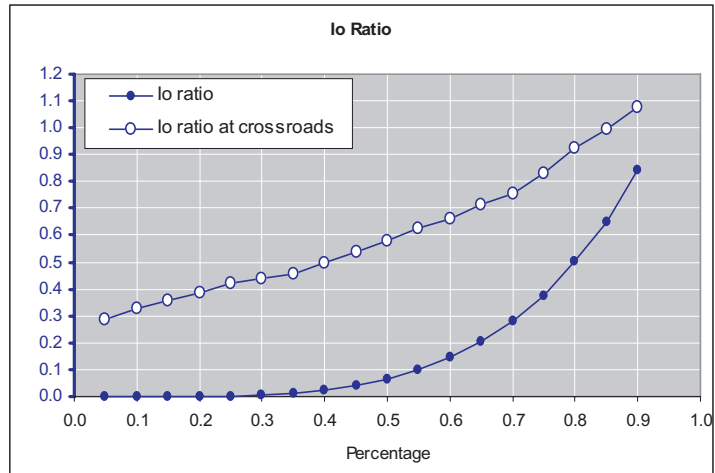


Fig. 22 - Distribuzione statistica dei valori di interference

Si noti che la curva statistica calcolata prendendo in esame solo gli incroci fra le vie cittadine è situata nettamente più in alto, ad indicare che il livello di interference-ratio cresce in prossimità del bordo di cella.

Il valor mediano di interference-ratio sugli incroci è pari a 0.58, mentre il valor mediano sulla curva complessiva darebbe come risultato circa 0.1: il valore che tipicamente si trova in letteratura (0.4) si trova all'interno dell'intervallo individuato, il che conferma la correttezza dell'approccio seguito.

#### A 4.7 Prestazioni copertura/capacità di un layer microcellulare

La seguente tabella illustra la situazione in termini di prestazioni copertura/capacità per un layer macro.

<b>Macro</b>	<b>Voice</b>	<b>CS 64/64</b>	<b>PS 64/64</b>	<b>PS 64/128</b>	<b>PS 64/384</b>
<b>Range</b>	1.020 km	1.053 km	1.039 km	0.620 km	0.466 km
<b>Site Area</b>	2.026 sqkm	2.159 sqkm	2.105 sqkm	0.749 sqkm	0.423 sqkm
<b># parallele Links/cell</b>	52.1	14.4	18.9	17.8	4.9
<b># Links/Area</b>	1627	1627	1627	1530	423
<b>% Coverage per Service</b>					
<b>Voice</b>	100.0%	93.8%	96.2%	100.0%	100.0%
<b>CS 64/64</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>PS 64/64</b>	100.0%	97.5%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>PS 64/128</b>	37.0%	34.7%	35.6%	100.0%	100.0%
<b>PS 64/384</b>	20.9%	19.6%	20.1%	56.5%	100.0%

L'ambiente è Mean Urban, il modello di canale selezionato è Veicolare a 50 km/h.

Si osservi la valutazione della percentuale di area coperta da ogni servizio rispetto all'area di cella, considerata pari a quella calcolata per il servizio voce.

In modo equivalente, la seguente tabella illustra la situazione per un layer micro che copre la medesima area coperta dal layer macro riportato nella tabella precedente: le percentuali di copertura per servizio (sempre in blu) sono calcolate rapportando l'area complessivamente coperta dalle micro impiegate all'area macro per il servizio voce.

I risultati sono stati ricavati applicando nello strumento di calcolo di link budget il valore di interference-ratio tipico per scenari micro (0.58), trovato nel capitolo precedente.

