

# Progettazione Rete Radio UMTS

# Dimensionamento radio UMTS (INPUT)

## Copertura:

1. Regioni di copertura
2. Informazioni sulla tipologia dell'area.
3. Condizioni di propagazione.

## Capacità:

1. Spettro disponibile.
2. Previsione sulla crescita degli abbonati.
3. Informazioni sulla densità del traffico.

## Qualità del servizio:

1. Probabilità di copertura.
2. Probabilità di blocco.
3. Throughput disponibile all'utente finale.

# Dimensionamento radio

1. Bilancio di tratta.
2. Analisi della copertura.
3. Valutazione della capacità.
4. Stima del numero di siti.
5. Equipaggiamento hardware delle stazioni base, del numero di RNC, degli elementi di Core Network.

	Terminale voce	Terminale dati
Potenza di trasmissione massima	21 dBm	24 dBm
Guadagno di antenna	0 dBi	2 dBi
Attenuazione dovuta alla presenza corpo umano (body loss)	3 dB	0 dB

Tabella 8.1. Ipotesi relative alla stazione mobile

Cifra di rumore	5,0 dB
Guadagno di antenna	18 dBi (stazione base a 3 settori)
$E_b/N_o$ richiesto	Fonia: 5.0 dB Trasmissione dati <i>real time</i> a 144 kbit/s: 1.5 dB Trasmissione dati non <i>real time</i> a 384 kbit/s: 1.0 dB
Attenuazione cavi	2.0 dB

Tabella 8.2. Ipotesi relative alla stazione base

Servizio voce 12.2 kbit/s (120 km/h. utenti a bordo di veicoli)	
<b>Trasmettitore (mobile)</b> Massima potenza di trasmissione mobile [W] Come sopra in dBm Guadagno antenna mobile [dBi] Attenuazione corpo umano [dB] Potenza equivalente irradiata da un radiatore isotropo (EIRP) [dBm]	0.125 21.0 a 0.0 b 3.0 c 18.0 $d = a + b - c$
<b>Ricevitore (stazione base)</b> Densità di rumore termico [dBm/Hz] Cifra di rumore ricevitore stazione base [dB] Densità di rumore ricevitore [dBm/Hz] Potenza di rumore ricevitore [dBm] Margine di interferenza [dB] Potenza di interferenza ricevitore [dBm] Rumore effettivo totale + interferenza [dBm] Guadagno di processo [dB] $E_p/N_0$ richiesto [dB] Sensibilità ricevitore [dBm]	-174.0 e 5.0 f -169.0 $g = e + f$ -103.2 $h = g + 10 \cdot \log(3840000)$ 3.0 i -103.2 $j = 10 \cdot \log(10^{(h+i)/10} - 10^{(h/10)})$ -100.2 $k = 10 \cdot \log(10^{(h/10)} + 10^{(j/10)})$ 25.0 $l = 10 \cdot \log(3840/12,2)$ 5.0 m -120.2 $n = m - l + k$
Guadagno di antenna stazione base [dBi] Attenuazione cavi nella stazione base [dB] Margine di <i>fast fading</i> [dB] Attenuazione di propagazione max. [dB]	18.0 o 2.0 p 0.0 q 154.2 $r = d - n + o - p - q$
Probabilità di copertura [%] Deviazione standard fading log-normale [dB] Esponente modello di propagazione Margine di fading log-normale [dB] Guadagno di handover soft [dB], multi-cella Attenuazione a (in car loss) bordo veicolo [dB]	95 7.0 3.52 7.3 s 3.0 t 8.0 u
Attenuazione di propagazione consentita per il raggio della cella [dB]	141.9 $v = r - s + t - u$

lla 8.3. Bilancio di tratta di riferimento per il servizio voce AMR 12.2 kbit/s (120 km/h. utenti a bordo

**Tabella 8.4. Bilancio di tratta di riferimento per il servizio trasmissione dati *real time* 144 kbit/s (3 km/h, utente *indoor*, coperto da stazione base esterna, canale *Vehicular A*, con *soft handover*)**

<b>Trasmettitore (mobile)</b>	
Massima potenza di trasmissione mobile [W]	0.25
Come sopra in dBm	24.0    a
Guadagno antenna mobile [dBi]	2.0    b
Attenuazione corpo umano [dB]	0.0    c
Potenza equivalente irradiata da un radiatore isotropo (EIRP) [dBm]	26.0 $d = a + b - c$
<b>Ricevitore (stazione base)</b>	
Densità di rumore termico [dBm/Hz]	-174.0    e
Cifra di rumore ricevitore stazione base [dB]	5.0    f
Densità di rumore ricevitore [dBm/Hz]	-169.0 $g = e + f$
Potenza di rumore ricevitore [dBm]	-103.2 $h = g + 10 \cdot \log(3840000)$
Margine di interferenza [dB]	3.0    i
Potenza di interferenza ricevitore [dBm]	-103.2 $j = 10 \cdot \log(10^{(h+i)/10} - 10^{(h/10)})$
Rumore effettivo totale + interferenza [dBm]	-100.2 $k = 10 \cdot \log(10^{(h/10)} + 10^{(j/10)})$
Guadagno di processo [dB]	14.3 $l = 10 \cdot \log(3840/144)$
$E_b/N_0$ richiesto [dB]	1.5    m
Sensibilità ricevitore [dBm]	-113.0 $n = m - l + k$
Guadagno di antenna stazione base [dBi]	18.0    o
Attenuazione cavi nella stazione base [dB]	2.0    p
Margine di fast fading [dB]	4.0    q
Attenuazione di propagazione max. [dB]	151.0 $r = d - n + o - p - q$
Probabilità di copertura [%]	80
Deviazione standard fading log-normale [dB]	12.0
Esponente modello di propagazione	3.52
Margine di fading log-normale [dB]	4.2    s
Guadagno di soft handover [dB], multi-cella	2.0    t
Attenuazione indoor [dB]	15.0    u
Attenuazione di propagazione consentita per il raggio della cella [dB]	133.8 $v = r - s + t - u$

**Tabella 8.5. Bilancio di collegamento di riferimento per il servizio trasmissione dati *non real time* 384 kbit/s (3 km/h. utente all'aperto, canale *Vehicular A*. senza *soft handover*)**

