

UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI PADOVA



FACOLTÀ DI
INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

TESI DI LAUREA

SVILUPPO DI ALGORITMI DI HANDOVER IN SISTEMI LTE

RELATORE: *Ch.mo Prof. Michele Rossi*

CORRELATORI: *Ing. Nicola Baldo, Ing. Marco Mezzavilla*

LAUREANDO: *Alberto Andreini*

Padova, 14 Marzo 2011

Anno Accademico 2010-2011

CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA DELLE
TELECOMUNICAZIONI

DEPARTMENT OF
INFORMATION
ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

Ringraziamenti

Ringrazio Dante, Enrica e Michele

Indice

Indice	3
Elenco delle figure	7
1 Introduzione	1
1.1 Il sistema LTE	1
1.1.1 Premessa	1
1.2 Il simulatore NS3	3
2 Il sistema LTE	7
2.1 Architettura	8
2.1.1 Funzioni del eNB	10
2.2 Interfaccia Radio	11
2.3 Schemi di Trasmissione	12
2.3.1 OFDMA	12
2.3.2 SC-FDMA	12
2.4 Livello fisico	13
2.4.1 Struttura del frame	13
2.4.2 MBSFN : Multimedia Broadcast over a Single Carrier Network	14
2.4.3 Trasmissioni MIMO	14
3 Mobilità nello standard 3GPP-LTE	15
3.1 Gestione della mobilità in una rete mobile	15
3.2 MME e funzioni principali	17
3.2.1 Mobility Management e RRC	20
3.2.2 LTE/SAE Bearer	23
3.2.3 Misurazioni alla UE	24
3.3 Procedura di handover in LTE 3GPP	26
3.3.1 Metodo per determinare l'handover	27
4 Femtocelle	29
4.1 Cosa sono le femtocelle	29
4.1.1 Architettura con femtocelle e macrocelle	29
4.2 Handover in scenario femtocella	31

4.2.1	Procedura Hand-in	32
4.2.2	Procedura Hand-out	34
4.2.3	Procedura Inter-FAP	34
4.3	Politiche di decisione di handover	35
4.3.1	Handover proattivi e reattivi	36
4.3.2	Predizione di mobilità nel handover	37
4.4	Algoritmo handover reattivo basato su QoS	38
4.4.1	Descrizione	38
4.4.2	Risultati	38
4.5	Algoritmo di handover basato sulla velocità e la QoS	40
4.5.1	Descrizione	40
4.6	Algoritmo di handover basato sulla QoS e bilanciamento del traffico	42
4.6.1	Descrizione	43
5	Scenario e implementazione in ns3	45
5.1	Premessa	45
5.2	Descrizione dello scenario	46
5.3	Implementazione del canale Multipath e Mobilità	47
5.4	Partizione delle frequenze	48
5.5	Mobilità	50
5.6	Misurazioni del RSSI in NS3	50
5.6.1	Trasmissione di un pacchetto e moduli per le misurazioni	52
5.6.2	Messaggistica delle misurazioni	53
5.7	HeNB-GW ed enbManager	55
5.8	Procedura di Handover	56
5.8.1	Messaggi implementati	58
6	Risultati simulativi	61
6.1	Handover triggerato da eNB	61
6.2	Handover triggerato da HeNB-GW con algoritmo LBQ	66
	Bibliografia	74

Elenco delle figure

1.1	convergenza delle tecnologie mobili (Fonte : WiMAX Forum)	1
1.2	Crescita del traffico dati e voce nelle reti WCDMA di tutto il mondo	2
1.3	diagramma van con le principali tecnologie di telefonia mobile	3
1.4	struttura di un nodo NS3	4
1.5	Metodi di integrazione di codice NS3 in sistemi reali	5
2.1	Architettura flat di LTE e System Architecture Evolution	8
2.2	Architettura tra eNB e MME	9
2.3	Divisione funzionale tra E-UTRAN ed EPC	10
2.4	Stack protocollare dello user plane	11
2.5	Stack protocollare del control plane	11
2.6	Allocazione delle sottoportanti in OFDM e OFDMA	12
2.7	Confronto tra OFDMA e SC-FDMA	13
2.8	Struttura del resource block	14
3.1	Scenario di mobilità in una WWAN	16
3.2	Aree di Tracking in LTE : Uso della interfaccia S1-flex	17
3.3	Struttura dell'IMSI	18
3.4	Struttura del STMSI	18
3.5	Identificativi del UE	19
3.6	Gli stati della UE nella gestione della mobilità	21
3.7	Connessioni eps	21
3.8	Transizioni degli stati EMM e ECM	22
3.9	Struttura del SAE bearer	24
3.10	Protocollo di Handover tra eNBs in LTE 3GPP	26
3.11	Metodo base per triggerare l'evento di handover	28
4.1	Architettura E-UTRAN con sviluppo di femtocelle	30
4.2	Architettura logica di E-UTRAN con femtocelle	31
4.3	Scenario di handover in reti femtocella	32
4.4	Flusso di segnali per hand-in (handover da macrocella a femtocella) .	33
4.5	Flusso di segnali per hand-out (handover da femtocella a macrocella)	34
4.6	Handover inter-HeNB con HeNB-GW come ancora di mobilità	35
4.7	Soft Handover	37

ELENCO DELLE FIGURE

4.8	Hard Handover	37
4.9	pseudo-codice per algoritmo ottimizzato di handover	38
4.10	Performance di handover reattivo e proattivo	39
4.11	Pseudo codice dell' algoritmo SQ	40
4.12	Il flowchart dell'algoritmo SQ	41
5.1	(a) Architettura E-UTRAN (b) Architettura E-UTRAN con femtocelle	46
5.2	Scenario di simulazione	47
5.3	Architettura del canale in NS3	48
5.4	Partizione dello spettro LTE tra le femtocelle	49
5.5	Mobilità nello scenario di simulazione	50
5.6	Misurazioni del SINR inter-frequenze in NS3	51
5.7	Schema dei moduli del codice	53
5.8	Messaggi per le misurazioni in downlink	54
5.9	Messaggi per le misurazioni in uplink	55
5.10	Schema logico del HeNB-GW	56
5.11	Gestione dei Bearers durante Handover interFAP	57
5.12	Procedura di handover triggerato da HeNB-GW	58
5.13	Classi di codice NS3 per i messaggi scambiati	59
6.1	Evoluzione degli RSSI servente e miglior RSSI ricevuto dalle FAPs vicine	62
6.2	Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 6 femtocelle	63
6.3	Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 8 femtocelle	64
6.4	Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 10 femtocelle	64
6.5	Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 12 femtocelle	65
6.6	Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 14 femtocelle	65
6.7	Scarto medio dei carichi iniziali e finali rispetto alla media	66
6.8	Distribuzione dei carichi all'inizio della simulazione con carico target .	67
6.9	Distribuzione dei carichi dopo 1 iterazione di LBQ con carico target aggiornato	67
6.10	Distribuzione dei carichi dopo 2 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato	68
6.11	Distribuzione dei carichi dopo la riattivazione di LBQ con carico target aggiornato	69
6.12	Distribuzione dei carichi dopo 1 iterazione di LBQ con carico target aggiornato	70
6.13	Distribuzione dei carichi dopo 2 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato	70
6.14	Distribuzione dei carichi dopo 3 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato	71
6.15	Distribuzione dei carichi dopo 4 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato	71

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Il sistema LTE

1.1.1 Premessa

La strada verso cui si stanno indirizzando le moderne tecnologie di comunicazione mobili, mantenendo però gli stessi requisiti di velocità e di qualità di cui si disporrebbe nel proprio ambiente domestico o lavorativo, sembra già tracciata: supporto della tecnica di accesso radio OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) e convergenza verso reti packet-oriented, all-IP. Lo stesso WiMAX Forum, successivamente al riconoscimento dello standard 802.16e (Mobile WiMAX) come appartenente alla famiglia IMT-2000, prevede che la cosiddetta “long term evolution” del WiMAX porterà entro il 2011 alla definizione dello standard 802.16m, le cui caratteristiche lo renderanno del tutto compatibile con i sistemi definiti IMT-Advanced, che costituiranno la base di sviluppo della quarta generazione della telefonia mobile (4G). In questo contesto la tecnologia che sembra la migliore candidata per traghettare gli attuali operatori mobili fino alla quarta generazione della telefonia mobile è quella definita come Long Term Evolution, o LTE, o anche Super 3G. In Figura 1.1 si mostra come stiano convergendo le tecnologie mobili.

