

## Canali di traffico

### Canali logici

Il livello fisico di UTRAN offre dei servizi ai livelli superiori trasmettendo sulla portante fisica informazioni generate a partire dal livello 2 della pila OSI. In particolare i canali di trasporto sono i servizi offerti dal livello fisico ai livelli superiori. I canali di trasporto sono definiti in base al tipo di informazione trasferita e al modo di trasferirla sull'interfaccia radio. Essi possono essere raggruppati in due tipologie: canali comuni (dove l'informazione è trasmessa indistintamente a tutti i terminali mobili) e canali dedicati (dove la comunicazione avviene verso un singolo terminale associando un canale fisico, cioè un codice ed una frequenza, ed un timeslot nel caso TDD).

#### Canali dedicati:

- Dedicated Channel (DCH)  
E' l'unico canale dedicato previsto. E' utilizzato sia in downlink che in uplink per trasportare informazioni d'utente e di controllo tra il terminale mobile e la rete.

#### Canali comuni:

- Broadcast Channel (BCH)
- Forward Access Channel (FACH)  
Utilizzato in downlink per trasmettere informazioni di controllo ad un terminale mobile nel caso in cui il sistema conosca la cella in cui il mobile è registrato. Può essere utilizzato per trasportare brevi pacchetti di dati.
- Paging Channel (PCH)
- Synchronisation Channel (SCH)
- Random Access Channel (RACH)
- Common Packet Channel (CPCH)  
Utilizzato in uplink per trasportare pacchetti dati. E' caratterizzato da un accesso a contesa ed è utilizzato per la trasmissione di traffico con caratteristica a burst. È sempre associato ad un canale dedicato in downlink, sul quale è trasmessa la segnalazione di livello fisico associata.
- Downlink Shared Channel (DSCH)  
Utilizzato in downlink per trasportare pacchetti dati. L'accesso è condiviso tra vari utenti e regolato dalla stazione base.

Si noti che esistono alcuni canali fisici a cui non corrisponde alcun canale di trasporto. Essi sono utilizzati per trasportare informazioni a livello fisico che non deve essere inviata ai livelli superiori. Questi canali sono:

- Common Pilot Channel (CPICH)  
E' un canale in downlink in cui si trasmette una sequenza nota e non modulata. Serve per poter effettuare la stima del canale di propagazione
- Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)  
Canale fisico presente in entrambe le direzioni utilizzato per trasportare la segnalazione di livello fisico.
- Acquisition Indication Channel (AICH)  
Presente in downlink, è utilizzato per fornire indicazione al mobile che è presente un messaggio sul FACH, in risposta a un tentativo di accesso.
- Paging Indicator Channel (PICH)

### Canali fisici

I canali fisici sono tipicamente basati sulla seguente struttura:

- trama radio – ha una durata di 10 ms ed è costituita da 15 timeslot
- time slot – ha una durata di 10/15 ms (0.666 ms); ogni slot è costituito da un numero di simboli variabile a seconda della velocità di cifra del servizio da trasmettere
- simbolo – è l'elemento di informazione dopo le operazioni di codifica di canale (cioè dopo l'inserimento dei codici a correzione d'errore); ogni simbolo è moltiplicato per un numero di chip pari allo spreading factor del servizio da trasmettere, in modo da ottenere il valore costante di 2560 chip per slot.

Se per l'accesso in modalità TDD il significato di trama e timeslot presenta numerose analogie con quanto avviene in GSM, per la modalità FDD assume un significato diverso: la trama è il minimo elemento di trasmissione in cui la velocità di trasferimento dell'informazione è mantenuta costante: la velocità di sorgente può cambiare ad ogni trama. Si noti però che la velocità di trasmissione in aria (chip rate) rimane costante al variare della velocità di sorgente. Allo stesso modo il time slot risulta essere il minimo elemento del canale fisico per cui la potenza di trasmissione è mantenuta costante.

