

Reti mobile

1 Mobilità

Le **reti mobili** sono reti che supportano la mobilità degli utenti. Queste possono essere classificate in base al tipo di mobilità supportata:

Access Mobility: la mobilità è limitata a un'area intorno alla stazione di accesso alla rete (come nel caso di IEEE 802.11).

Terminal Mobility: ogni terminale è caratterizzato da un identificativo unico, può essere localizzato in ogni momento e può accedere alla rete mentre è in movimento.

Service Profile Portability: ogni utente è caratterizzato da un profilo che ne specifica le caratteristiche, compresi in particolare i servizi a cui è sottoscritto. Tale profilo è indipendente dal terminale utilizzato, e si sposta con l'utente anche da un service provider all'altro.

Personal Mobility: è l'integrazione di Terminal Mobility e Service Profile Portability.

2 Reti cellulari

La velocità di trasmissione delle reti wireless è limitata dalla porzione di spettro disponibile per la comunicazione. Se si vuole realizzare una rete mobile con copertura globale, che fornisca una connessione "always on" (sempre attiva) a un numero elevato di utenti, bisogna installare sul territorio numerosi punti di accesso alla rete (antenne), ma poiché lo spettro è limitato non è in pratica possibile assegnare a ciascun'antenna delle frequenze completamente diverse da quelle usate per tutte le altre antenne. Serve invece uno stratagemma per permettere il riuso delle stesse frequenze.

Una soluzione è data dalle **reti cellulari**: si suddivide il territorio in aree dette **celle**, e si assegna a ciascuna cella una porzione dello spettro, cioè un insieme di canali (frequenze). Due celle che sono a una distanza sufficiente da non interferire l'una con l'altra possono riutilizzare senza problemi gli stessi canali.

In ogni cella è presente un singolo punto di accesso fisso, chiamato **base station**, e ogni dispositivo (**mobile station** o **mobile terminal**) accede alla rete mediante la base station della cella in cui si trova al momento. Il raggio di copertura della base station determina i confini della cella.

3 Cluster

Un **cluster** è un *insieme di celle che esaurisce lo spettro a disposizione*, cioè l'insieme di frequenze disponibili (assegnate alle comunicazioni nella rete cellulare). Tutte le celle in un cluster usano frequenze diverse l'una dall'altra, mentre in cluster diversi ci sono celle che usano le stesse frequenze.

Il numero N di celle in un cluster è una misura del riuso dei canali, e dunque dell'efficienza del sistema:

- $N = 1$ significa che in ciascuna cella possono essere riusati tutti i canali. Così si massimizza il numero di utenti che possono essere serviti contemporaneamente, ovvero l'efficienza del sistema.

Un esempio di sistema con (almeno in linea di principio) $N = 1$ (cluster di una cella) è l'UMTS, che usa la tecnica *CDMA* (*Code Division Multiple Access*) per generare dei segnali *ortogonali*, i quali non interferiscono tra di loro anche se trasmessi sulla stessa frequenza.

- $N > 1$ vuol dire che i canali disponibili devono essere suddivisi tra le N celle del cluster, quindi ogni cella ha meno canali, e può allora servire meno utenti contemporaneamente. Più è grande N , meno sono gli utenti che possono essere serviti contemporaneamente, cioè minore è l'efficienza.

4 Distanza di riuso

La **distanza di riuso** D è la minima distanza tra i centri di due celle che possono riusare gli stessi canali senza interferire tra di loro. Indicando poi con R il raggio di copertura di ciascuna cella, si definisce la quantità

$$Q = \frac{D}{R}$$

che prende il nome di **rapporto di riuso co-canale**.

Se N è il numero di celle che formano il cluster, si dimostra che

$$Q = \sqrt{3N}$$

Dunque, dati R e N , la distanza di riuso può essere calcolata con la seguente formula inversa:

$$D = RQ = R\sqrt{3N}$$

Si osserva così che, a parità di raggio di copertura, aumentare il numero di celle per cluster permette di avere una distanza di riuso elevata, diminuendo la probabilità di interferenza (a scapito dell'efficienza del sistema).

5 Rapporto segnale / rumore interferente

Un altro parametro importante è il **rapporto segnale / rumore interferente**, un numero adimensionale che indica il rapporto tra la potenza del segnale S di una cella e il rumore I dovuto all'interferenza provocata da celle vicine che usano gli stessi canali (questo rapporto non considera qualunque altro tipo di rumore eventualmente presente). Questo rapporto è pari a

$$\frac{S}{I} = \frac{Q^\alpha}{i_0} = \frac{(3N)^{\alpha/2}}{i_0}$$

dove α è un **coefficiente di propagazione** (generalmente si ha $2 < \alpha < 5$), e i_0 è il numero di celle interferenti (tipicamente $i_0 = 4$ per celle di forma quadrata o circolare, e $i_0 = 6$ per celle di forma esagonale). Per avere un rapporto $\frac{S}{I}$ di almeno 18 dB (il valore minimo fissato dagli enti di standardizzazione), degli studi hanno dimostrato che sono necessarie almeno $N = 7$ celle per cluster.