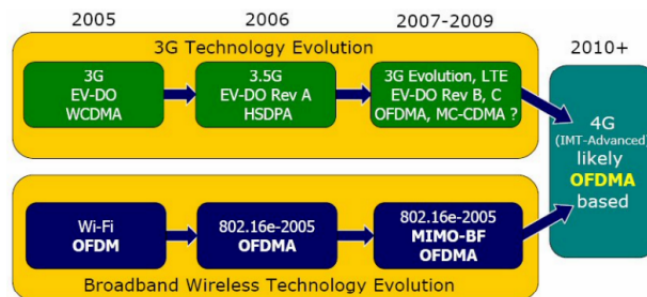


Figura 1.1: convergenza delle tecnologie mobili (Fonte : WiMAX Forum)

Inoltre i consumatori comprendono e apprezzano i benefici della rete dati mobile. Il passo verso una rete completamente dati è semplice soprattutto con LTE che offre ovunque copertura e roaming con esistenti reti 2G e 3G.

L'esperienza maturata con la tecnologia HSPA (High Speed Packet Access) mostra che quando gli operatori forniscono una buona copertura, terminali e servizi, la rete dati si satura velocemente. Il traffico di pacchetti dati ha iniziato a superare quello voce nel Maggio 2007 secondo la media mondiale stimata nelle reti WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), come mostra la Figura 1.2.

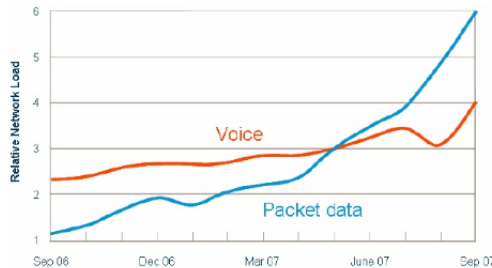


Figura 1.2: Crescita del traffico dati e voce nelle reti WCDMA di tutto il mondo

Infine molte applicazioni sono significativamente considerate in un contesto di mobilità. Siti di comunità o siti per la condivisione di contenuti come YouTube sono un esempio. L'alto data rate e i piccoli ritardi offerti da LTE permettono applicazioni real-time come giochi online e IPTV.

La maggiore innovazione di LTE rispetto all'attuale standard UMTS è l'utilizzo della modulazione OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) per il downlink e SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access), una tecnologia affine alla OFDM, per l'uplink. Queste tecniche consentono di gestire il sistema con larghezze di banda del canale da 1,25 MHz a 20 MHz. I sistemi di telefonia mobile possono dunque essere utilizzati con larghezze di banda molto diverse e non sono più legati all'attuale consueta spaziatura di canale di 5 MHz.

LTE consentirà anche la radiocomunicazione su frequenza unica (SFN - Single Frequency Network) e sarà dunque in grado di trasmettere i servizi di Broadcast/Multicast in modo altrettanto efficiente di quanto lo facciano gli attuali sistemi di radiodiffusione dedicati DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) e DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld).

Nonostante LTE presenti numerose innovazioni tecniche per quanto riguarda l'interfaccia aerea, la tecnologia è sempre ancora parte integrante dell'evoluzione del sistema UMTS 3G (Universal Mobile Telecommunications System) e, a rigor di termini, non può (ancora) essere considerata di quarta generazione (4G). Oggi è comunque possibile affermare che, a livello di prestazioni, LTE non sarà molto distante dai veri sistemi 4G (IMT-Advanced).

Parallelamente al progetto LTE, e in maniera coordinata, il 3GPP si occupa an-

che della nuova standardizzazione della rete principale con il progetto SAE (System Architecture Evolution). L'obiettivo è semplificare per quanto possibile l'attuale sistema al fine di creare reti più economiche che richiedono un numero inferiore di elementi.

Per confrontare la performance dei diversi sistemi di telefonia mobile, le velocità massime possibili di trasferimento dati (in downlink) e la mobilità correlata vengono solitamente rappresentate in un cosiddetto van diagram (il diagramma ha un profilo simile a quello di un'auto monovolume, da cui il nome). Nella Figura 1.3 seguente, le principali tecnologie di telefonia mobile vengono raffrontate con questo tipo di diagramma.

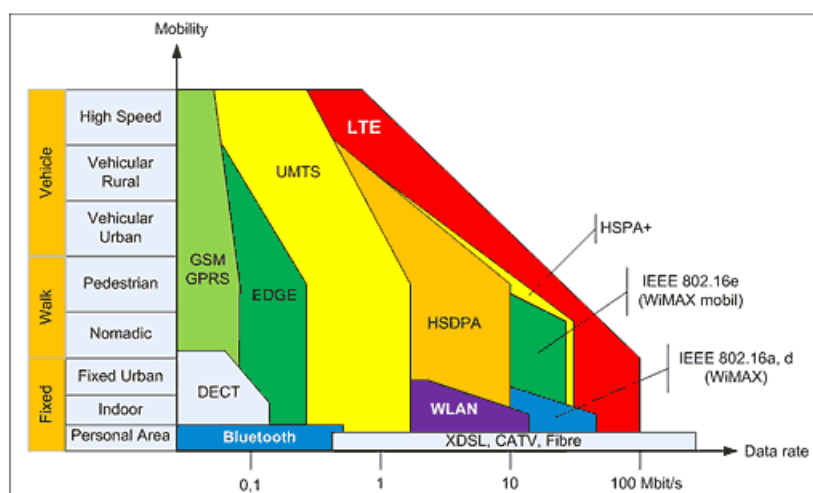


Figura 1.3: diagramma van con le principali tecnologie di telefonia mobile

1.2 Il simulatore NS3

NS3 è un simulatore di rete ad eventi discreti utile per lo studio di protocolli internet e sistemi in larga scala in un contesto controllato. L'acronimo nsnam deriva storicamente dalla concatenazione di ns (network simulator) e nam (network animator). Il simulatore è indirizzato soprattutto per la ricerca e per un uso educativo, presentandosi come una evoluzione del vecchio simulatore ns2.

Programmi C++ e NS2 Ns-3 è scritto in C++ con la possibilità di inserire script in Python per la realizzazione di interfacce grafiche. Il software cerca di evitare dei problemi presentati in passato da ns2. Primo fra tutti la cattiva gestione di come fare interoperare i moduli implementati tra loro ed inoltre una mancanza di gestione della memoria usata.

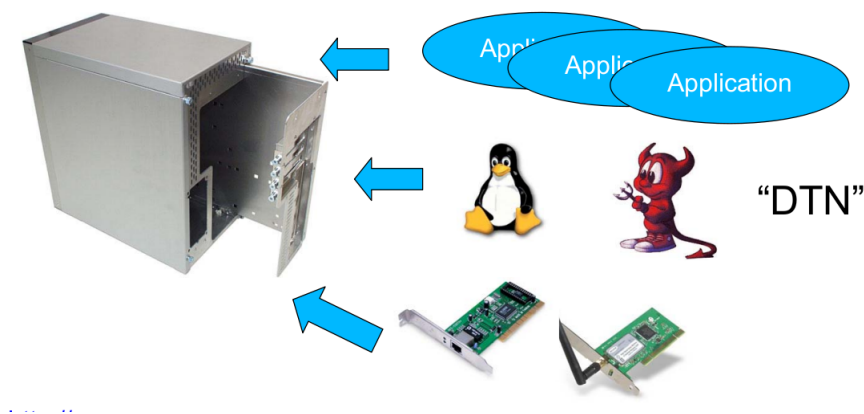


Figura 1.4: struttura di un nodo NS3

Maggiore fedeltà verso i sistemi reali Se un simulatore non si attiene fedelmente al modello di un sistema reale risulta in seguito difficile comparare i risultati e validare il modello simulato. NS3 cerca di evitare eccessive approssimazioni sui modelli al fine di presentare moduli che possono essere efficientemente riutilizzati e a questo fine si giustifica la struttura base di NS3. I nodi dei modelli di rete sono molto simili a computer reali come si mostra in Figura 1.4 , essi si possono interpretare come il nucleo di un computer al quale vengono aggiunte applicazioni, stacks e contenitori di interfacce di rete (NICs) IP.