<b>Trasmettitore (mobile)</b> Massima potenza di trasmissione mobile [W] Come sopra in dBm Guadagno antenna mobile [dBi] Attenuazione corpo umano [dB] Potenza equivalente irradiata da un radiatore isotropo (EIRP) [dBm]	0.25 24.0 a 2.0 b 0.0 c 26.0 $d = a + b - c$
<b>Ricevitore (stazione base)</b> Densità di rumore termico [dBm/Hz] Cifra di rumore ricevitore stazione base [dB] Densità di rumore ricevitore [dBm/Hz] Potenza di rumore ricevitore [dBm] Margine di interferenza [dB] Potenza di interferenza ricevitore [dBm] Rumore effettivo totale + interferenza [dBm] Guadagno di processo [dB] $E_b/N_0$ richiesto [dB] Sensibilità ricevitore [dBm]	-174.0 e 5.0 f -169.0 $g = e + f$ -103.2 $h = g + 10 \cdot \log(3840000)$ 3.0 i -103.2 $j = 10 \cdot \log(10^{(h+i)}/10 - 10^{(h/10)})$ -100.2 $k = 10 \cdot \log(10^{(h/10)} + 10^{(j/10)})$ 10.0 $l = 10 \cdot \log(3840/384)$ 1.0 m -109.2 $n = m - l + k$
Guadagno di antenna stazione base [dBi] Attenuazione cavi nella stazione base [dB] Margine di fast fading [dB] Attenuazione di propagazione max. [dB]	18.0 o 2.0 p 4.0 q 147.2 $r = d - n + o - p - q$
Probabilità di copertura [%] Deviazione standard fading log-normale [dB] Esponente modello di propagazione Margine di fading log-normale [dB] Guadagno di soft handover [dB], multi-cella Attenuazione indoor [dB]	95 7.0 3.52 7.3 s 0.0 t 0.0 u
Attenuazione di propagazione consentita per il raggio della cella [dB]	139.9 $v = r - s + t - u$

# Raggio di copertura

Considerando un modello di propagazione di Okumura-Ikegami.

Attenuazione di propagazione (dB) per una macrocella urbana, considerando un'altezza di antenna della stazione base di 30m, un'altezza di antenna del mobile di 1,5m ed una frequenza portante di 1950 MHz (R è il raggio in Km):

$$L = 137.4 + 35.2 \log_{10}(R)$$

Attenuazione di propagazione (dB) per aree suburbane dove si è ipotizzato un fattore di correzione d'area aggiuntiva di 8 dB:

$$L = 129.4 + 35.2 \log_{10}(R)$$

# Fattore di carico in Up-link

$$(E_b / N_0) = \text{guadagno di processo utente}_j \cdot \frac{\text{potenza segnale utente}_j}{\text{potenza totale ricevuta (a meno della potenza del segnale utile)}}$$

$$(E_b / N_0) = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{total} - P_j}$$

$W$  – chip rate

$P_j$  – potenza del segnale ricevuto dall'utente  $j$

$v_j$  – coeff. di attività dell'utente  $j$

$R_j$  – velocità di trasmissione dell'utente  $j$

$I_{total}$  – potenza totale a larga banda ricevuta che comprende anche la potenza del rumore termico nella stazione

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \cdot I_{total}$$

# Fattore di carico in Up-link

Ponendo  $P_j = L_j \cdot I_{total}$  si ottiene il fattore di carico  $L_j$  di una connessione:

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}}$$

L'interferenza ricevuta totale, escluso il rumore termico  $P_N$ , può essere espressa come la somma delle potenze ricevute da tutti gli  $N$  utenti presenti nella stessa cella

$$I_{total} - P_N = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{total}$$

# Noise Rise

Il *noise rise* è definito come il rapporto tra la potenza a banda larga ricevuta totale e la potenza di rumore:

$$\text{Noise rise} = \frac{I_{total}}{P_N}$$

In cui il fattore di carico  $\eta_{UL}$  è stato definito come:

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j$$

Quando si avvicina a 1 il corrispondente incremento di rumore tende a infinito e il sistema ha raggiunto la sua capacità limite (cosiddetta *pole capacity*). Inoltre, l'interferenza proveniente da altre celle deve essere tenuta in considerazione nel calcolo del fattore di carico definendo un rapporto  $i$ :

$$i = \frac{\text{interferenza intercella}}{\text{interferenza intracella}}$$

# Noise Rise

Il fattore di carico in uplink può quindi essere riscritto come:

$$\eta_{UL} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}}$$

$$\frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j} \gg 1$$

$$\eta_{UL} = \frac{E_b / N_0}{W / R} \cdot N \cdot v \cdot (1+i)$$

	Definizioni	Valori raccomandati
$N$	Numero di utenti per cella	
$v_j$	Fattore di attività dell'utente $j$ al livello fisico	<b>0,67</b> per fonia, nell'ipotesi di un'attività vocale del 50% e "overhead" per l'invio del DPCCH durante il DTX <b>1,0</b> per i dati
$E_b/N_o$	Energia del segnale per bit su densità spettrale di rumore richiesta per ottenere la Qualità del Servizio stabilita (ad.es., BER). Il rumore include sia il rumore termico che l'interferenza	In funzione del servizio, della velocità di trasmissione, del canale con <i>multipath</i> , della diversità di spazio in ricezione, della velocità del mobile, ecc.
$W$	Chip rate WCDMA	<b>3,84</b> Mchip/s
$R_j$	Velocità di trasmissione utente $j$	In funzione del servizio
$i$	Rapporto fra interferenza intercella e interferenza intracella visto dal ricevitore della stazione base	Ambiente macrocellulare con antenne omnidirezionali: <b>55%</b>