Micro	Voice	CS 64/64	PS 64/64	PS 64/128	PS 64/384
Range	0.321 Km	0.327 Km	0.324 Km	0.255 Km	0.240 Km
Site Area	0.323 sqkm	0.337 sqkm	0.330 sqkm	0.204 sqkm	0.182 sqkm
# parallel Linkscell	52.1	14.4	18.9	17.8	4.9
# Links/Area	6707	6707	6707	6306	1743
Coverage Ratio	7	7	7	10	12
Capacity Ratio	4.8	4.8	4.8	6.9	8.2
	<b>% Micro Coverage per Service</b> (Micro Area * # Microcells / Macro Voice Area)				
Voice	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
CS 64/64	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
PS 64/64	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
PS 64/128	70.5%	70.5%	70.5%	100.0%	100.0%
PS 64/384	62.9%	62.9%	62.9%	89.8%	100.0%

Tab. 9 - Copertura e capacità garantite da un layer micro

Coverage Ratio è il rapporto fra il numero di microcelle ed il numero di macrocelle necessarie a coprire la medesima area (in pratica, quante micro sono necessarie in luogo di una macro), mentre Capacity Ratio (o Capacity Gain) indica l'aumento di capacità offerto dall'impiego del layer micro.

Si osservino gli evidenti miglioramenti della percentuale di area coperta dai servizi ad alto bit rate rispetto a quanto si riscontra nella tabella 8 riferita al layer macro.

Si noti, altresì, che, se si vogliono accessibili sull'intera area i servizi a più alto bit rate, cresce il numero di micro necessarie a coprire l'intera area.

Il dimensionamento di cui alle tabelle .8 e 9 è stato eseguito nell'ipotesi di un carico di cella pari al 50% per la tratta UL, che significa assumere un noise rise non superiore a 3dB, e 57% per la tratta DL, che significa ipotizzare un impegno di potenza per traffico da parte del nodo non superiore ad un valore tipicamente assunto come soglia di Admission Control.

In tutti i casi si riscontra che la tratta limitante è il DL: questo è essenzialmente dovuto al fatto che la potenza complessiva disponibile alla stazione radio fissa che corrisponde a una microcella è

inferiore alla potenza tipicamente utilizzabile da una stazione radio fissa che realizza la copertura per una macro cella, oltre al fatto che l'interferenza inter-cella è più critica in prossimità del bordo copertura, cosa questa che contribuisce a limitare ulteriormente l'area di servizio in DL.

Approfondite analisi sono state condotte al fine di valorizzare con maggior precisione gli Eb/No minimi richiesti in UL per garantire un'adeguata qualità dei servizi (BLER/BER minimi): anche a fronte dei nuovi valori ottenuti (tabella .10), la tratta limitante continua ad essere la tratta DL, la quale definisce quindi il raggio di cella.

Considerando come raggio di cella limitante quello ottenuto per il servizio Voice, si trova da link budget che in ambiente urbano sono necessarie 7 microcelle per coprire l'area normalmente coperta da un sito macro (si veda anche la figura 11.3.1); questo risultato

Service	DL Eb/No	UL Eb/No		BLER
		Old	New	
<b>Voice</b>	7.8 dB	4.8 dB	6.8 dB	$10^{-2}$
CS 64/64	6.0 dB	3.2 dB	-	$10^{-6}$
PS 64/64	4.9 dB	2.0 dB	3.0 dB	$10^{-1}$
PS 64/128	4.0 dB	2.0 dB	3.1 dB	$10^{-1}$
PS 64/384	5.1 dB	2.0 dB	3.1 dB	$10^{-1}$

Tabella 10 - Eb/No minimi per servizio

è coerente con quanto trovato in fase di simulazione, in cui l'area di competenza di 2 siti macro è stata coperta utilizzando 13 microcelle, avendo come conseguenza indotta che nell'area la capacità di traffico è cresciuta più di 4 volte.

Inoltre, grazie alla distribuzione più fine della copertura ottenuta con installazioni micro, i servizi ad alto bit rate beneficiano di un sensibile aumento dell'area di fruibilità, infatti si passa dal 21% al 63% dell'area totale.

Per garantire la fruibilità di tutti i servizi su tutta l'area, cioè una copertura micro pari al 100% dell'area per il servizio a più elevato bit rate (PS 384 kbps), sono richiesti non meno di 12 micro-sta-

zioni, con un guadagno di capacità pari quasi ad un fattore 8 rispetto alla copertura originale realizzata con cella standard.