Importanza all'integrazione del software Ns3 è conforme agli standard input/output di modo che altri tools possono essere riutilizzati, un esempio è il pcap trace output che può essere letto dal programma Wireshark.

Supporto per la virtualizzazione e testbeds I ricercatori richiedono miglior supporto per muoversi tra simulazioni e testbeds o sistemi reali. Due sono i modi proposti da NS3 per l'integrazione del codice nei sistemi reali. Come in Figura 1.5, Il primo permette alle macchine virtuali di essere eseguite sopra i dispositivi NS3 e ai canali, il secondo invece degli stacks ns3 che sono eseguite in modo emulato e emettono pacchetti sopra dispositivi reali.

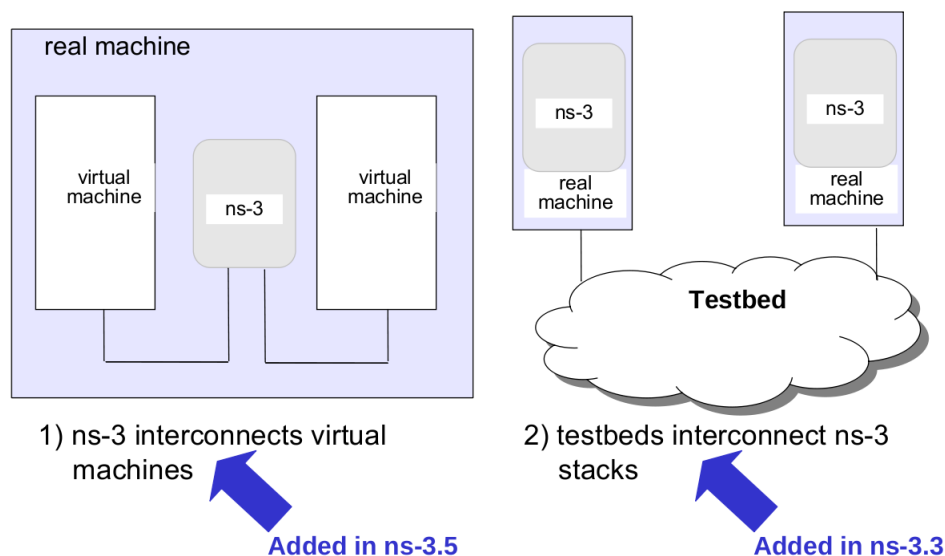


Figura 1.5: Metodi di integrazione di codice NS3 in sistemi reali

Tracing e statistiche Il Tracing è una forma strutturata di output della simulazione e molti trace sources sono implementati nel sistema, per esempio trace relativi alla ricezione di pacchetti o transizioni di stato delle macchine. Caratteristiche del Tracing sono per prima la gestione di outputs relativi a molte simulazioni indipendenti di uno scenario, dati che possono essere inseriti in un database oppure in ingresso a tools per analisi statistiche. Il tracing diventa dunque un modo per monitorare real-time l'evoluzione della simulazione ed estrapolare valori relativi ad un oggetto in ogni momento.

Sistema con attributi ben documentati In supporto al Tracing esiste una dettagliata documentazione, Doxygen, relativa agli attributi di ogni oggetto. Ogni oggetto ha dunque un set di attributi quali ad esempio il nome, valori di inizializzazione, tipo di oggetto che permettono ai ricercatori di supervisionare e configurare facilmente ognuno di questi moduli. Tali valori possono essere visualizzati in un GUI o settati tramite files di configurazione

Cooperazione della comunità Punto di forza principale di NS3 è che si tratta di un software open-source sotto la licenza GNU GPLv2. Il progetto permette la partecipazione della comunità scientifica dalla quale ci si aspetta l'integrazione di moduli aggiuntivi con l'avvento delle nuove tecnologie e nuovi standards, nonché interventi di manutenzione e perfezionamento per migliorare la credibilità della simulazione.

Capitolo 2

Il sistema LTE

Il 3GPP lavora sull'evoluzione del sistema mobile 3G iniziato con il RAN Evolution Work Shop in Canada nel Novembre del 2004. Il Work Shop era aperto a tutte le organizzazioni interessate, membri e non membri del 3GPP. Operatori, industrie e istituti di ricerca hanno presentato dei contributi con proposte sull'evoluzione del Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN). Un set di requisiti ad alto livello sono stati identificati nel Work Shop e Come risultato è stato steso il Technical Report (TR) 25.913 contenente requisiti dettagliati per i seguenti criteri:

- significativo aumento della velocità di trasferimento dati in downlink fino a 100 Mbit/s con larghezza di banda del canale di 20 MHz;
- significativo aumento della velocità di trasferimento dati in uplink fino a 50 Mbit/s con larghezza di banda del canale di 20 MHz;
- larghezze di banda del canale di 1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz e 20 MHz;
- protocollo di accesso al canale OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access);
- tempo di ritardo (latenza) inferiore a 5 ms lungo il percorso tra cellulare e rete fissa tramite l'interfaccia aerea;
- supporto delle modalità duplex FDD (Frequency Division Duplex) e TDD (Time Division Duplex);
- velocità di trasferimento dati superiori al bordo della cella;
- mobilità fino a 500 km/h (ottimizzata per 0 - 15 km/h);
- integrazione di antenne intelligenti (MIMO - Multiple Input Multiple Output);
- Ulteriore sviluppo del Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)

- bassi costi per ogni bit trasmesso via interfaccia aerea;
- architettura semplice, meno elementi di rete, interfacce aperte;
- Coesistenza e interazione con le diverse tecnologie 3GPP Radio Access Technology (RAT) preesistenti (UTRAN e GERAN)
- consumo di energia possibilmente basso degli apparecchi terminali (grande autonomia).

2.1 Architettura

L'intera architettura del E-UTRAN è descritta nel Technical Specifications 36.300 e 36.401. Le rete a pacchetto, oltre a essere coinvolte per l'accesso radio LTE, devono rispettare i nuovi requisiti della architettura piatta secondo il modello SAE (System Architecture Evolution) . Questa nuova architettura è progettata per ottimizzare le prestazioni della rete, migliorare l'efficienza dei costi e facilitare il mercato di massa dei servizi basati su IP.

Gli esistenti sistemi 3GPP (GSM e WCDMA/HSPA) e 3GPP2(CDMA2000 1xRTT, EV-DO) sono integrati nel sistema LTE attraverso interfacce standardizzate che forniscono una mobilità ottimizzata con LTE. Per i sistemi 3GPP, come in Figura 2.1, questo implica una interfaccia tra SGSN (Serving GPRS Support Node) e la evolved packet network (EPC) e per 3GPP2 una interfaccia di segnalazione tra CDMA RAN e la evolved packet network.[1]

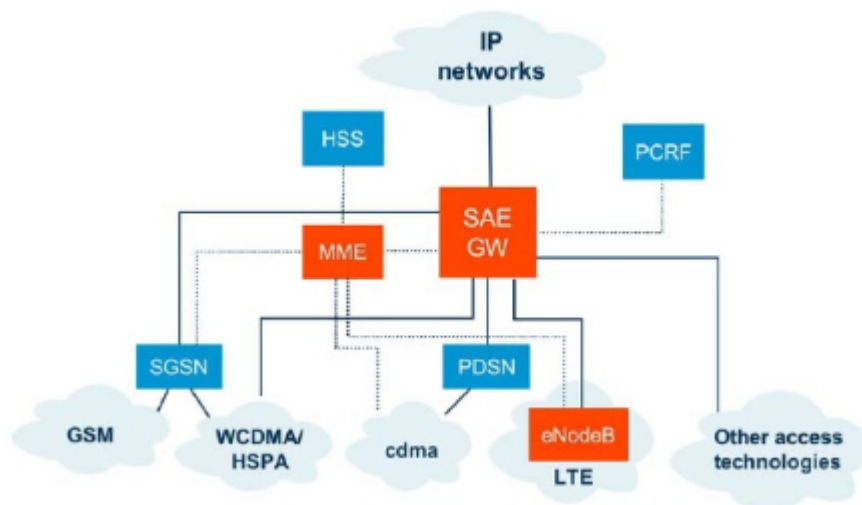


Figura 2.1: Architettura flat di LTE e System Architecture Evolution

Il controllo dei segnali, per esempio nella mobilità, è gestito dal nodo MME (Mobility Management Entity), separato dal Gateway. Questo permette uno sviluppo ottimizzato della rete e permette la capacità di scalare in modo flessibile.