#### Canali di uplink dedicati

Ci sono due tipi di canali fisici dedicati: il DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) e il DPCCH (Dedicated Physical Control Channel). Entrambi sono multiplexati in trasmissione sulla componente in fase e sulla componente in quadratura per ciascun frame radio.

- Il DPDCH è utilizzato per trasportare il DCH. Su ciascun link radio ci possono essere nessuno, uno o più DPDCH.
- Il DPCCH è utilizzato per trasportare le seguenti informazioni di controllo generate dal livello 1:
  1. Pilot bits
  2. TPC: transmit power control commands
  3. FBI: feedback informations
  4. TFCI: transport format combination indicator. Trasporta informazioni circa il formato di trasporto con cui sono trasmesse le informazioni. Associato a ciascun link radio può esserci solo un DPCCH.

#### Canali di downlink dedicati

C'è un solo tipo di canale fisico dedicato: il DPCH. Il DPCH è utilizzato per trasportare il DCH e può essere visto come l'insieme del DPDCH e del DPCCH multiplexati nel tempo. Ci sono due differenti tipi di DPCH: quelli che includono in TFCI (possono offrire vari mix di servizi) e quelli che non lo includono (trasportano servizi di tipo fixed-rate).

### **Qualità del servizio**

#### **Controllo di potenza ed effetto near-far**

Un esempio del fenomeno near-far si ha nel caso in cui un mobile sia posto molto vicino alla stazione base. Se non si prendono provvedimenti e questo trasmette alla sua potenza massima, tutti i segnali degli altri utenti che giungono affievoliti a causa della maggior distanza non possono essere ricevuti correttamente. In generale è essenziale che, nella tratta uplink, tutti i segnali relativi a uno stesso servizio arrivino alla stazione radio base con uguale livello di potenza. Questo risultato può essere raggiunto per mezzo di un meccanismo, noto come controllo di potenza, che ha lo scopo di regolare il livello di trasmissione dei diversi segnali. Il controllo di potenza è importante sia in uplink che in downlink. Esso è sicuramente più critico in uplink dove molti utenti trasmettono contemporaneamente verso un'unica stazione base. In downlink, il controllo di potenza è invece meno critico in quanto si ha un unico trasmettitore che affascia i diversi segnali d'utente e li trasmette simultaneamente verso i diversi terminali mobili.

I sistemi di controllo di potenza utilizzati nel caso dell'UMTS possono essere raggruppati essenzialmente in tre classi, anche se per ogni canale vengono apportate modifiche specifiche per l'ottimizzazione del controllo stesso.

- Controllo di potenza ad anello aperto: questa tecnica si basa sulla stima dell'attenuazione del canale calcolata tramite misurazioni su un segnale trasmesso con potenza nota. Sulla base di tali misurazioni il trasmettitore deduce il livello di potenza da utilizzare.
- Controllo di potenza ad anello chiuso o ad anello interno: la potenza da usare in trasmissione viene ricavata dalle informazioni inviate dal ricevitore, il quale determina le modifiche da apportare al livello del segnale trasmesso tramite l'analisi della qualità del ricevitore.
- Controllo di potenza ad anello esterno: in questo caso il livello di potenza da utilizzare in trasmissione è determinato in base ad un preciso valore di potenza che si vuole raggiungere. Questa tecnica è legata al controllo di potenza ad anello chiuso.

#### **Ricevitori**

Sebbene il ricevitore non sia specificato dalle specifiche (lasciando in tal modo completa libertà ai produttori riguardo l'ottimizzazione delle prestazioni), due risultano essere le strutture più usate: il ricevitore Rake (in FDD) e le tecniche di ricezione con cancellazione di interferenza (in TDD).