Le seguenti figure 11.7.4 e 11.7.5 riassumono la relazione fra copertura e capacità al variare del numero di siti nel caso di servizio PS 384 kbps:

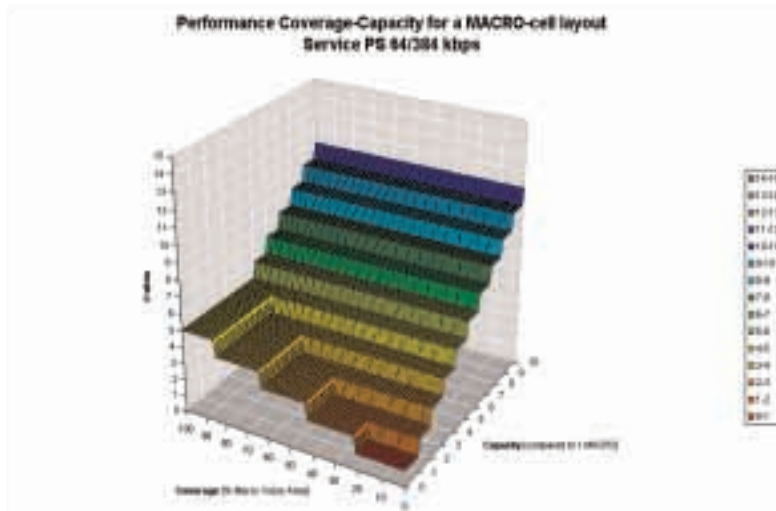


Fig. 23

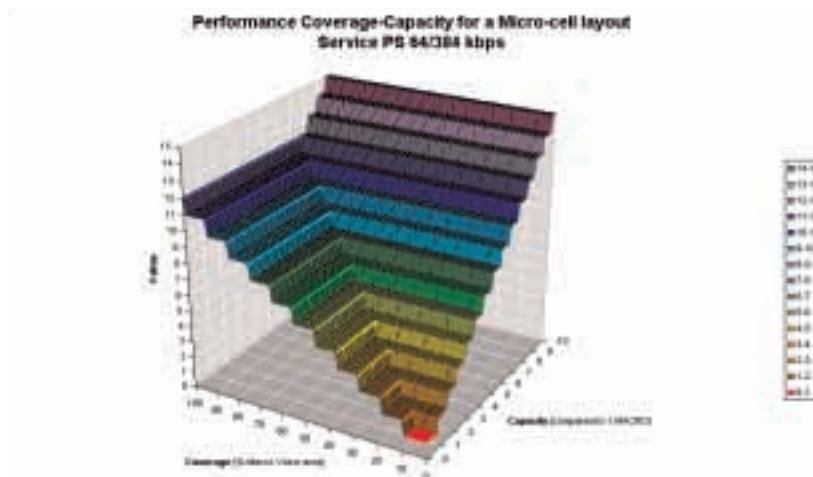


Fig. 25

## A 4.8 Qualità del servizio ai piani superiori degli edifici

I capitoli precedenti hanno finora preso in esame esclusivamente le prestazioni di copertura/capacità di un layer micro-cellulare valutate a livello delle strade.

Normalmente, però, all'interno di un'area urbana il traffico telefonico è distribuito non solo in orizzontale ma anche, e in certi casi soprattutto, in verticale, in ambiente indoor, all'interno degli edifici.

E', quindi, giustificata un'analisi della copertura e della capacità stimate anche ai piani superiori delle case.

L'indagine condotta in questo capitolo prende in esame 6 differenti quote, dal primo al sesto piano, oltre al piano terra già esaminato.

Dal momento che al piano terra la quota di valutazione della copertura è stata posta pari a 1.5 m, e ipotizzando un'altezza di 3 m circa per ogni piano, le sei nuove quote di valutazione della copertura risultano rispettivamente 4.5, 7.5, 10.5, 13.5, 16.5, 19.5 m.