E-UTRAN consiste di stazioni radio base dette eNBs (evolved-NodeB) che sono interconnesse tra loro attraverso una interfaccia X2 presentate in Figura 2.2. Ogni eNB è connesso alla rete Evolved Packet Core (EPC) attraverso l'interfaccia S1. Nello User Plane l'interfaccia S1 termina nel Serving Gateway (S-GW), nel Signalling Plane l'interfaccia S1 termina nel MME (Mobility Management Entity). Questa architettura piatta riduce il numero di nodi di rete coinvolti nelle connessioni. In Evolved UTRA le eNBs sono punti terminali per lo User e Control Plane verso le UEs.

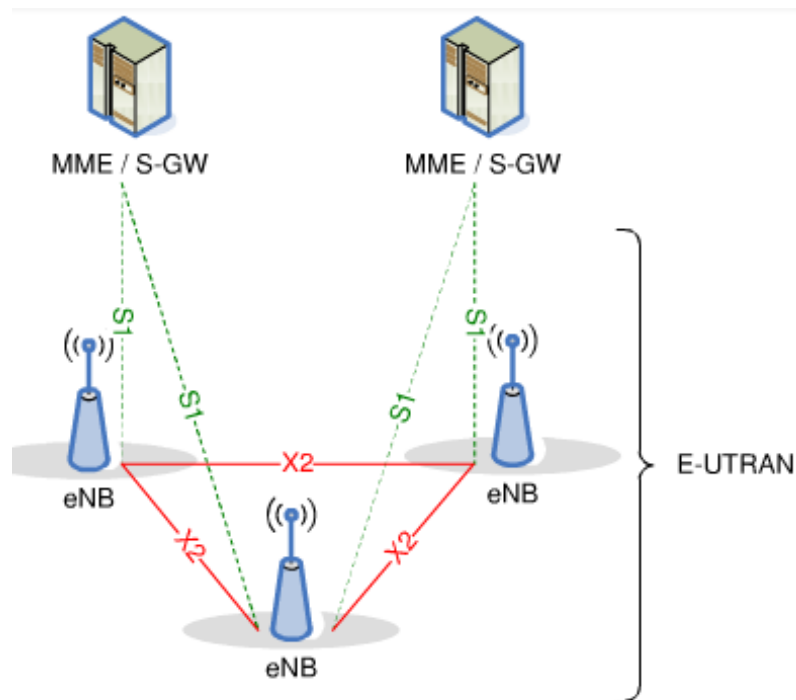


Figura 2.2: Architettura tra eNB e MME

2.1.1 Funzioni del eNB

L' evolved-NodeB esegue una serie di funzioni schematizzate in Figura 2.3 :

- Funzioni per Radio Resource Management: Radio Bearer Control, Radio Admission Control, Connection Mobility Control, allocazione dinamica di risorse alla UEs (User Equipments o terminali mobili) sia in uplink che in downlink (scheduling)
- Compressione dell'header IP e codifica per flussi dati di utente
- Selezione di una MME alla inizializzazione della Ue quando nessun routing verso una MME può essere determinato dalle informazioni fornite dalla Ue.
- Instradamento di dati del User Plane verso il Serving Gateway
- Schedulazione e trasmissione di messaggi di paging (originati dalla MME)
- Schedulazione e trasmissione di informazioni di broadcast
- Misurazioni e configurazione dei report di misurazione per la mobilità e lo scheduling , per esempio il modulo AMC con i CQI feedbacks (Channel Quality Index)

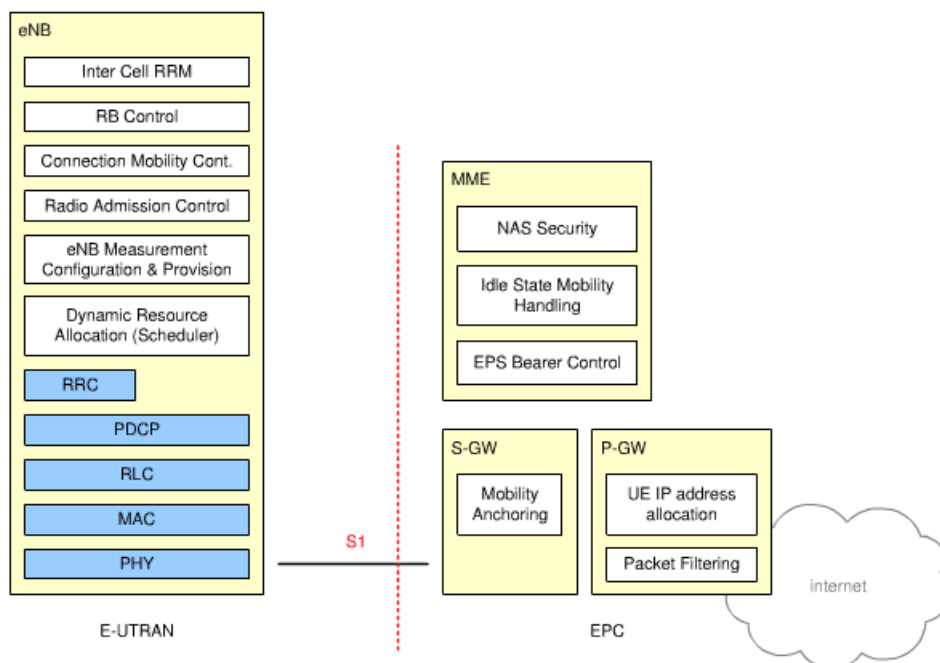


Figura 2.3: Divisione funzionale tra E-UTRAN ed EPC

2.2 Interfaccia Radio

La Figura 2.4 mostra lo stack protocollare per lo user-plane che è composto dei sottolivelli di PDCP (Packet Data Convergence Protocol) , di RLC (Radio Link Control) e MAC (Medium Access Control) . Essi terminano nel eNB sul lato rete e performano la compressione dell'header, la codifica, lo scheduling, l' ARQ e l'HARQ.

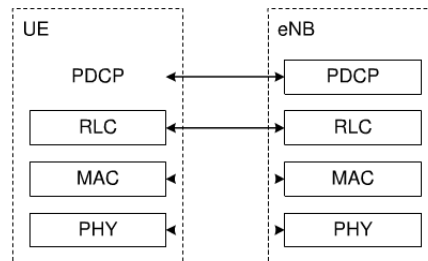


Figura 2.4: Stack protocollare dello user plane

La Figura 2.5 mostra lo stack protocollare per il control-plane. Il protocollo di controllo NAS è menzionato solo per informazione ed è parte della comunicazione tra UE-EPC. Il sottolivello PDCP (Packet Data Control Protocol) svolge la codifica e l'integrità della protezione mentre i sottolivelli MAC e RLC svolgono le stesse funzioni come per lo user-plane. Il modulo RRC performa il broadcast , il paging , la gestione delle connessioni RRC , il controllo e il reporting delle misurazioni fatte dalle UE

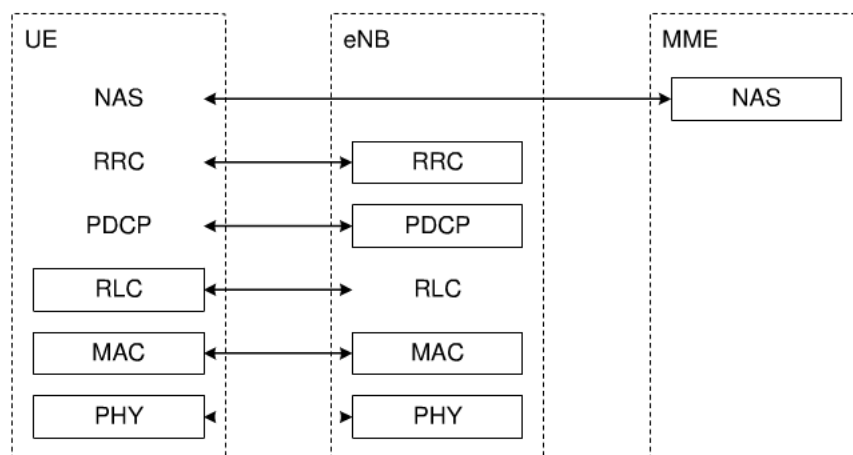


Figura 2.5: Stack protocollare del control plane

2.3 Schemi di Trasmissione

L'accesso multiplo nel livello fisico di LTE è basato sul metodo OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) con un prefisso ciclico (CP) in downlink e sul metodo a singola portante SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) con CP in uplink.