**Tabella 8.6. Parametri utilizzati per il calcolo del fattore di carico *uplink***

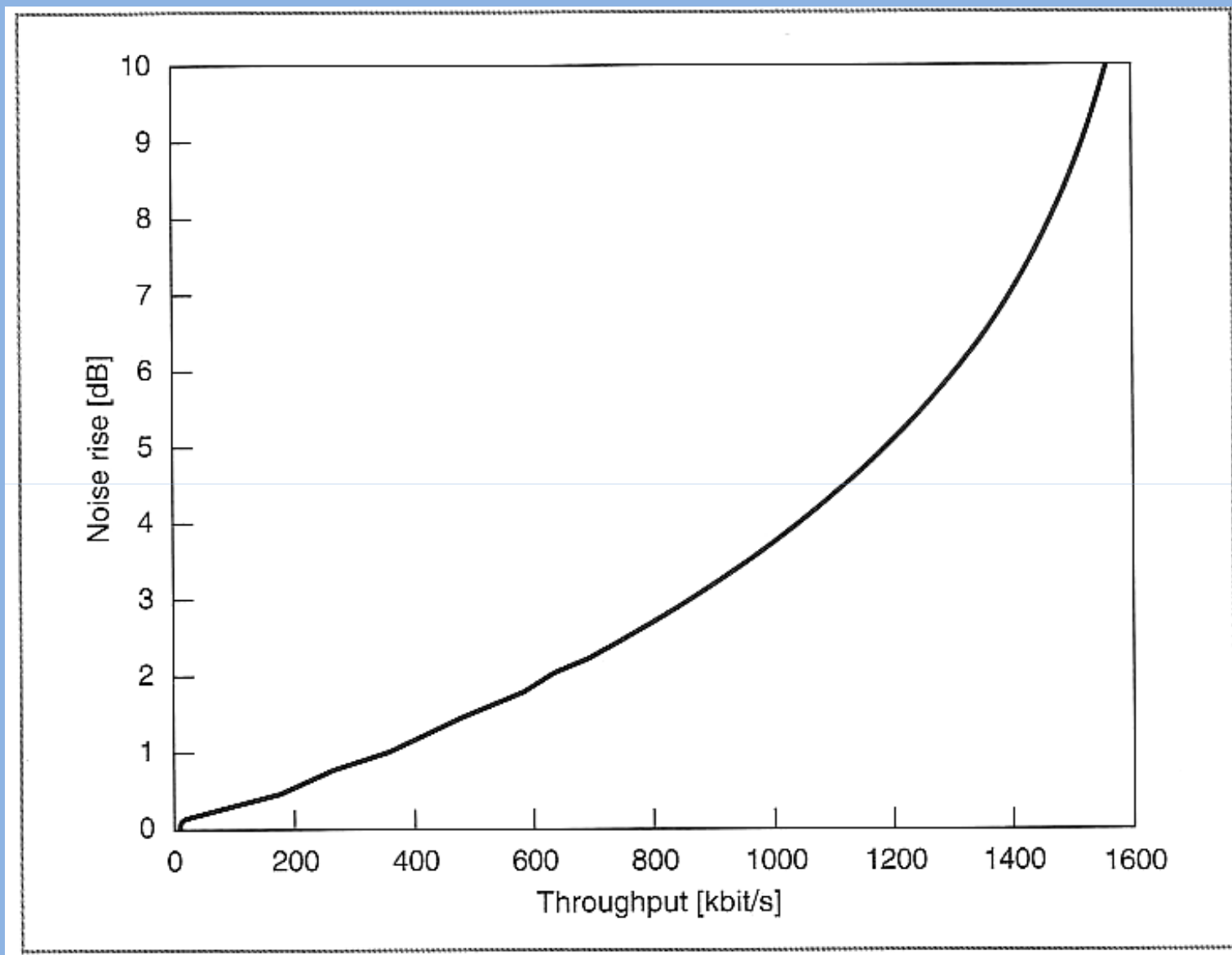


Figura 8.2. Incremento del *noise rise* in funzione del *throughput* dei dati (*uplink*)

# Fattore di carico in down-link

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b / N_0)_j}{W / R_j} \cdot \left[ (1 - \alpha_j) + i_j \right]$$

	Definizione	Valori consigliati per il dimensionamento
$N$	Numero di connessioni per cella = numero di utenti per cella* (1 + overhead di <i>soft handover</i> )	
$v_j$	Fattore di attività dell'utente $j$ a livello fisico	<b>0.67</b> per fonia, nell'ipotesi di un'attività vocale del 50% e del <i>overhead</i> del DPCCH, durante il DTX, <b>1.0</b> per i dati
$E_b/N_o$	Energia del segnale per bit divisa per la densità spettrale di rumore richiesta per ottenere la Qualità del Servizio stabilita (ad es., BER). Il rumore include sia il rumore termico che l'interferenza	Dipendente dal servizio, dalla velocità di trasmissione, dal canale <i>multipath</i> , dalla diversità di spazio in ricezione, dalla velocità del mobile, ecc.
$W$	Chip rate WCDMA	<b>3.84 Mcps</b>
$R_j$	Bit rate dell'utente $j$	Dipendente dal servizio
$\alpha_j$	Ortogonalità del canale dell'utente $j$	Dipendente dalla propagazione <i>multipath</i> 1: completamente ortogonale 0: non ortogonale
$i_j$	Rapporto tra la potenza delle stazioni radio base delle altre celle e la potenza della propria cella, ricevute dall'utente $j$	Ogni utente vede un $i_j$ diverso, in funzione della sua posizione nella cella e dallo <i>shadowing</i> log-normale
$\bar{\alpha}$	Fattore di ortogonalità medio della cella	Valore ITU per un canale A veicolare: ~ <b>60%</b> Valore ITU per un canale A pedonale: ~ <b>90%</b>
$\bar{I}$	Valore medio del rapporto tra la potenza delle stazioni radio base delle altre celle e la potenza della propria cella, ricevute dall'utente $j$ . L'interferenza della propria cella è, qui, a larga banda	Ambiente macrocellulare con antenne omnidirezionali: <b>55%</b>

## Parametri per il fattore di carico in downlink

$$BS\_TxP = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \overline{L} \cdot \sum_{j=1}^N v_j \frac{(E_b / N_0)_j}{W / R_j}}{1 - \overline{\eta_{DL}}}$$

$$N_{rf} = k \cdot T + NF = -174.0dBm + NF \text{ assumendo } T = 290K$$

Dove k è la costante di Boltzmann pari a  $1.381 \cdot 10^{-23}$  J/K, T è la temperatura in Kelvin e NF è la cifra di rumore del ricevitore della stazione mobile il cui valore tipico è 5-9 dB.

Il fattore di carico può essere approssimato dal suo valore medio nella cella, vale a dire:

$$\overline{\eta_{DL}} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b / N_0)_j}{W / R_j} \cdot \left[ (1 - \overline{\alpha}) + \overline{i_j} \right]$$

Canale comune downlink	Attività	Percentuale della potenza massima della stazione base	Potenza assegnata (potenza massima 20 W)
Canale pilota comune CPICH	100%	10%	2 W
Canale di sincronizzazione primario SCH	10%	6%	1.2 W
Canale di sincronizzazione secondario SCH	10%	4%	0.8 W
Canale fisico di controllo comune primario CCPCH	90%	5%	1 W
Potenza totale dei canali comuni		~15%	~3 W

Tabella 8.8. Potenze tipiche per i canali comuni *downlink* [6]