6 Interferenza co-canale

Un ulteriore parametro che quantifica l'interferenza in una rete mobile è l'**interferenza co-canale**,

$$CCI = \frac{Q^\alpha}{2} = \frac{(3N)^{\alpha/2}}{2}$$

anch'essa un numero adimensionale.

Se si conosce i_0 , è possibile calcolare l'interferenza co-canale a partire dal rapporto segnale / rumore interferente, e viceversa. Infatti, le formule di $\frac{S}{I}$ e CCI hanno entrambe come numeratore Q^α , dunque si può risalire al valore di quest'ultimo a partire da uno dei due parametri,

$$Q^\alpha = i_0 \frac{S}{I} = 2CCI$$

e poi usare Q^α per calcolare l'altro parametro:

$$CCI = \frac{Q^\alpha}{2} = i_0 \frac{S}{I} \cdot \frac{1}{2} = \frac{S}{I} \cdot \frac{i_0}{2}$$
$$\frac{S}{I} = \frac{Q^\alpha}{i_0} = \frac{2CCI}{i_0}$$

7 Capacità totale

La **capacità totale del sistema**, ossia il numero massimo C di chiamate che possono essere effettuate contemporaneamente, è data dalla formula

$$C = MNK$$

dove:

- M è il numero di cluster presenti nel sistema;
- N è il numero di celle per cluster;
- K è il numero di canali per cella.

Dati l'area del territorio da coprire e il numero totale di canali disponibili:

- N viene scelto, come già detto, in modo da evitare interferenze;
- K è dato dal numero totale di canali diviso N ;
- la dimensione delle celle, in rapporto all'area del territorio da coprire, determina quante celle ci saranno in totale, cioè fissa il valore di MN (e da questo, una volta scelto N , si ricava M).

7.1 Esempio

Si vuole servire una superficie di $400\,000\text{ km}^2$ (corrispondente circa alla superficie dell'Italia, comprese le acque territoriali), di avendo a disposizione 490 canali e fissando $N = 7$ celle per cluster. Il numero di canali per cella è allora:

$$K = \frac{490}{7} = 70$$

Siano poi R il raggio di copertura di una cella e $A = \pi R^2$ la sua area (supponendo che essa abbia forma circolare). Per semplicità, si suppone di realizzare celle tutte della stessa dimensione.

- Se si avesse un unico cluster, sarebbero possibili al massimo $C = MNK = 1 \cdot 7 \cdot 70 = 490$ conversazioni contemporanee.
- Con un raggio $R = 60\text{ km}$, ovvero un'area $A = (60^2\pi)\text{ km}^2 \approx 11\,300\text{ km}^2$, per coprire il territorio sarebbero necessarie

$$MN = \frac{400\,000\text{ km}^2}{11\,300\text{ km}^2} \approx 36$$

celle, per un totale di $C = 36 \cdot 70 = 2520$ conversazioni contemporanee.

- Con $R = 10\text{ km}$, da cui $A \approx 314\text{ km}^2$, servirebbero

$$MN = \frac{400\,000\text{ km}^2}{314\text{ km}^2} \approx 1274$$

celle, che permetterebbero $C = 1274 \cdot 70 = 89\,180$ conversazioni contemporanee.

- Con $R = 1$ km, si avrebbero $A \approx 3.1416 \text{ km}^2$,

$$MN = \frac{400\,000 \text{ km}^2}{3.1416 \text{ km}^2} \approx 127\,324$$

celle, e quindi $C = 127\,324 \cdot 70 = 8\,912\,680$ conversazioni contemporanee.

8 Dimensione e forma delle celle

Siccome una cella, a prescindere dalla sua dimensione, supporta al massimo un numero fisso K di conversazioni simultanee, celle più piccole permettono di servire più utenti nella stessa area. D'altro canto, realizzare celle piccole in aree con una scarsa densità di popolazione non conviene, perché la capacità di tali celle non verrebbe mai interamente sfruttata.

La soluzione più efficiente è realizzare celle di dimensioni variabili: piccole nelle zone ad alta densità di traffico / concentrazione di utenti (centri abitati, autostrade, ecc.), e grandi nelle zone a bassa densità di traffico (ad esempio le zone rurali). In base alla dimensione, le celle si classificano in:

- **picocelle**, con un raggio di 10–100 m, che coprono pochi palazzi / case;
- **microcelle**, con un raggio di 0.1–5 km, usate per servire centri città e autostrade;
- **macrocelle**, caratterizzate da raggi di 5–100 km, che coprono zone rurali e anche intere regioni;
- **gigacelle**, che si estendono su un'area nazionale o internazionale.

La dimensione effettiva di una cella è determinata dalla potenza degli apparati di trasmissione, dai ritardi di propagazione del segnale e dalla densità di traffico. In particolare, man mano che si riduce la dimensione di una cella, diminuisce anche la potenza di trasmissione che le antenne devono avere.

Oltre ad avere dimensioni variabili, le celle possono avere anche forme diverse (circolare, quadrata, esagonale, irregolare, ecc.), realizzate mediante antenne direzionali. Infine, è possibile avere anche celle stratificate (dette “a ombrello”), situate l'una dentro l'altra: ad esempio, una microcella che copre parte di un'autostrada è solitamente situata all'interno di una macrocella regionale.