Nei sistemi radiomobili il canale radio è caratterizzato dalla propagazione su cammini multipli in conseguenza della riflessione e diffrazione delle onde elettromagnetiche su ostacoli. La dispersione dell'energia trasmessa nel tempo si traduce in interferenza intersimbolica: cioè un simbolo trasmesso interferisce su un certo numero di simboli successivi. Nel caso di sistemi a larga banda come il CDMA la dispersione nel tempo dell'energia trasmessa si può trasformare in un vantaggio perchè, sfruttando le proprietà della sequenza di spreading, è possibile separare i vari echi e ricombinare la loro energia in modo costruttivo.

### Ricevitore Rake

Poichè le ampiezze dei vari echi sono statisticamente indipendenti, aumenta, attraverso la ricombinazione costruttiva, la probabilità che il segnale sia ricevuto con una ampiezza sufficiente per una corretta ricezione. Questa proprietà è nota come "diversità di cammino" e può essere vantaggiosamente sfruttata dal ricevitore Rake. Idealmente il ricevitore è costituito da tanti ricevitori indipendenti, ognuno dei quali sintonizzato su di una diversa replica del segnale. Il ricevitore effettua il riallineamento dei diversi contributi, in modo da raccogliere l'energia proveniente dai diversi cammini di propagazione.

Dopo l'operazione di despreading si ottiene per ciascun ramo del ricevitore un segnale con cadenza pari al periodo del simbolo di informazione. Su ciascun ramo è quindi effettuato il recupero dello sfasamento introdotto dal canale, ad esempio per mezzo di un segnale di riferimento con fase nota. Infine, il dispositivo di ricombinazione effettua una somma pesata dei segnali uscenti dai diversi rami e fornisce un unico valore del simbolo di informazione su cui operare la decisione a soglia.

### Ricevitore Joint Detection

A differenza del Rake receiver, che estrae dal segnale ricevuto il solo segnale utile e tratta gli altri segnali come disturbi, le tecniche di cancellazione d'interferenza e di ricezione multipla considerano tutti i segnali come utili. Un prerequisito per poter effettuare questa operazione è la conoscenza delle sequenze di spreading utilizzate per distinguere i diversi segnali. Questa conoscenza è generalmente nota in un sistema CDMA e, quindi, è possibile sfruttarla per demodulare contemporaneamente tutti gli utenti della stessa cella. Lo svantaggio principale è rappresentato da una maggiore complessità del ricevitore, che aumenta in proporzione al numero di utenti da dover demodulare, e quindi dalla lunghezza della sequenza di spreading. Per questo motivo si preferisce adottare questa tecnica nel sistema TDD dove il fattore di spreading è basso. Uno dei principali vantaggi è che, cancellando l'interferenza, si rende il ricevitore meno sensibile all'effetto near-far, permettendo di ridurre i requisiti di rapidità e precisione del controllo di potenza. Inoltre le migliori prestazioni in termini di tasso di errore si traducono in un proporzionale incremento della capacità del sistema.

### **Interferenza multiutente**

Un utente è definito come soddisfatto se:

- La richiesta non viene bloccata  $T_{user} < T_{block}$
- La qualità desiderata (BER) della comunicazione è mantenuta per una certa frazione della sessione  $Pr\{BER > BER_{Threshold}\} < Qual_{Threshold}$
- La chiamata non viene abbattuta. Una chiamata viene terminata automaticamente se  $BER > BER_{Threshold}$  per più di  $T_{drop}$  secondi (tipico 1 s)

In generale per la probabilità di fuori servizio si ha

$$P_{out} = Pr\left\{\frac{E_b}{I_o + \lambda \sigma_N^2} \leq \mu\right\}$$

in cui il contributo relativo all'interferenza vale

$$I_0 = \frac{1}{G_{spread}} \sum_{k=1}^{N_{user}} \rho_k V_k \frac{P_{k,rx}}{R_k} = \frac{N_{interf}}{G_{spread}} E_b$$

essendo

$$N_{interf} = \frac{1}{E_b} \sum_{k=1}^{N_{user}} \rho_k V_k \frac{P_{k,rx}}{R_k}$$