### A 4.8.1 Propagazione del segnale elettromagnetico

La figura seguente mostra il comportamento, al crescere del piano, del segnale ricevuto sulla verticale dell'area di Best Server al piano terra, lungo le strade in cui al piano terra si verifica la condizione di LOS con l'antenna. Sono riportati i delta relativi al livello di segnale al piano terra per tre dei siti micro nell'area finora esaminata.

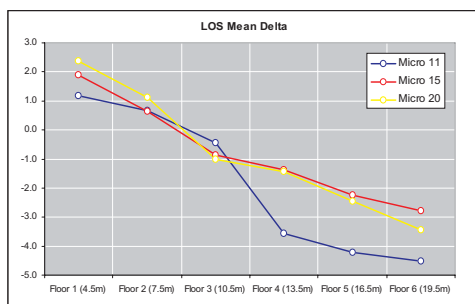


Fig.24 - Comportamento della Best Server al crescere del piano (LOS al piano terra)

Nella figura seguente, viene invece eseguita la stessa analisi, nella medesima area di Best Server, ma laddove la condizione di LOS non è verificata. Anche qui i valori riportati sono i delta relativi al livello ricevuto al piano terra.

Nella figura seguente, viene invece eseguita la stessa analisi, nella medesima area di Best Server, ma laddove la condizione di LOS non è verificata. Anche qui i valori riportati sono i delta relativi al livello ricevuto al piano terra.

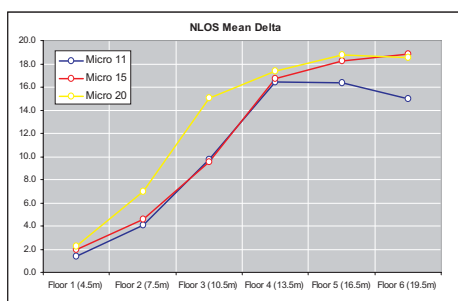


Fig. 25 - Comportamento della Best Server al crescere del piano (NLOS al piano terra)

Nelle figure 24 e 25, la pendenza con cui il segnale servente decade e quello interferente cresce tende a diminuire al crescere della quota (tipicamente nel nostro caso questo avviene in prossimità del 4° piano), in quanto si riduce il numero di palazzi con altezza superiore alla quota in esame, e quindi non ancora “superati”.

La figura seguente mostra la distribuzione statistica delle altezze degli edifici nell’area presa in esame:

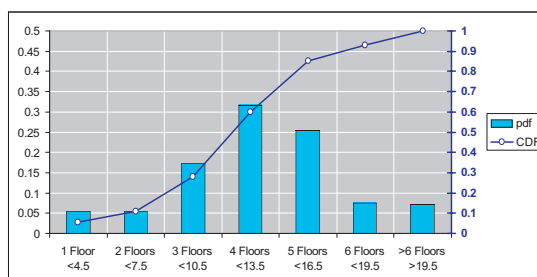


Fig.26 - Distribuzione statistica dell’altezza dei palazzi

Si noti che l'altezza media dei palazzi è proprio di 4 piani, e che solo il 15 % degli edifici supera i 5 piani di altezza.

#### A 4.8.2 Impatto sulle aree di Best Server e sulle aree di Soft HO

Qui di seguito si riportano, per i tre siti esaminati, le mappe di Best Server relative ai piani superiori, dalle quali è possibile valutare gli effetti della propagazione sulle coperture a diverse quote in uno scenario micro-cellulare (non ci sono sostanziali differenze fra la mappa al primo piano e quella al piano terra):