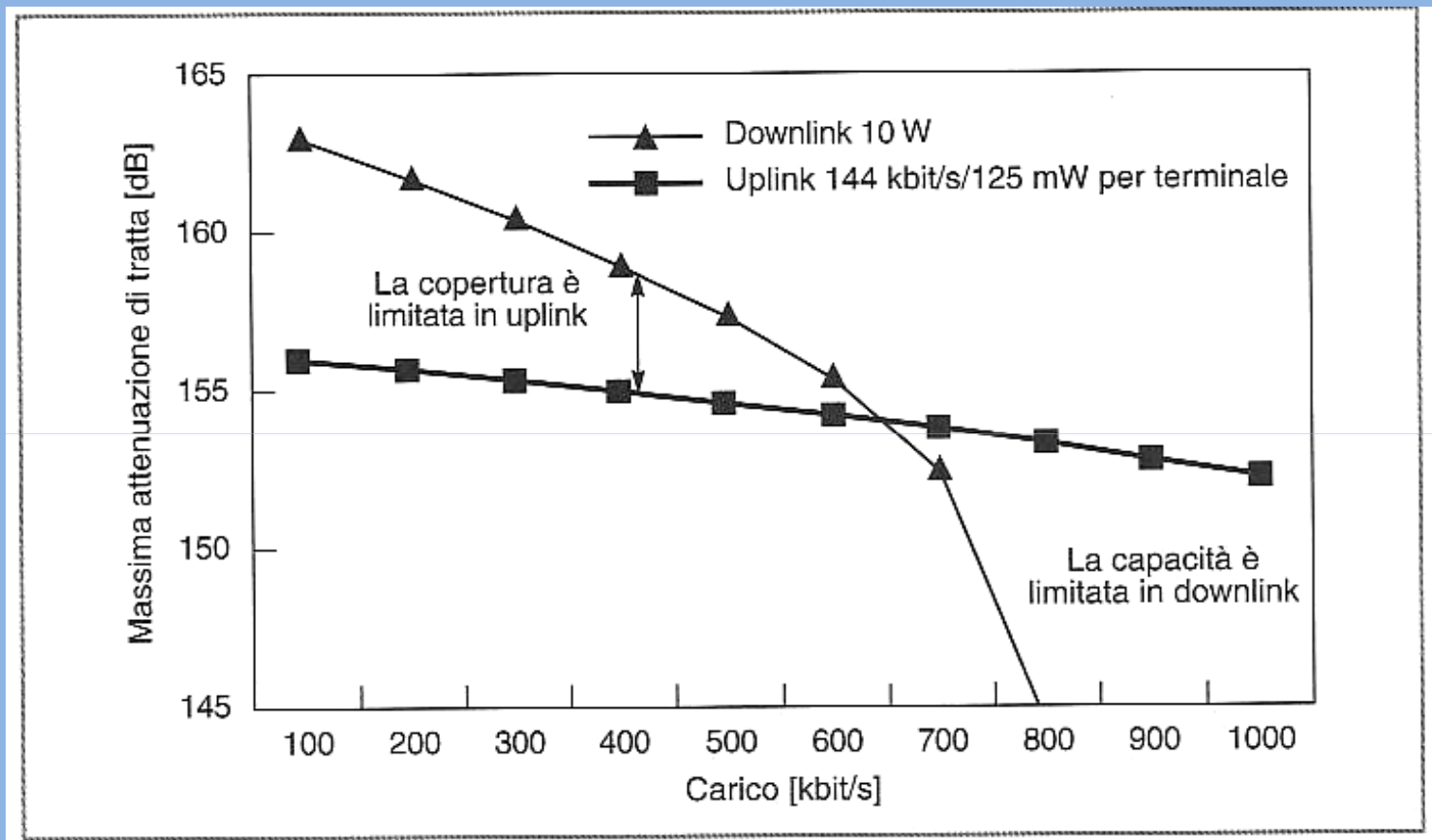


Figura 8.3. Esempio di relazione tra copertura e capacità in *downlink* e *uplink* nel caso macrocellulare

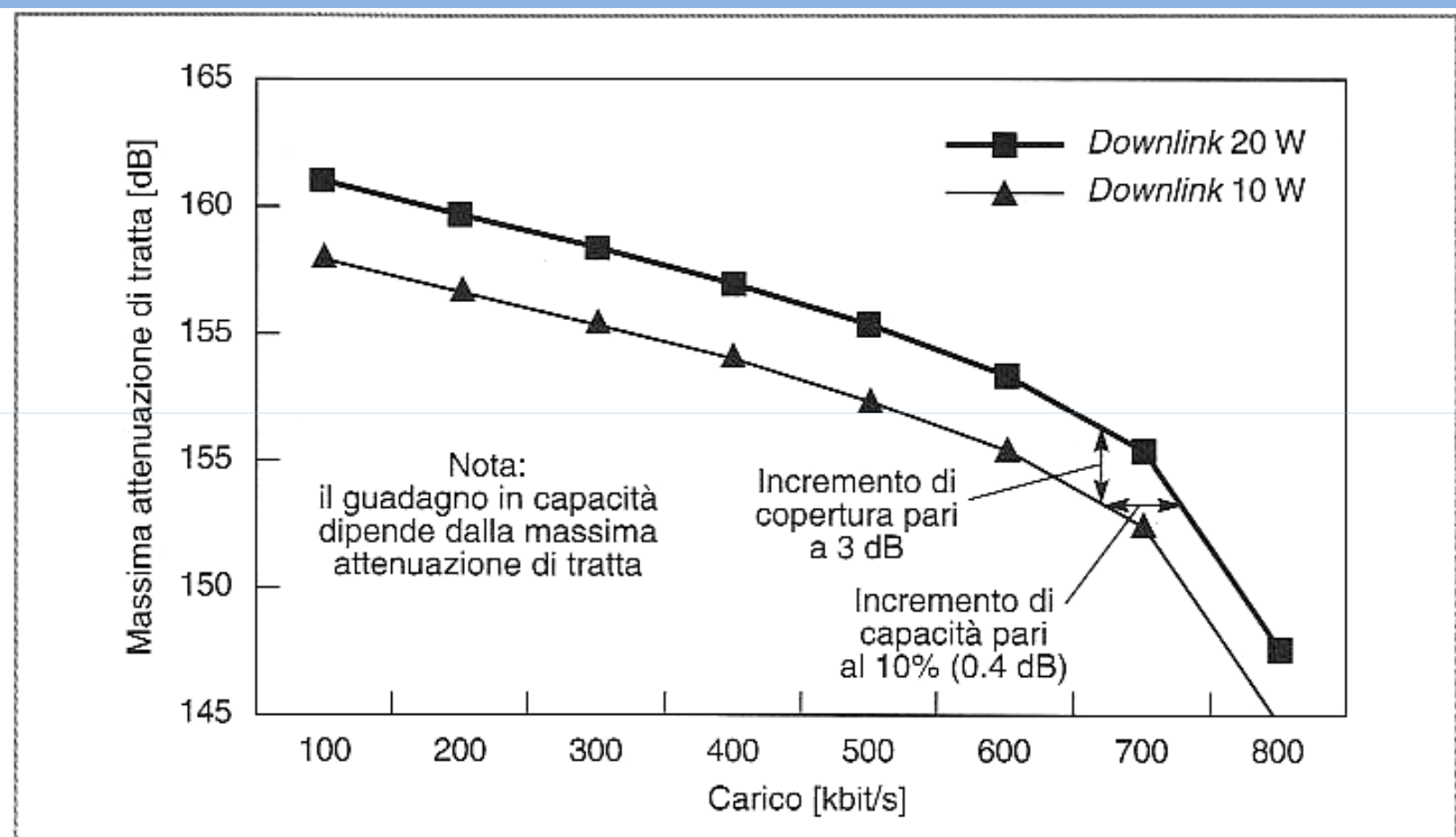


Figura 8.4. Effetto della potenza di uscita della stazione base su capacità e copertura in *downlink*