Pertanto per un livello di QoS assegnato si ha

$$E_b > \mu \left[ \frac{N_{interf}}{G_{spread}} E_b + \lambda \sigma_N^2 \right] \Rightarrow E_b > \frac{\lambda \mu \sigma_N^2}{1 - \mu \frac{N_{interf}}{G_{spread}}}$$

Poichè

$$E_b = \frac{G_{tx}^{ANT} G_{rx}^{ANT}}{R_y} G_{spread} T_c P_{tx}$$

si ha

$$P_{tx} > \frac{1}{T_c} \frac{R_y}{G_{rx}^{ANT} G_{tx}^{ANT}} \frac{\lambda \mu \sigma_N^2}{1 - \mu \frac{N_{interf}}{G_{spread}}}$$

Quindi una riduzione della potenza media richiesta può essere ottenuta

- Diminuendo la rumorosità del ricevitore
- Aumentando il guadagno d'antenna (**DBF**)
- Migliorando le prestazioni del ricevitore ricorrendo alla diversità (in spazio, in polarizzazione, in angolo, **DBF**)
  - Diversità in spazio: a causa della correlazione spaziale del fading dovuto ai cammini multipli è necessaria una diversità in spazio pari ad almeno  $\frac{3}{4}$  (difficile da realizzare su terminali portatili)
  - Diversità di polarizzazione: uso contemporaneo della polarizzazione orizzontale e verticale per ottenere una coppia di segnali affetti da rumori e distorsioni indipendenti senza separazione spaziale.
  - Diversità in angolo: due o più fasci sono impiegati simultaneamente
- Riducendo il numero efficace di interferenti tramite
  - Alto grado di settorializzazione delle celle (**DBF**)
  - Riduzione dell'interferenza residua tramite algoritmi di rivelazione congiunta
- Aumentando il fattore di espansione
  - Migliora le prestazioni del ricevitore in presenza di cammini multipli
  - Può ridurre l'effetto dell'interferenza
- Inseguimento della posizione del mobile: determinazione della direzione d'arrivo del segnale desiderato tramite phased arrays per determinare quale fascio utilizzare ed aggiustarne i pesi in modo da massimizzare il rapporto segnale/(interferenza + rumore) in uscita.
  - Disponibili algoritmi basati su MUSIC o ESPRIT Sono necessari miglioramenti per renderli più robusti rispetto alla dispersione angolare e migliorarne la risoluzione
  - Per antenne adattative sono necessari miglioramenti degli algoritmi di inseguimento del sottospazio, poiché l'incremento del ritmo binario comporta l'incremento dell'ordine dell'equalizzatore, con conseguente incremento delle sequenze di addestramento e maggiore sovraccarico.

## Classi QoS

Dovendo ospitare un vasto numero di servizi e' fondamentale che la rete sia in grado di garantire una certa qualità; per questo è necessario un servizio di trasporto (Bearer Service) che parta dalla sorgente e giunga fino al destinatario. La qualità del servizio (Quality of service - QoS) di una rete viene stimata in base alla capacità di traffico supportato e al ritardo complessivo delle informazioni tra terminali (end-to-end).

Nel definire le diverse classi di QoS e' indispensabile tenere in considerazione le limitazioni e le restrizioni proprie dell'interfaccia radio, le quali richiedono l'introduzione di meccanismi appropriati per garantire la QoS necessaria. Nella rete UMTS sono previste quattro classi di QoS: conversazionale, monodiffusiva, interattiva, subordinata.

- Conversational class: viene utilizzata per conversazioni in tempo reale tra utenti (servizio fonico e video conferenza). Il trasferimento dei dati deve essere mantenuto basso in base alla caratteristiche delle percezioni umane.
- Streaming class: viene impiegata per programmi audio e video in tempo reale in modo unidirezionale, dal server verso il client. Il trasferimento dei dati non e' limitato in quanto al terminale determinati programmi provvedono all'adattamento per la percezione umana.
- Interactive class: viene applicata al caso in cui un utente finale richieda dati ad un apparato remoto. Alcuni esempi possono essere la ricerca su data base e l'accesso ad un determinato server. Questa classe e' caratterizzata dal fatto che l'utente finale attende un messaggio in risposta all'interrogazione effettuata all'apparato remoto.
- Background class: si occupa del trasferimento di file come processo subordinato, quindi secondario ad altri di più alta priorità.