2.3.1 OFDMA

La tecnica OFDMA è particolarmente adatta per canali selettivi in frequenza e alto data rate. Essa trasforma un canale a banda larga selettivo in frequenza in una serie di canali a banda stretta ad attenuazione costante (flat fading). Tale struttura idealmente permette di realizzare al ricevitore una equalizzazione poco complessa nel dominio della frequenza. Questa tecnica permette trasmissioni simultanee di una serie di flussi dati individuali e tali flussi possono essere usati inoltre per comunicare con più nodi simultaneamente, aumentando l'affidabilità del sistema.

Durante ogni trasmissione in downlink viene allocato ad ogni utente un set di sottocanali utilizzati per un periodo di tempo dopo il quale viene modificato. Uno schema dell'allocazione dei sottocanali in OFDM e OFDMA è presentato in Figura 2.6.

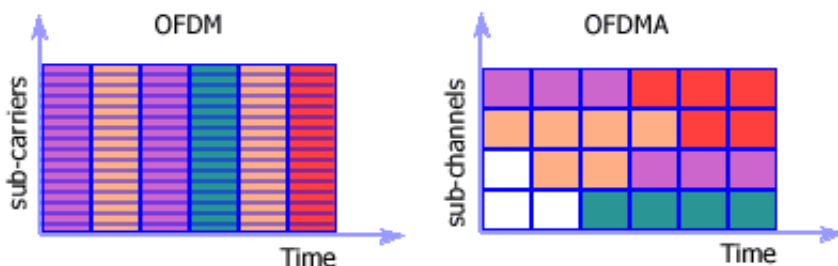


Figura 2.6: Allocazione delle sottoportanti in OFDM e OFDMA

2.3.2 SC-FDMA

In questo tipo di sistema di accesso all'utente, come avviene per l'OFDMA, vengono impiegate una serie di sottoportanti ortogonali per trasmettere le informazioni contenute nei simboli modulati.

Tuttavia, con la tecnica SC-FDMA, le sottoportanti vengono trasmesse sequenzialmente e non in parallelo, si veda la Figura 2.7. Questo tipo di soluzione consente di ridurre considerevolmente le fluttuazioni del segnale involuppo trasmesso, determinando un valore del PAPR (Peak to Average Power Ratio) molto più basso rispetto a quello riscontrato nei segnali basati sull'OFDMA. Questa caratteristica è particolarmente importante in quanto consente di evitare l'impiego, a livello di terminale

d'utente, di amplificatori di potenza con elevata linearità e bassa efficienza (misurata dal rapporto tra la potenza trasmessa e quella necessaria per l'alimentazione dell'amplificatore). D'altra parte, l'utilizzo di questa tecnica nei sistemi cellulari, intrinsecamente soggetti a propagazione caratterizzata da cammini multipli, comporta che il segnale, ricevuto in corrispondenza della stazione radio base, sia suscettibile ad interferenza intersimbolica. Per far fronte a questo problema risulta quindi necessario impiegare, a livello di stazione radio base, sistemi di equalizzazione adattativi nel dominio della frequenza che ovviamente determinano un più elevato carico di lavoro di elaborazione nonché maggiori costi di implementazione che però graveranno principalmente sull'operatore.

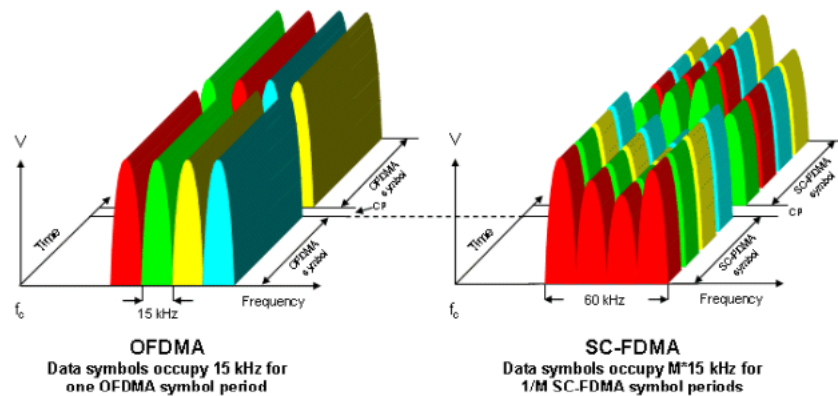


Figura 2.7: Confronto tra OFDMA e SC-FDMA

2.4 Livello fisico

2.4.1 Struttura del frame

La Figura 2.8 mostra come l'allocazione della banda nelle trasmissioni a livello fisico sia basata sull'utilizzo dei resource blocks che permettono di adattarsi a varie allocazioni di spettro. Un resource block si estende su 12 sottoportanti di larghezza di banda di 15Khz ognuna oppure 24 sottoportanti con larghezza di banda di 7.5Khz ciascuna su uno slot di durata 0.5 ms. La struttura del frame usato per FDD (per entrambi le operazioni di full duplex e half duplex) ha una durata di 10ms e consiste di 20 slots con una durata di 0.5ms. La struttura del frame usata per il TDD consiste di due mezzi frames con una durata di 5ms ognuna e contenente 8 slots di 0.5ms e tre campi speciali (DwPTS, GP e UpPTS) che hanno lunghezze individuali configurabili e con durata totale di 1ms.

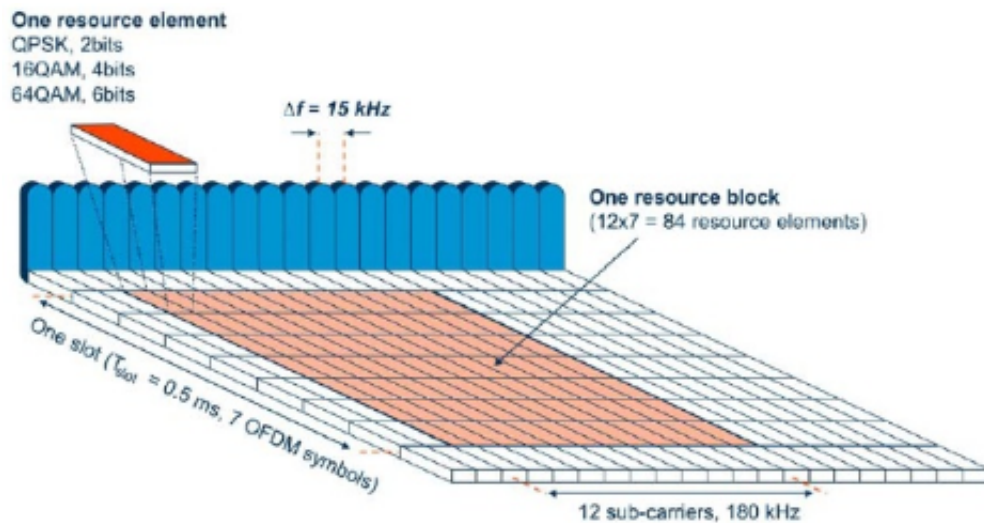


Figura 2.8: Struttura del resource block

2.4.2 MBSFN : Multimedia Broadcast over a Single Carrier Network

Per supportare il Multimedia Broadcast e il Multicast Service (MBMS), LTE offre la possibilità di trasmettere su una rete a singola frequenza (MBSFN), dove una forma d'onda comune sincronizzata nel tempo è trasmessa da celle multiple per una certa durata. Le trasmissioni MBSFN permettono un efficiente MBMS, infatti attraverso la combinazione di trasmissioni provenienti da più celle verso la UE, dove il prefisso ciclico è utilizzato per coprire la differenza nei ritardi di propagazione, la trasmissione MBSFN appare alla UE come se fosse trasmessa da una singola e grande cella.