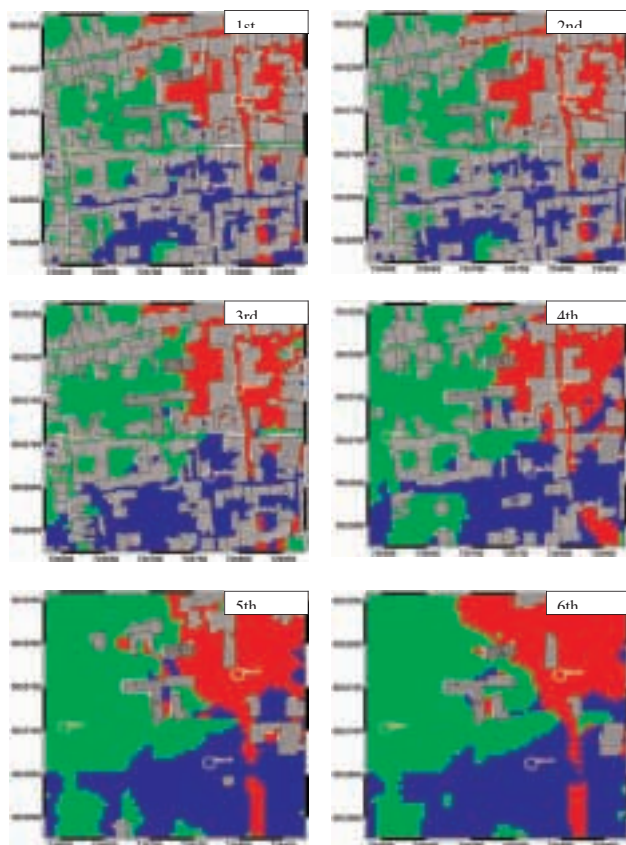
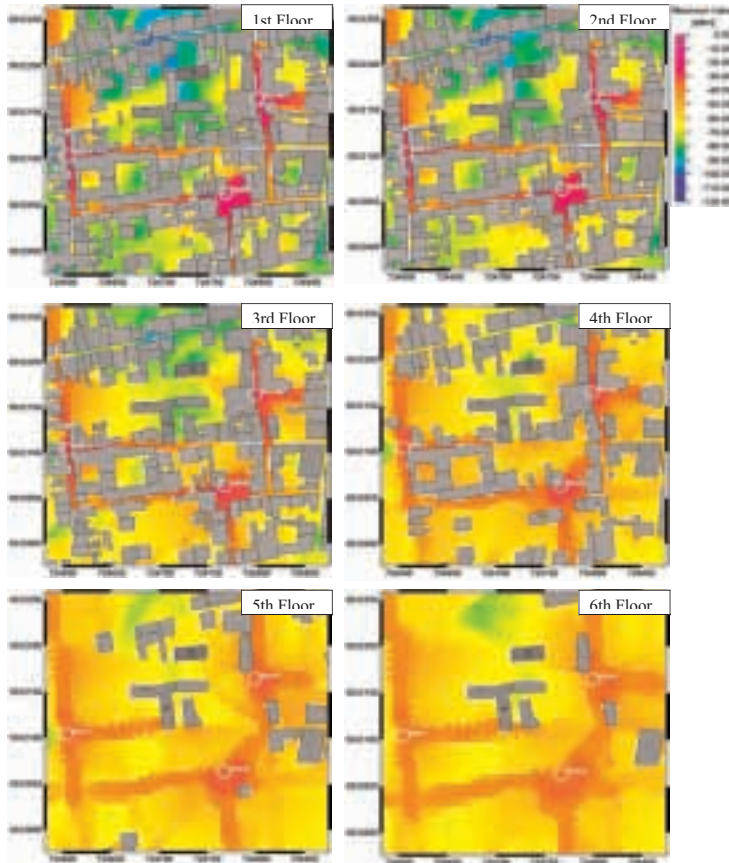


Fig.27 - Mappe di Best Server ai piani superiori

Dalle figure precedenti si può notare che i bordi copertura sono contesi fra le celle esaminate, ma nel complesso le aree di Best Server si mantengono abbastanza costanti, pur con livelli di copertura molto diversi, come si deduce dalle seguenti mappe:



*Fig.28 - Mappe di Coverage ai piani superiori*

Si osservi che il livello di segnale ricevuto tende a divenire omogeneo ai piani più alti, per cui anche i confini fra le celle risultano meno netti.