# Incremento della capacità (1/3)

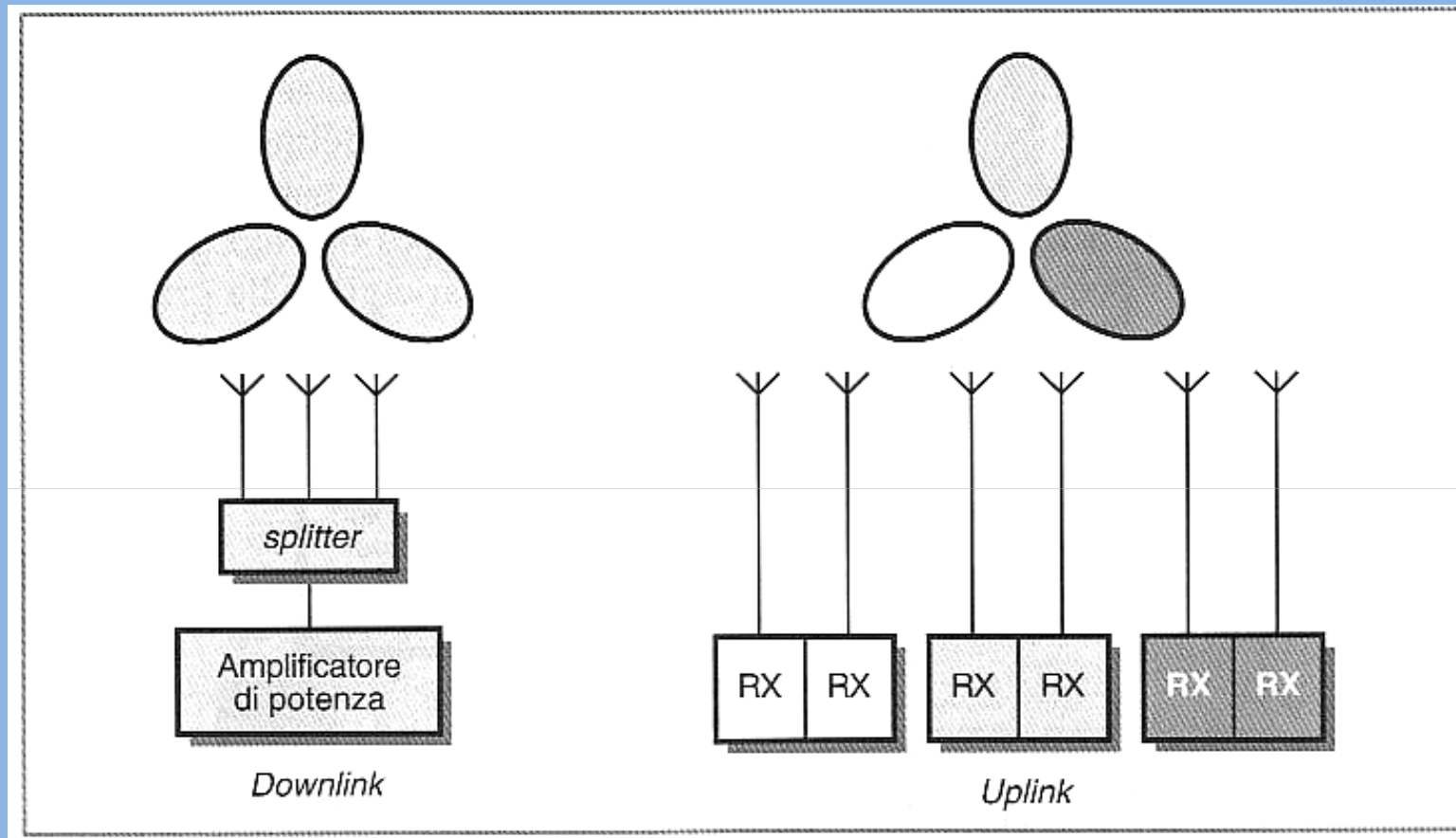


Figura 8.5. Uplink a 3 settori con diversità del ricevitore e un singolo amplificatore di potenza sul *downlink*

# Incremento della capacità (2/3)

Copertura <i>uplink</i>	Uguale alla configurazione normale a 3 settori
Capacità <i>downlink</i>	28% del <i>downlink</i> a 3 settori
Numero di settori logici (RNC)	Uno