2.4.3 Trasmissioni MIMO

Le Trasmissioni MIMO (Multiple Input Multiple Output) con antenne ad ingressi multipli e uscite multiple sono supportate in LTE con configurazioni in downlink con due o quattro antenne trasmettenti e due o quattro antenne riceventi, permettendo trasmissioni multi-layer fino a quattro flussi. Nel caso di MIMO a singolo utente, la stazione radio base alloca 1 o 2 flussi alla UE selezionata, mentre nel caso di MIMO multi utente l'allocazione di flussi diversi è fatta a diversi utenti (1 o 2 flussi per utente). Tale tecnica è supportata sia in downlink che uplink.

Capitolo 3

Mobilità nello standard 3GPP-LTE

Il tema principale della tesi è rappresentato dalla gestione della mobilità all'interno di Lte e viene data dunque una dettagliata documentazione sull'architettura e le dinamiche di questa parte. Lo standard 3GPP è inevitabilmente diventato la fonte di riferimento per avere precise informazioni ai fini di una futura implementazione in NS3.

3.1 Gestione della mobilità in una rete mobile

In un sistema di rete mobile, come suggerisce la stessa definizione, si vogliono servire dei terminali mobili (User Equipment) attraverso connessioni di servizio tra la stazione radio base e l'utente. Dato che l'utente si sposta spazialmente col passare del tempo , molti fattori della comunicazione wireless possono variare quali per esempio la potenza del segnale ricevuto dalla cella servente o le condizioni di canale nelle diverse sottoportanti usate per l'uplink e per il downlink. Al fine di garantire in ogni momento i requisiti richiesti da un determinato flusso di servizio risulta necessaria una gestione della mobilità degli utenti registrati all'interno della rete. Per comprendere il problema della mobilità è utile descrivere lo scenario base a cui appartiene un UE. La copertura del segnale all'interno di un area geografica è determinata dalla presenza di una stazione radio base servente, che nel caso del sistema Lte abbiamo definito eNodeB. Ogni eNodeB trasmette un segnale con una determinata potenza, come mostrato in Figura 3.1. Si può dunque identificare un' area di copertura all'interno della quale gli utenti connessi ricevono il segnale con un SNR sufficientemente elevato. La distribuzione degli eNodeB nell'area geografica determina la presenza di diverse zone di copertura, preferibilmente non troppo intersecate per problemi di interferenza, che sono attraversate dagli utenti in movimento.

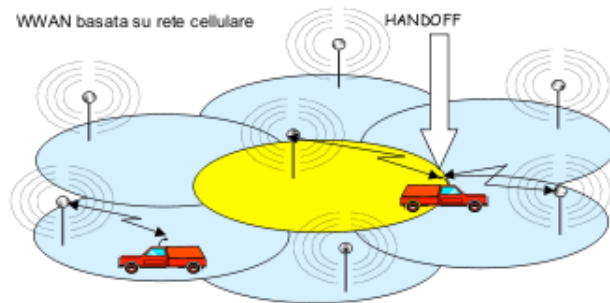


Figura 3.1: Scenario di mobilità in una WWAN

La gestione della mobilità in una WWAN (Wide Wireless Area Network) si può riassumere nel problema di determinare la locazione corrente di un nodo mobile e magari informazioni sulla sua velocità e direzione di spostamento. Nei sistemi cellulari la locazione coincide con la cella di residenza corrente che durante il movimento della UE può essere riaggiornata o cambiata nel caso si entri in un'altra zona di copertura.

Come requisiti primari del sistema di gestione della mobilità in una rete mobile si hanno:

- trasparenza verso l'utente :
le informazioni scambiate con la core network e la procedura di handoff , di localizzazione e tracking devono essere eseguite minimizzando il degrado della qualità della connessione dati o voce dell'utente.
- mantenimento della confidenzialità :
le informazioni sulla mobilità devono essere dovutamente criptate e accessibili solo con relative autorizzazioni.
- minimizzazione del carico del sistema per messaggi di controllo :
i messaggi scambiati durante le procedure di mobility non devono pesare sul traffico e le prestazioni della rete.
- scalabilità: il sistema può ampliarsi comportando l'inserimento di nuove stazioni radio base o nuovi utenti senza subire un degrado nelle performance.

Per definire le componenti della rete Lte e le procedure coinvolte nella gestione della mobilità delle UEs sono stati consultati i Technical Specifications relativi allo

standard 3GPP-Lte. Si sono dunque identificate tre parti principalmente coinvolte nella gestione della mobilità:

- entità MME : Mobility Management Entity
- entità RRC : Radio Resource Control della eNB che gestisce i flussi dati relativi ad ogni singolo utente e deve scambiarli con altre eNBs vicino nel caso di richiesta di handover.
- il livello fisico : permette le misurazioni da parte della UE richieste dalla eNB servente

3.2 MME e funzioni principali

Due sono le aree definite per la gestione della mobilità in LTE/SAE:

- La Cella , identificata da un Cell Identity
- La Tracking Area (TA) che rappresenta l'evoluzione delle aree di location e routing dal 2G/3G. Quando una UE è attaccata alla rete, la MME ne conoscerà la posizione a livello di tracking area. Nel caso la UE debba ricevere segnali di paging, questo verrà fatto nell'intera tracking area. La procedura di paging è usata dalla rete per richiedere l'inizializzazione di una connessione di segnali NAS verso la UE, inoltre ha la funzione di suggerire alla UE di riconnettersi se necessario come risultato di un fallimento della rete.

La tracking area è identificata da un Tracking Area Identity (TAI) come in Figura 3.2. Si sottolinea il fatto che le MME possono gestire la stessa tracking area comunicando tra loro attraverso l'uso di una opportuna interfaccia, chiamata S1-flex, che permette il coordinamento tra le diverse MME.

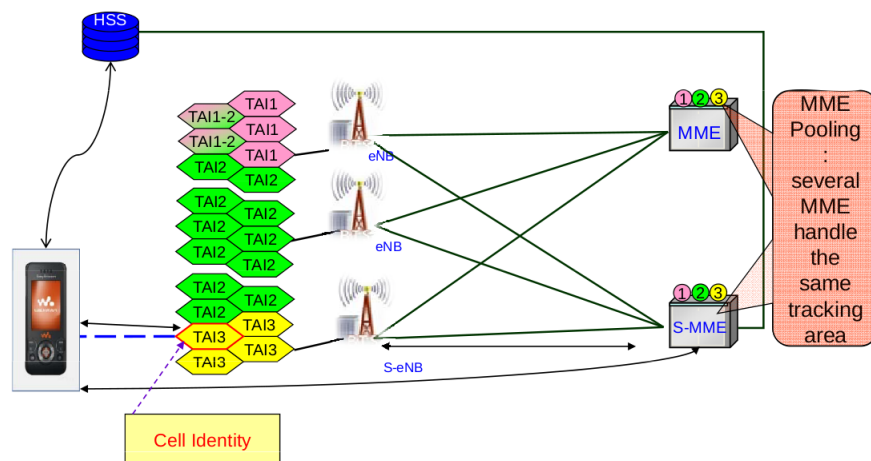


Figura 3.2: Aree di Tracking in LTE : Uso della interfaccia S1-flex

Una volta definite le aree di localizzazione in cui si può trovare la Ue , vengono introdotti quattro identificativi della UE e di cella sfruttati da LTE:

- IMSI, International Mobile Subscriber Identity
- S-TMSI, SAE Temporary Mobile Subscriber Identity
- C-RNTI, Cell Radio Network Temporary Identity
- S1-AP UE ID, S1 Application Protocol User Equipment Identity

IMSI Utilizzato nella SAE per identificare univocamente un iscritto a livello mondiale. La sua struttura è mostrata in Figura 3.3. Essa è composta di tre campi MCC+MNC+MSIN dove MCC sta per mobile country code e identifica il paese dove l'utente è connesso, MNC sta per mobile network code e identifica la rete mobile di appartenenza mentre MSIN sta per mobile subscriber identification number e identifica l'utente all'interno della rete. Un utente può usare lo stesso IMSI per il 2G, 3G e accesso a SAE. La MME utilizza il campo IMSI per localizzare la HSS (Home Subscriber Server) che contiene le informazioni di registrazione permanenti dell'utente utili per gli aggiornamenti dei tracking area e per le inizializzare connessioni.