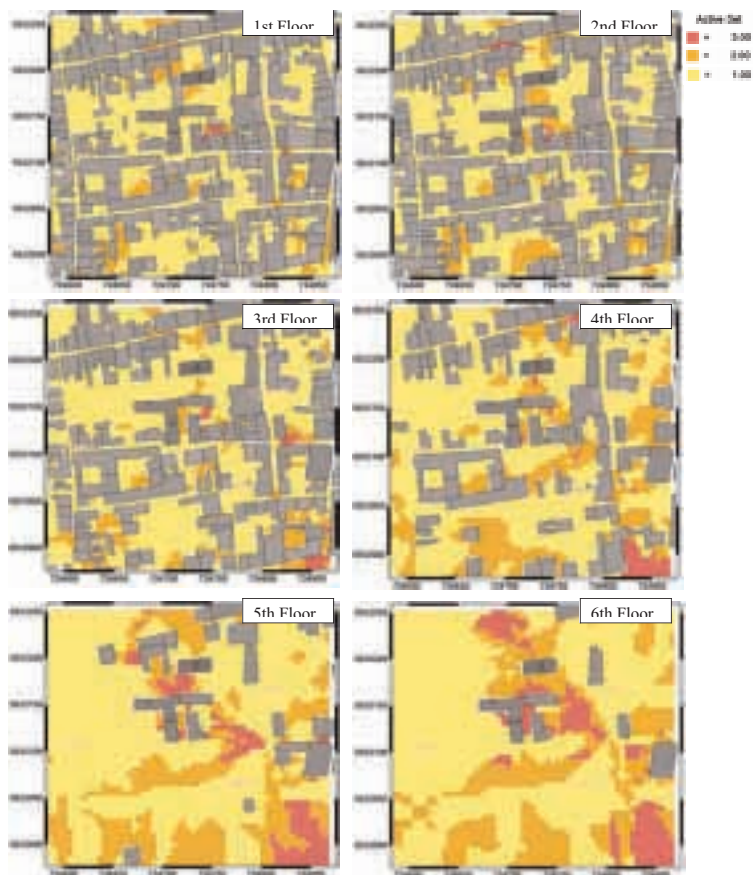


Fig.29 - Mappe di Active Set ai piani superiori

### A 4.8.3 Impatto dell'interferenza sulla copertura

Eseguendo un'analisi dell'interferenza ai vari piani limitatamente alle aree di soft HO, al fine di stimare il valore di interference ratio in prossimità del bordo di cella, si ottiene il risultato illustrato in figura:

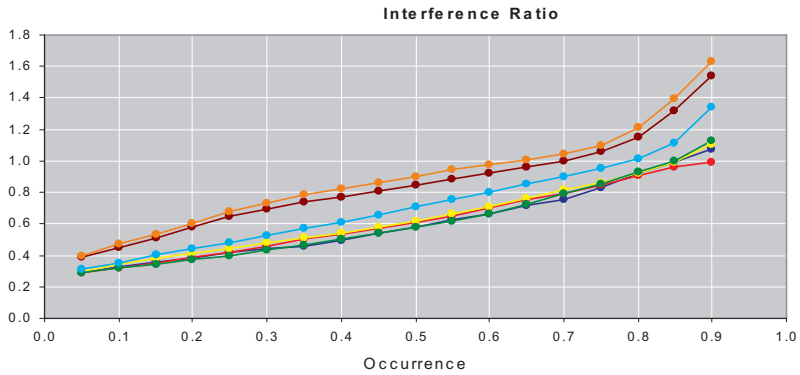


Fig.20 - Distribuzione statistica dei valori di interference ratio

Come si nota dalla figura, il valore mediano rimane circa costante fino al terzo piano, mentre varia sensibilmente ai piani superiori al terzo.

#### A 4.8.4 Prestazioni di copertura/capacità

L'analisi attraverso il tool di link budget delle prestazioni di una rete micro a quote maggiori del livello della strada conduce ai risultati riportati nella seguente tabella, espressi in termini di percentuale di copertura rispetto all'area di cella calcolata per servizio voce in uno scenario macro.