Tabella 8.9. *Uplink* a 3 settori, *downlink* omni

# Incremento della capacità (3/3)

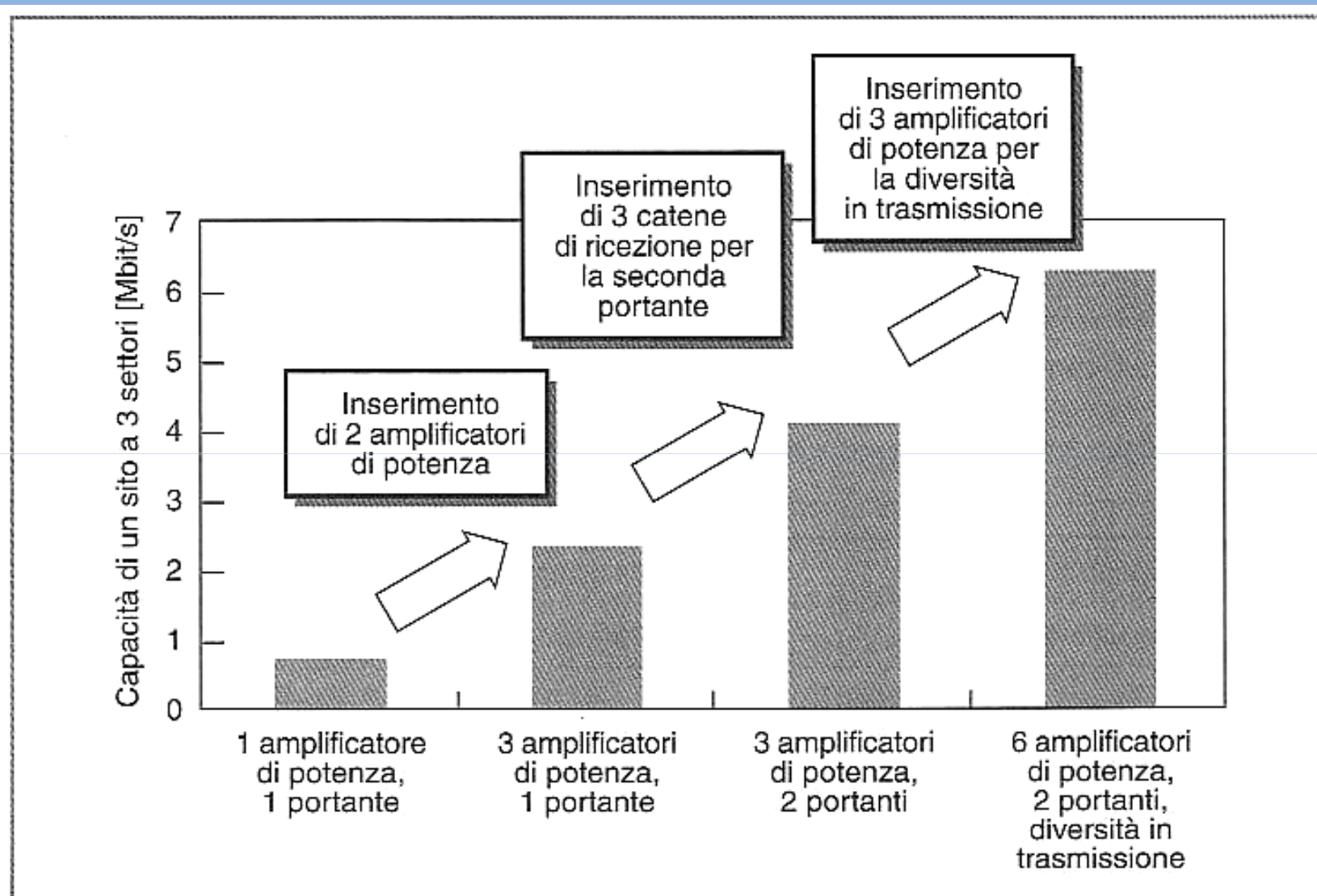


Figura 8.6. Esempio di potenziamento della capacità per un sito macrocellulare a 3 settori

# Capacità per km<sup>2</sup> (1/2)

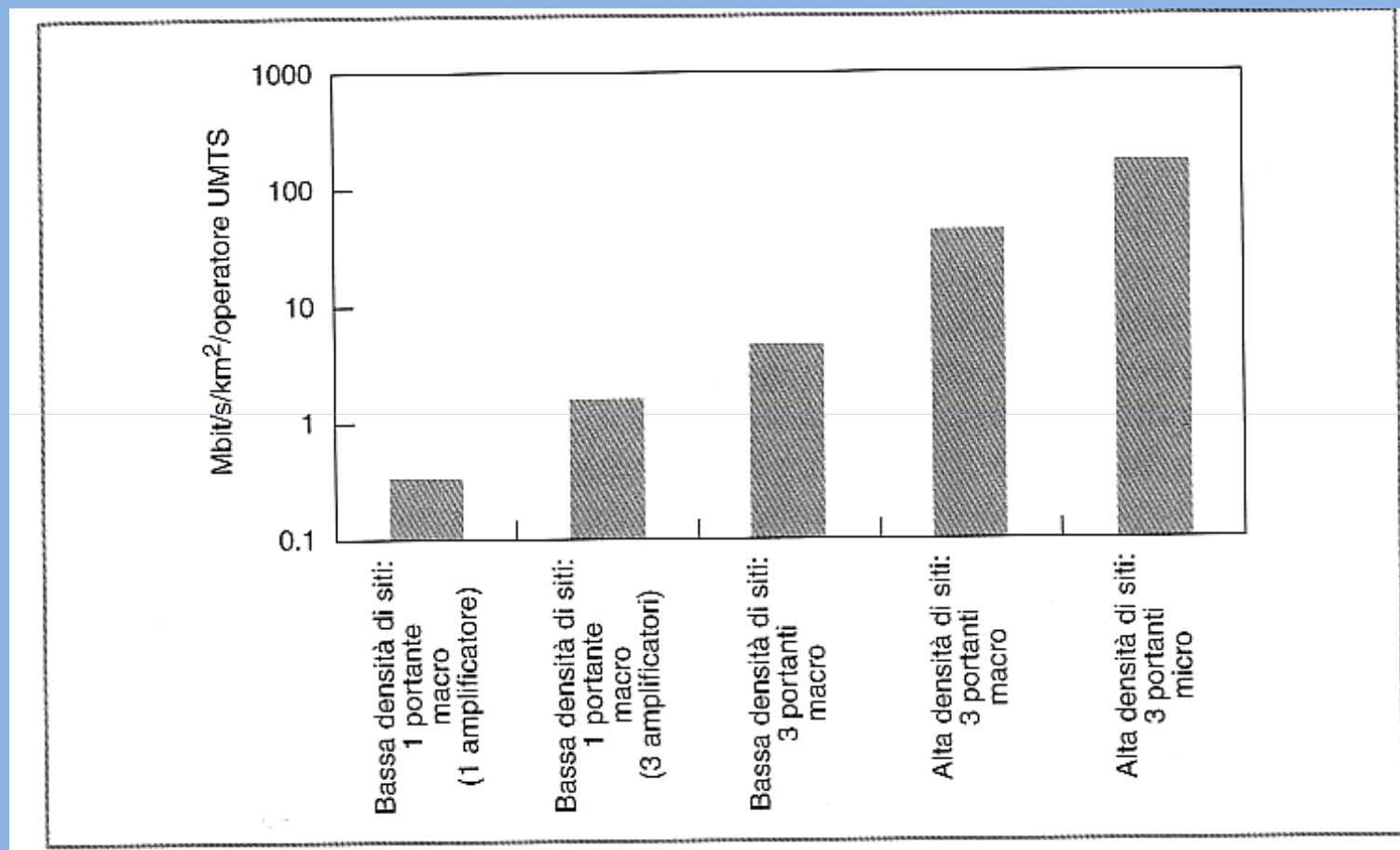


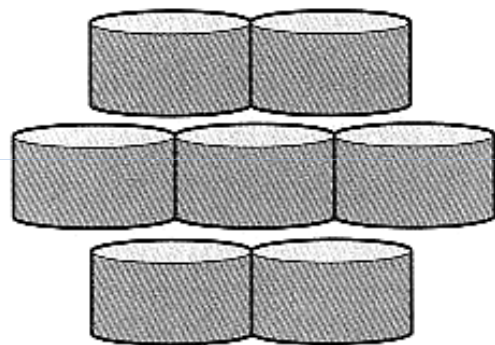
Figura 8.7. Capacità per km<sup>2</sup> per un operatore UMTS con livelli macro e micro

# Capacità per km<sup>2</sup> (2/2)

	Livello macrocellulare	Livello microcellulare
Capacità per sito per portante con un amplificatore di potenza	630 kbit/s	-
Capacità massima per sito per portante	3 Mbit/s con 3 settori	2 Mbit/s
Capacità per sito con 3 frequenze UMTS	9 Mbit/s	6 Mbit/s
Bassa densità di siti iniziale	0.5 siti/km <sup>2</sup>	-
Massima densità di siti	5 siti/km <sup>2</sup>	30 siti/km <sup>2</sup>
Capacità massima	45 Mbit/s/km <sup>2</sup>	180 Mbit/s/km <sup>2</sup>

Tabella 8.10. Capacità tipiche per km<sup>2</sup> con livelli macro e micro in area urbana

Celle uniformemente caricate



Minor interferenza nelle celle adiacenti  
→ maggior capacità nella cella centrale