Figura 3.3: Struttura dell'IMSI

S-TMSI Tale identificativo è dinamicamente allocato dalla MME servente (S-MME) e il suo obiettivo principale è evitare l'utilizzo dell' IMSI in aria. Internamente la MME allocata può tradurre S-TMSI in IMSI e viceversa. Lo standard non ha ancora definito se S-TMSI è unico per la MME o per la Tracking Area. La eNB deve selezionare la corretta MME per la UE e questo è fatto usando qualche bits del S-TMSI per identificare la MME servente della UE come in Figura 3.4.



Figura 3.4: Struttura del STMSI

C-RNTI Viene allocato dalla eNB servente alla UE quando entra in active mode (RRC-CONNECTED). Si tratta di un identificativo temporaneo per l'utente e valido solo all'interno della cella servente la UE. Esso è utilizzato esclusivamente per procedure di gestione radio, per esempio allocazione delle risorse radio.

Riassumendo la Figura 3.5 propone lo schema generale con la divisione delle Tracking area e i relativi identificativi associati.

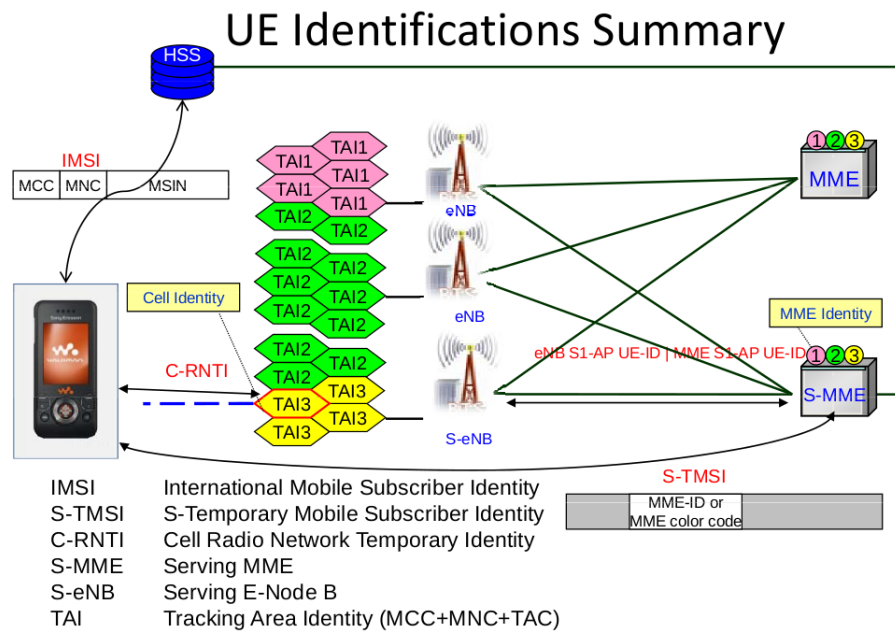


Figura 3.5: Identificativi del UE

Possiamo ora stilare un elenco delle funzioni relative alla MME che si riassumono in procedure di sicurezza (autorizzazioni e certificati), procedure di tracking e di inizializzazione della connessione.

Funzioni MME:

- Segnalazioni del NAS (Non Access Stratum)
- Segnalazioni di sicurezza del NAS
- Controllo di sicurezza dell' AS (Authentication Server)
- Segnalazioni tra nodi di diverse Core Network (CN) per la mobilità tra reti di accesso 3GPP
- Raggiungibilità della UE in idle mode (con controllo e ritrasmissioni di paging)
- Gestione delle liste delle Tracking Areas (per le UE in idle e active mode)

- Selezione della PDN GW e del Serving GW
- Selezione della MME per procedure di handovers che comportano un cambio della MME
- Roaming
- Autenticazione
- Funzioni per la gestione dei bearer incluse l'inizializzazione di bearer dedicati
- Supporto per la trasmissione di messaggi PWS (Public Warning System)

La MME possiede informazioni relative alla UE inerenti alla mobilità della stessa ma anche alle sue connessioni attive.

3.2.1 Mobility Management e RRC

Si distinguono due gruppi di stati definiti per la UE e basati sulle informazioni memorizzate dalla MME, dove EPS sta per Evolved Packet System:

1. stati EPS* Mobility Management (EMM)
2. stati EPS* Connection Management (ECM)

Stati EPS* Mobility Management (EMM)

- EMM-DEREGISTERED : In questo stato la MME non possiede nessuna valida informazione sulla UE. La MME può contenere qualche UE info quando la UE transita verso questo stato, ad esempio per evitare la necessità di doversi autenticare ogni volta che esegue una procedura di inizializzazione di connessione. Le procedure di inizializzazione e l'aggiornamento della Tracking Area (TAU) portano, se avvenute con successo, alla transizione verso lo stato EMM-REGISTERED.
- EMM-REGISTERED : In questo stato la MME possiede informazioni sulla locazione per la UE almeno relative alla Tracking Area di appartenenza. In tale stato la UE esegue procedure di TAU, risponde ai messaggi di paging ed esegue le procedure di servizio richieste nel caso ci siano informazioni da trasmettere in uplink. Gli stati EMM sono schematizzati in Figura 3.6.

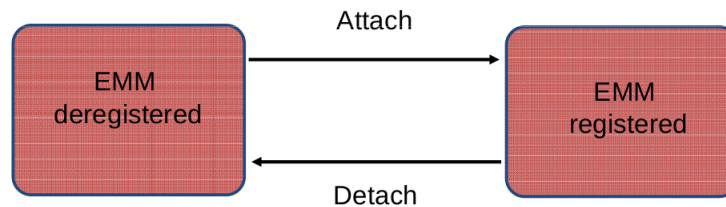


Figura 3.6: Gli stati della UE nella gestione della mobilità

Stati EPS* Connection Management (ECM) e stati LTE RRC

- ECM-IDLE

In questo stato non c'è segnalazione NAS tra la UE e la rete e la E-UTRAN non possiede informazioni relative alla UE. La locazione della UE è nota solo a livello di tracking Area e la mobilità è gestita con semplici aggiornamenti della TA.

- ECM-CONNECTED

In questo stato c'è segnalazione tra UE e la MME, comunicazione fornita tramite connessioni RRC tra UE e E-UTRAN e tramite una connessione S1 tra E-UTRAN e MME. La locazione della UE è nota con precisione di cella e la mobilità è gestita dagli handovers. Gli stati EMM sono schematizzati in Figura 3.7.

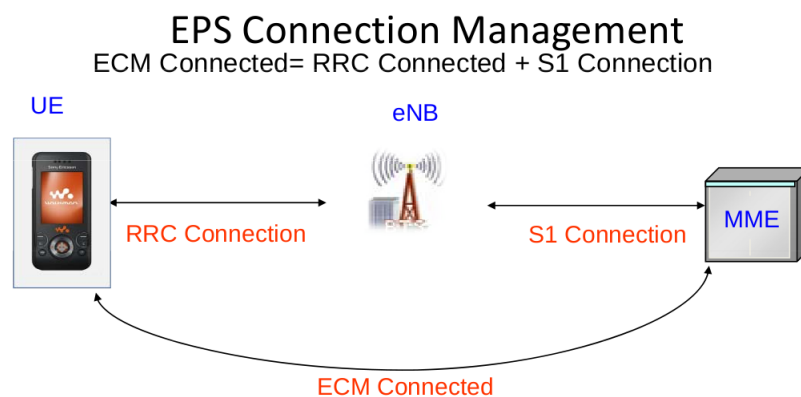


Figura 3.7: Connessioni eps

Avendo definito gli stati di relazione tra UE e MME abbiamo inoltre accennato agli stati del LTE Radio Resource Control che identificano due condizioni della UE a seconda che abbia stabilito o meno una connessione con la cella

RRC-IDLE

- Non c'è segnalazione tra la UE e la E-UTRAN
- La UE riceve informazioni di sistema (SI) e ascolta messaggi di Paging
- La Mobilità è basata sulla Cell Reselection eseguita dalla UE
- Nessun context RRC memorizzato alla eNB
- Procedure RACH (Random Access Channel) usate per eseguire l'RRC connection establishment

RRC-CONNECTED

- La UE ha una connessione con E-UTRAN RRC
- La UE ha un context in E-UTRAN e l'identificativo C-RNTI è stato allocato
- E-UTRAN conosce a quale cella appartiene la UE
- La rete può trasmettere e/o ricevere informazioni verso/dalla UE
- La Mobilità è basata sugli handovers
- La UE riporta le misurazioni delle celle vicine

La UE e la MME entrano nello stato ECM-CONNECTED quando viene stabilita una connessione di segnali tra le due entità. Analogamente la UE e la E-UTRAN entrano nello stato RRC-CONNECTED quando viene stabilita una connessione di segnali tra le due entità, come in Figura 3.8.