## Handover

Una mobile station deve essere in grado di inviare e ricevere informazioni real-time (audio e video) e non real-time (dati) verso una qualunque altra mobile station, in qualunque posto si trovi, e mantenere attive le comunicazioni in svolgimento indipendentemente dal suo punto di accesso alla rete. Per poter ottenere tale risultato, lo schema di gestione della mobilità deve supportare l'hand-off, la registrazione, la configurazione, il dynamic address binding ed il location management. L' handover è il processo che consente ad una chiamata/sessione di poter proseguire quando una MS si sposta da una cella all'altra (intercell handover) o tra canali radio appartenenti alla stessa cella (intracell handover). Il processo di handover può essere hard o soft. Si parla di hard handover quando la MS accetta o riceve un solo canale radio da una sola base station all'interno di una singola cella. Quando la stazione mobile passa ad una nuova cella, essa viene presa in consegna dalla base station della nuova cella in pochi secondi. Tale passaggio avviene comunque in modo improvviso. Con il soft handover , la MS continua invece a ricevere ed accettare il segnale radio sia dalla base station della cella in cui si trovava precedentemente che da quella della cella in cui si trova attualmente per un periodo di tempo limitato. La ricezione del segnale dalla vecchia base station cessa quando la potenza del segnale stesso scende al di sotto di una certa soglia. Il soft hand-off consente pertanto un trasferimento "dolce" della sessione della MS dalla vecchia BS alla nuova, ed in generale presenta una durata maggiore dell' hard handover.

Alcune delle cause per cui può iniziare una procedura di handover sono: la qualità del canale, le misurazioni del livello del segnale, la distanza, la variazione del servizio, la presenza di una cella migliore e i problemi del traffico. Il soft handover è una particolare procedura in cui il terminale inizia una comunicazione con un nuovo Node- B o con un nuovo settore dello stesso sito sulla stessa frequenza portante, effettuando al più un cambiamento di codice. Per questo motivo il soft handover permette di realizzare facilmente la trasmissione in macrodiversità, ovvero una trasmissione attraverso un insieme di collegamenti radio diversi che riferiscono tutti ad una sola connessione. Il soft handover è, per sua natura, utilizzato nei sistemi CDMA poichè a celle adiacenti viene assegnata la stessa frequenza. Quindi è possibile che in certe aree, un determinato terminale si trovi contemporaneamente connesso con più Node- B. L'insieme di tali Node- B viene definito *Active Set*. Le misurazioni dell'insieme di celle monitorate, opportunamente filtrate, sono determinati per l'esecuzione dell'algoritmo di soft handover. In base ad esse, alcuni Node- B possono essere aggiunti, rimossi o rimpiazzati all'interni dell'active set tramite la procedura di active set update.

Nelle reti CDMA viene applicato il concetto di soft capacity. Ogni nuova chiamata incrementa il livello di interferenza di tutte le altre chiamate in corso, peggiorando la qualità della trasmissione. Quindi è molto importante controllare opportunamente l'accesso alla rete se si vogliono rispettare i requisiti dei servizi offerti. Vi possono essere diverse strategie di controllo basate sul rispetto del tipo di QoS richiesta, oppure su parametri di controllo del carico della rete e del servizio richiesto.

Nel primo caso il tipo di servizio fa riferimento ad una specifica strategia derivata da parametri standardizzati

di QoS in cui si fa riferimento ai servizi di:

- Premium services : sono caratterizzati da bassi ritardi e alta priorità.
- Assured services : viene garantito un bit rate minimo al di sotto di quello medio. I servizi, caratterizzati da una priorità di livello medio, possono utilizzare anche una banda maggiore se disponibile.
- Best effort : sono caratterizzati da un basso livello di priorità, non viene garantita nessuna QoS.