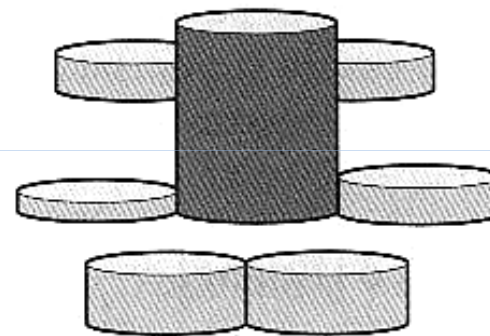


Figura 8.8. Condivisione dell'interferenza tra celle con il WCDMA

# Soft Capacity

$$\text{Densità di traffico [Erlang]} = \frac{\text{Tasso chiamate in arrivo [chiamate / s]}}{\text{Tasso chiamate terminate [chiamate / s]}}$$

$$\text{Soft capacity} = \frac{\text{Capacità Erlang con blocco soft}}{\text{Capacità Erlang con blocco hard}} - 1$$

$$\begin{aligned} 1 + i &= \frac{\text{interferenza intercella}}{\text{interferenza intracella}} + 1 = \frac{\text{interferenza intercella} + \text{interferenza intracella}}{\text{interferenza intracella}} \\ &= \frac{\text{capacità nel caso di cella isolata}}{\text{capacità nel caso multicella}} \end{aligned}$$

Velocità di trasmissione	Voce: 12.2 kbit/s Dati <i>real time</i> : 16-144 kbit/s
Attività vocale	Voce: 67% Dati: 100%
$E_b/N_o$	Voce: 4 dB Dati 16-32 kbit/s: 3 dB Dati 64 kbit/s: 2 dB Dati 144 kbit/s: 1.5 dB
$i$	0.55
Noise rise	3 dB (= fattore di carico 50%)
Probabilità di blocco	2%

**Tabella 8.11.** Ipotesi per il calcolo della *soft capacity*

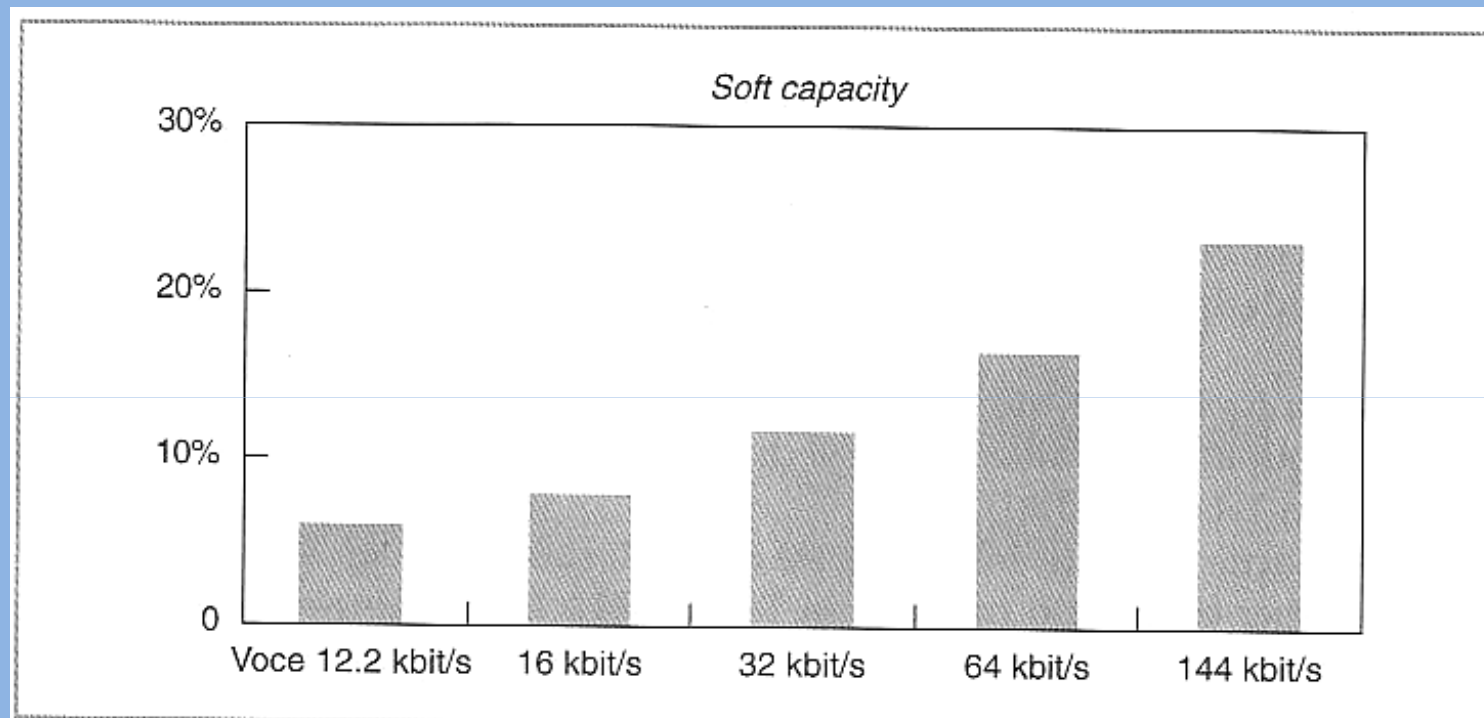


Figura 8.9. *Soft capacity* in funzione della velocità di trasmissione per collegamenti *real time*

Velocità di trasmissione (kbit/s)	Canali per cella	Capacità con blocco <i>hard</i>	Efficienza collegamento	Capacità con blocco <i>soft</i>	<i>Soft capacity</i>
12.2	60.5	50.1 Erl	83%	52.8 Erl	5%
16	39.0	30.1 Erl	77%	32.2 Erl	7%
32	19.7	12.9 Erl	65%	14.4 Erl	12%
64	12.5	7.0 Erl	56%	8.2 Erl	17%
144	6.4	2.5 Erl	39%	3.2 Erl	28%

Tabella 8.12. Calcolo della *soft capacity* in *uplink*

# Esempio: Valutazione delle prestazioni del link radio

Servizio in kbit/s	Utenti per servizio
8 kbit/s	1735
64 kbit/s	250
384 kbit/s	15

Tabella 8.13. Distribuzione utenti

Limite di carico <i>uplink</i>	75%
Potenza di trasmissione massima stazione base	20 W (43 dBm)
Potenza di trasmissione massima stazione mobile	300 mW (= 25 dBm)
Dinamica controllo potenza stazione mobile	70 dB
Correlazione <i>slow fading</i> (log-normale) tra stazioni base	50%
Deviazione <i>standard</i> dello <i>slow fading</i>	6 dB
Profilo canale <i>multipath</i>	ITU <i>Vehicular A</i>
Velocità stazione mobile	3 km/h e 50 km/h
Cifre di rumore stazione mobile/base	7 dB / 5 dB
Soglia di ingresso in <i>soft handover</i>	-6 dB
Potenza canale pilota	30 dBm
Potenza complessiva per altri canali comuni	30 dBm
Ortogonalità <i>downlink</i>	0.5
Fattore di attività vocale/dati	50% / 100%
Antenne stazione base	65° / 17 dBi
Antenne mobile voce/dati	Omni / 1.5 dBi