Floor	Voice	CS 64/64	PS 64/64	PS 64/128	PS 64/384
Gnd	100%	100%	100%	70.5%	62.9%
1 <sup>st</sup>	100%	100%	100%	66.7%	59.1%
2 <sup>nd</sup>	100%	100%	100%	65.6%	57.7%
3 <sup>rd</sup>	100%	100%	100%	70.5%	62.9%
4 <sup>th</sup>	100%	100%	100%	54.6%	43.9%

Tab.11- Percentuali di copertura micro per servizio ai diversi piani dei palazzi

Si è considerata come area di riferimento quella dove una cella standard garantisce il servizio in fonia; quindi, a parità di qualità di servizio possibile nell'area, ad 1 cella standard corrisponde un layer

di 7 micro con un conseguente incremento di 4 volte della capacità di traffico (Tab. 11) ed una estensione al 63% dell'area della fruibilità dei servizi dati ad alta velocità.

I numeri riportati in tabella indicano che per i primi 4 piani anche i servizi ad alto bit rate beneficiano di un sensibile incremento dell'estensione della copertura; al di sopra della quota rappresentata dal quarto piano dei palazzi il risultato prodotto dall'algoritmo di simulazione, che indica un progressivo decadimento del segnale utile a causa dell'aumento dell'interferenza dalle microcelle adiacenti, potrebbe non essere attendibile, dato il cospicuo incremento dello spazio libero da ostacoli.



## QUALITA' DEL SERVIZIO SU UMTS

---

### **Bibliografia**

“La qualità dei servizi nelle reti ICT“ - Linee Guida ISCOM  
Codice delle Comunicazioni Elettroniche - Pubblicato sulla  
Gazzetta Ufficiale N.214 del 15 Settembre 2003

Question(s): 5/2 STUDY GROUP 2 - CONTRIBUTION  
54, COM 2 - C 54 - E, ITU, QoS Handbook Editor's March  
2004

Quality of Service and Network Performance - 3GPP  
Technical Report 22.925 v. 3.1.1 -200

Quality of Service (QoS) concept and architecture - 3GPP  
Technical Specification 23.107 v. 6.0.0 - 2003

ETSI TS 122 105 V6.4.0 (2005-09) Universal Mobile  
Telecommunications System (UMTS); Services and service  
capabilities (3GPP TS 22.105 version 6.4.0 Release 6)

ITU-T E.800 (08/94) TERMS AND DEFINITIONS  
RELATED TO QUALITY OF SERVICE AND NET-  
WORK PERFORMANCE INCLUDING DEPENDABI-  
LITY





Tutte le Linee Guida Iscom sono scaricabili dal sito  
**[www.iscom.gov.it](http://www.iscom.gov.it)**

realizzazione GRAPHICLAB  
*SETTORE DIVULGAZIONE E COMUNICAZIONE ESTERNA ISCOM*

Stampa: Gruppo Grafiche Editoriali - Roma





*Ministero delle Comunicazioni*



**DIVULGAZIONE E  
COMUNICAZIONE ESTERNA**

*LINEE GUIDA ISCOM  
PUBBLICATE*

SICUREZZA DELLE RETI  
DALL'ANALISI DEL  
RISCHIO ALLE  
STRATEGIE DI  
PROTEZIONE

SICUREZZA DELLE RETI  
NELLE  
INFRASTRUTTURE  
CRITICHE

LA QUALITÀ DEI SERVIZI  
NELLE RETI ICT

GESTIONE DELLE  
EMERGENZE LOCALI

RISK ANALYSIS  
APPROFONDIMENTI

QUALITÀ DEL SERVIZIO  
SU UMTS

QUALITÀ DEI SERVIZI  
PER LE PMI SU RETI  
FISSE A LARGA BANDA

CERTIFICAZIONE DELLA  
SICUREZZA ICT

OUTSOURCING E  
SICUREZZA