Nel secondo caso, invece, la chiamata viene bloccata se nessuna delle celle può fornire in modo efficiente il servizio richiesto in fase di setup della chiamata. Questo meccanismo assicura che il terminale non vada a peggiorare la qualità delle altre trasmissioni in corso.

In questo caso la rete può dare luogo, se possibile, ad una riconfigurazione delle risorse in modo da smistare parte del traffico presente in una cella in quelle adiacenti.

Durante il processo di soft handover, i pacchetti destinati ad una certa MS possono essere trasferiti alla sua locazione attuale ed a quella precedente, dando così luogo ad un handover logico/virtuale a livello IP. In generale è possibile individuare tre livelli di handover logico/virtuale in una All IP wireless /wireline network: quello di cella, quello di subnet e quello di dominio:

- Cell handover o micromobilità : consente ad una MS di spostarsi tra due celle appartenenti alla stessa subnet all'interno dello stesso dominio amministrativo;
- Subnet handover o macromobilità : consente ad una MS di spostarsi tra due celle, appartenente che si trovano in subnet differenti, appartenenti però allo stesso dominio amministrativo;
- Domain handover o mobilità globale : consente ad una MS di spostarsi tra subnet appartenenti a domini amministrativi differenti.

In generale il cell hand-off è più frequente del subnet hand-off, che, a sua volta, risulta essere più frequente rispetto al domain hand-off. In tutti e tre i casi, comunque, è possibile affermare che il processo di handover richiede lo svolgimento di funzioni di registrazione, configurazione, dynamic address binding e location management, che esso risulta essere trasparente all'utente e che deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Tutti e tre i tipi di handover devono assicurare l'integrità, la privacy e la confidenzialità delle informazioni di utente oltre a prevenire frodi ed usi illegittimi dei servizi cui un utente è sottoscritto. Essi devono:
  1. Garantire la sicurezza dei messaggi di segnalazione ( come ad esempio quelli di registrazione) al fine di prevenire l'intercettazione dei dati di utente e dei profili di servizio; allo stesso modo devono assicurare la confidenzialità della locazione attuale dell'utente;
  2. Svolgere le necessarie funzioni di autenticazione, autorizzazione ed accounting (funzioni AAA) per verificare l'identità dell'utente ed i suoi diritti nel richiedere risorse e servizi, oltre a garantirgli l'attribuzione di un addebito che sia effettivamente commisurato ai servizi fruiti
- Tutti e tre i tipi di handover devono essere in grado di mantenere la QoS della sessione mentre la MS si sposta. Essi pertanto devono minimizzare la perdita di pacchetti durante il processo di handover e soddisfare i requisiti temporali delle applicazioni real-time.
- La latenza del domain hand-off non deve eccedere i 2- 3 secondi al fine di assicurare la continuità della sessione real-time;
- La latenza del subnet hand-off non deve eccedere i 2- 3 secondi, sebbene essa dovrebbe in ogni modo essere minore della latenza del domain hand-off dal momento che tale processo di handover non richiede lo svolgimento delle funzioni AAA.

Da quanto sin qui detto, risulta evidente che il processo di domain handover è funzionalmente equivalente alla somma del subnet handover e dei processi di AAA. Inoltre la sua latenza è pari alla somma delle latenze dei processi di registrazione, configurazione ed address binding. La registrazione è il processo tramite il quale la rete viene a conoscenza della presenza e della attuale locazione della MS e dell'utente ad essa associato. Quando una MS diventa attiva in una certa rete, o si sposta in una nuova subnet o in un nuovo dominio, essa deve registrarsi con la rete stessa. Tale processo richiede l'invio da parte della MS di una richiesta di registrazione alla rete, lo svolgimento dei processi di AAA da parte della rete e la trasmissione di una risposta appropriata alla MS e alle entità che si occupano del processo di location management. In generale è possibile individuare due tipi di registrazione: quella completa e quella parziale.