Tabella 8.14. Parametri utilizzati nel simulatore

Scenario di carico: velocità mobile 3 km/h, utenti serviti: 1805				
ID cella	Throughput UL (kbit/s)	Throughput DL (kbit/s)	Carico UL	SHO overhead
cella 1	728.00	720.00	0.50	0.34
cella 2	208.70	216.00	0.26	0.50
cella 3	231.20	192.00	0.24	0.35
cella 4	721.60	760.00	0.43	0.17
cella 5	1508.80	1132.52	0.75	0.22
cella 6	762.67	800.00	0.53	0.30
MEDIA (tutte le celle)	519.20	508.85	0.37	0.39
Scenario di carico: velocità mobile 50 km/h, utenti serviti: 1777				
ID cella	Throughput UL (kbit/s)	Throughput DL (kbit/s)	Carico UL	SHO overhead
cella 1	672.00	710.67	0.58	0.29
cella 2	208.70	216.00	0.33	0.50
cella 3	226.67	192.00	0.29	0.35
cella 4	721.60	760.00	0.50	0.12
cella 5	1101.60	629.14	0.74	0.29
cella 6	772.68	800.00	0.60	0.27
MEDIA	531.04	506.62	0.45	0.39
Scenario di carico: velocità mobile 50 km/h e 3 km/h, utenti serviti: 1802				
ID cella	Throughput UL (kbit/s)	Throughput DL (kbit/s)	Carico UL	SHO overhead
cella 1	728.00	720.00	0.51	0.34
cella 2	208.7	216.00	0.29	0.50
cella 3	240.00	200.00	0.25	0.33
cella 4	730.55	760.00	0.44	0.20
cella 5	1162.52	780.92	0.67	0.33
cella 6	772.68	800.00	0.55	0.32
MEDIA	525.04	513.63	0.40	0.39

<b>Scenario di carico:</b> velocità mobile 3 km/h	<b>Velocità mobile di prova:</b>	
	3 km/h	50 km/h
8 kbit/s	96.6%	97.7%
64 kbit/s	84.6%	88.9%
384 kbit/s	66.9%	71.4%
<b>Scenario di carico:</b> velocità mobile 50 km/h	<b>Velocità mobile di prova:</b>	
	3 km/h	50 km/h
8 kbit/s	95.5%	97.1%
64 kbit/s	82.4%	87.2%
384 kbit/s	63.0%	67.2%
<b>Scenario di carico:</b> velocità mobile 3 e 50 km/h	<b>Velocità mobile di prova:</b>	
	3 km/h	50 km/h
8 kbit/s	96.0%	97.5%
64 kbit/s	83.9%	88.3%
384 kbit/s	65.7%	70.2%

**Tabella 8.16. Risultati relativi alla probabilità di copertura**

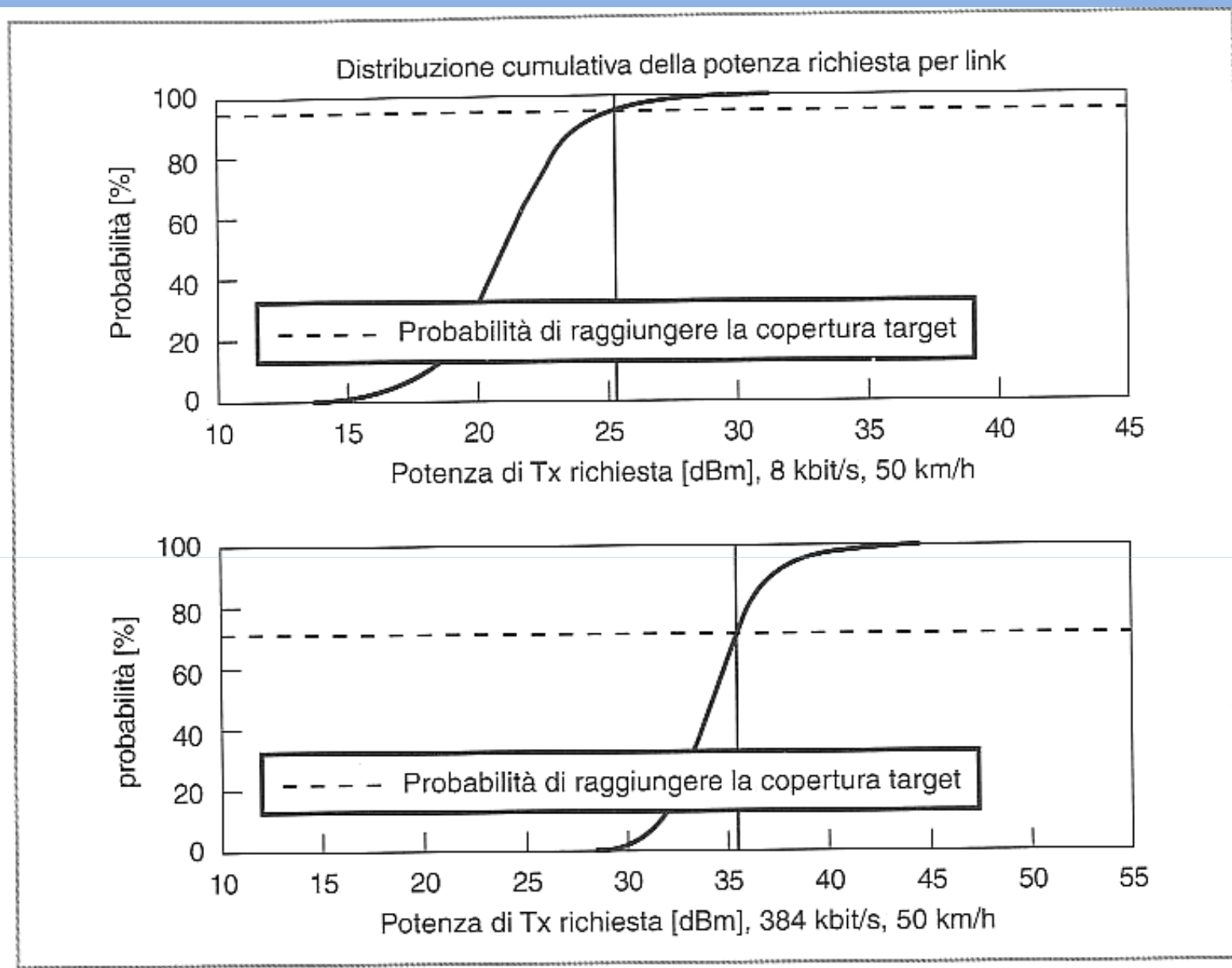


Figura 8.11. Esempio di analisi della copertura *downlink*. Per il servizio voce (8 kbit/s, 50 km/h) il limite per singolo collegamento è stato impostato su 25 dBm per ottenere una probabilità di copertura del 95%. Nel caso di 384 kbit/s e con una probabilità di copertura richiesta del 71% il limite per collegamento è di 35 dBm