La prima si verifica quando un utente accende la sua MS o si sposta in un nuovo dominio amministrativo; in

questo caso la rete deve svolgere le funzioni di AAA. La seconda viene invocata quando un utente si sposta tra subnet appartenenti allo stesso dominio amministrativo e non include, pertanto, lo svolgimento delle funzioni AAA.

La configurazione è il processo tramite il quale una MS aggiorna il suo indirizzo IP quando si sposta tra subnet appartenenti o allo stesso dominio amministrativo o a domini amministrativi differenti. In questo caso la MS deve acquisire un nuovo indirizzo IP, una nuova subnet mask ed un nuovo gateway di default, e riconfigurarsi adeguatamente. Il processo di riconfigurazione deve inoltre aggiornare i DNS per riflettere la mappatura attuale tra indirizzo corrente e nome. Il dynamic address binding è un processo che consente alla MS di mantenere un identificatore costante indipendentemente dal suo attuale punto di accesso alla rete. Esso pertanto consente all'utente di mantenere un identificatore universale che è indipendente dalla rete. Il location management è un processo tramite il quale la rete aggiorna i database contenenti informazioni circa la posizione attuale dell'utente. Esso supporta servizi di localizzazione e reinstradamento verso utenti autorizzati. I suoi requisiti fondamentali sono l'accuratezza, la garanzia della confidenzialità delle informazioni di locazione e la possibilità di essere sempre aggiornato.

Nell'ambiente di rete proposto i tre tipi di handover sono completamente gestiti, almeno per quanto riguarda le applicazioni real-time, attraverso un'interazione tra SIP e CIP. Per quanto concerne invece le applicazioni non-real-time, è necessario impiegare il protocollo Mobile IP in luogo di SIP. La ragione per tale diversità di trattamento è da ricercarsi nelle differenti caratteristiche di queste due tipologie di applicazioni.

Le applicazioni non real-time richiedono infatti un'elevata affidabilità ovvero una bassa percentuale di pacchetti persi. Questa esigenza è soddisfatta attraverso l'impiego del protocollo di trasporto TCP. Pertanto è fondamentale che un host in movimento, mantenga attiva la sua connessione TCP, quando si sposta da una subnet all'altra. Mobile IP ha proprio questo compito: mascherare il cambiamento di indirizzo IP, quando l'host si sposta attraverso IP subnet, in modo tale che la connessione TCP non sia abbattuta. Le comunicazioni soft real-time (tolleranti alla perdita di pacchetti) utilizzano invece il protocollo RTP su UDP, quindi non hanno l'esigenza di nascondere il cambiamento di indirizzo IP che si verifica quando la MS migra verso una nuova subnet; per tali applicazioni sono invece fondamentali tutti i requisiti individuati precedentemente, ossia handover veloci, bassa latenza ed alta utilizzazione di banda. Tali esigenze non possono essere in nessun modo soddisfatte da Mobile IP, che presenta il classico problema del routing triangolare, ossia: i pacchetti diretti all'host mobile passano attraverso l'home agent, mentre i pacchetti generati dall'host mobile vengono inviati direttamente a destinazione. Per questi motivi, la mobilità per le applicazioni real-time è gestita attraverso i protocolli SIP (macromobilità e mobilità globale) e Cellular IP (micromobilità).

L'utilizzo della tecnica del soft handover permette di ottenere dei guadagni sulla potenza emessa sia per quanto riguarda la tratta downlink che per quella uplink.

- Appare evidente come l'utilizzo del SHO produca benefici principalmente quando la differenza tra i path loss relativi alle due trasmissioni non è maggiore di 4-5dB: in questo caso la trasmissione tra la UE e la stazione radio base più distante non è efficiente e si perde il guadagno dovuto alla macrodiversità.
- Il soft handover permette di ridurre il valore dell' $E_b/N_0$  richiesto per la singola connessione radio grazie alla combinazione di due o più segnali che provengono da antenne differenti. Il guadagno totale dovuto al soft handover dipende da molti parametri (tra cui la correlazione tra i diversi cammini, la differenza tra le potenze ricevute e il tipo di ricevitore adoperato) ed è stato valutato tramite simulazione intorno ai 3-4dB.

La probabilità che un terminale mobile si trovi in macrodiversità è stabilita al momento della pianificazione della rete radiomobile; questa è molto importante poiché se è troppo alta si rischia di annullare i guadagni derivanti dall'utilizzo di tale tecnica. Ogni trasmissione in più, infatti, comporta un overhead in quanto implica un maggiore livello di interferenza all'interno della cella e utilizza un codice di spreading in più tra quelli disponibili. La scelta della probabilità di soft handover va quindi ponderata in modo da non penalizzare eccessivamente la capacità del sistema ma al tempo stesso sfruttare il più possibile i vantaggi potenziali ottenibili con questa tecnica.

## Mobile IP

Mobile IP è un protocollo che consente a computer mobili di spostarsi liberamente in altre reti pur

mantenendo lo stesso indirizzo IP. Mobile IP è composto di 3 elementi: mobile node, home agent e foreign agent. Mentre gli ultimi due sono fondamentalmente dei router, con alcune proprietà speciali, un mobile node è un computer mobile. La presenza di un home agent in una rete consente ai computer mobili di spostarsi in altre reti. Un foreign agent consente ai computer mobili provenienti da altre reti di visitare la rete in cui esso è situato. Un host che scambia dati con un computer mobile si chiama corresponding node. Può essere un ordinario host di Internet oppure un altro computer mobile. Mobile IP consente ai computer mobili di utilizzare efficientemente due indirizzi IP: uno per l'identificazione (home address) e uno per l'inoltro del traffico (care-of-address). Per il care-of-address esistono due possibilità: essere un indirizzo provvisoriamente assegnato al computer mobile stesso, oppure essere semplicemente l'indirizzo del foreign agent presso il quale il computer mobile si è registrato.

Il computer mobile utilizza un protocollo di agent discovery per individuare un foreign agent disposto a fornire supporto per la mobilità nella rete che sta visitando. I foreign agent e gli home agent periodicamente inviano in multicast o broadcast dei messaggi di tipo agent advertisement, per segnalare la loro presenza in rete; inoltre un computer mobile può sollecitare l'invio di un messaggio di questo tipo con una richiesta esplicita, detta agent solicitation. Il computer mobile può scoprire il care-of-address e l'identità del foreign agent alla ricezione di un messaggio di advertisement. Una volta scoperto un foreign agent, il mobile comunica al suo home agent il proprio care-of-address insieme al tempo di validità di registrazione. Lo home agent porta a termine la registrazione aggiornando la sua tabella di instradamento e creando un legame di mobilità, che associa l'home address del computer mobile al care-of-address che gli è stato momentaneamente assegnato.

Quando i pacchetti IP inviati da un nodo corrispondente arrivano alla rete di appartenenza del computer mobile, lo home agent li inoltra al care-of-address, usando un incapsulamento (tunneling), usando il care-of-address come indirizzo di un nuovo pacchetto IP in cui viene inserito il pacchetto originario. Il foreign agent, in cui termina il tunnel, recupera il pacchetto originale e lo invia al computer mobile. Dal momento che questa particolare tecnica di routing (routing triangolare) non è efficiente, si prevede la possibilità di effettuare il binding dell'indirizzo IP del computer mobile, in modo che i successivi pacchetti di risposta giungano direttamente al foreign agent senza passare per l'home agent.

Nella direzione opposta il computer mobile invia semplicemente i propri pacchetti attraverso un router della rete visitata, in quanto la trasmissione è indipendente dall'indirizzo origine.