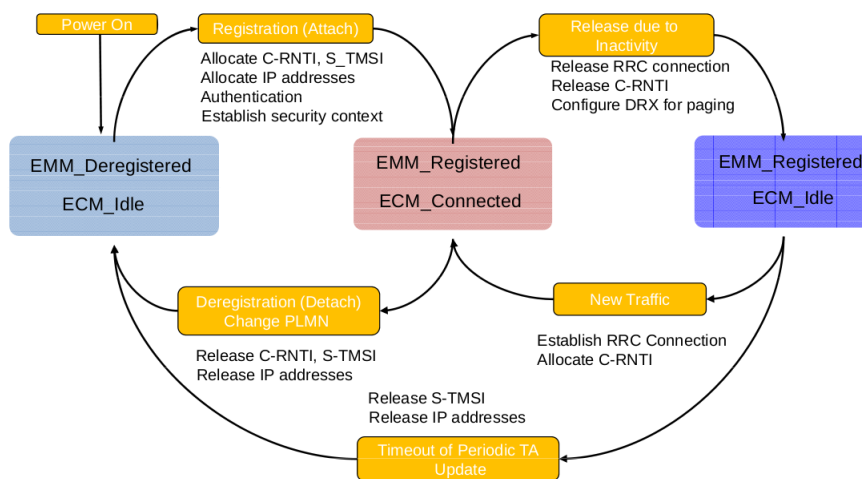


Figura 3.8: Transizioni degli stati EMM e ECM

3.2.2 LTE/SAE Bearer

La funzione principale di ogni rete mobile di telecomunicazione è di fornire agli utenti dei bearers di trasposto per i loro flussi dati. Nelle reti a commutazione di circuito gli utenti ricevono una porzione fissa della larghezza di banda della rete. Diversamente nelle reti a pacchetto gli utenti ricevono un bearer con una certa quality of service (QoS) che spazia da servizi con una larghezza di banda minima garantita fino a servizi best efforts senza nessuna garanzia. Nel caso di LTE/SAE si parla di un sistema orientato al pacchetto.

Il bearer si estende per tutta la rete, dalla UE all E-UTRAN e al EPS fino al terminale che connette alla PDN esterna. Ad ogni SAE bearer è associato una QoS di solito espressa da un etichetta o da un QoS Class Identifier (QCI) che raggruppa una serie di requisiti per la connessione dati richiesta dall'utente.[2]. A seconda del livello di rete in cui consideriamo il bearer esso è composta da diverse sezioni come in Figura 3.9:

- S5/S8 bearer :
Si trova tra il PDN GW e il SAE GW e sono in genere dei GTP tunnel tra i due elementi di rete

- SAE Bearer di Accesso tra eNB e il SAE GW :
Esso è implementato usando i protocolli GTP di 2G/3G che costruiscono un tunnel GTP tra eNB e il SAE GW. Il setup del bearer è gestito dalla MME e nella sua creazione il SAE GW e eNB non scambiano direttamente messaggi tra di loro.

- Radio bearers tra UE e eNB :
La eNB connette un radio bearer internamente con l'accesso SAE associato attraverso l'interfaccia S1-U, mentre il mappaggio dei radio bearers alle risorse del fisico sull'interfaccia aerea è il compito principale dello scheduler eNB attraverso messaggi di Allocation map.

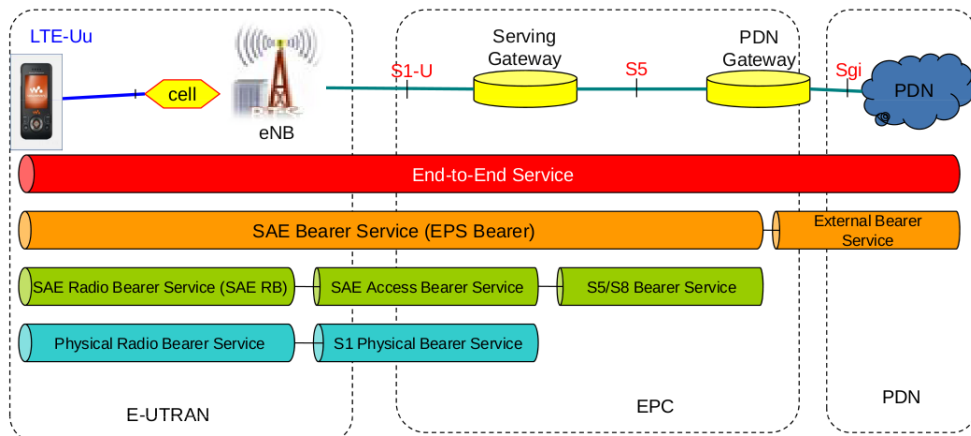


Figura 3.9: Struttura del SAE bearer

3.2.3 Misurazioni alla UE

Analogamente a quanto fatto per RRC entity si è preso come riferimento il Technical Specification 3GPP TS 36.214 V9.2.0 (2010-06) relativo al livello fisico e alle Misurazioni. Nella TS 36.214 viene descritto brevemente come i layers superiori, quali ad esempio la eNB e elementi della CN, inizializzano e controllano le misurazioni al livello fisico.

Per iniziare una misurazione specifica, la E-UTRAN trasmette un messaggio di 'RRC connection reconfiguration' alla UE che include un ID, un tipo, un comando (setup, modify, release), gli oggetti che devono essere sottoposti alle misure, il numero di misure da realizzare, le quantità da riportare e i criteri per i report, che possono essere periodici o triggerati come evento singolo. Quando i criteri per il report sono soddisfatti, la UE risponde con un messaggio di 'measurement report' alla rete E-UTRAN includendo l'ID della misurazione e i risultati. Per gli utenti in idle mode le informazioni sulle misure sono mandate in broadcast nel System Information (SI). I valori misurati alla UE ed essenziali nella procedura di handover sono essenzialmente due: RSRP, che da un'indicazione della potenza del segnale ricevuto, e RSRQ, che indica invece la qualità del segnale ricevuto.

Reference Signal Received Power (RSRP) RSRP è definito come la media lineare sui contributi di potenza delle sottoportanti che portano segnali di riferimento specifici della cella all'interno della banda di frequenza considerata. Il punto dove effettivamente vengono stimati gli RSRP è il connettore di antenna alla UE. Tali misure sono fatte con la UE sia in stato RRC-IDLE che in RRC-CONNECTED e in entrambi i casi possono essere di tipo intra-frequency e inter-frequency.

Reference Signal Received Quality (RSRQ) RSRQ è definito come il rapporto $\frac{N \times RSRP}{RSSI_{carrier}}$, dove N è il numero di resource blocks relativi alla larghezza di banda della portante misurata. Le misure al numeratore e al denominatore devono essere fatte sopra lo stesso set di resource blocks. RSSI è l'indicatore di potenza del segnale ricevuto alla portante E-UTRA e comprende la media lineare della potenza totale osservata dalla UE nei simboli OFDM ricevuti da tutte le sorgenti contenenti reference symbols nella banda di misurazione diviso il numero di resource blocks.

3.3 Procedura di handover in LTE 3GPP

La procedura di Handover (HO) che si esegue quando la UE si trova connessa con la rete E-UTRAN (RRC-CONNECTED) risulta essenziale per lo spostamento di un utente da una cella servente ad una adiacente. Considerando che l'handover crea un tempo di interruzione della connessione nello user plane, le performance di tale algoritmo sono molto importanti.

La procedura di handover definita nello standard viene illustrata in Figura 3.10.

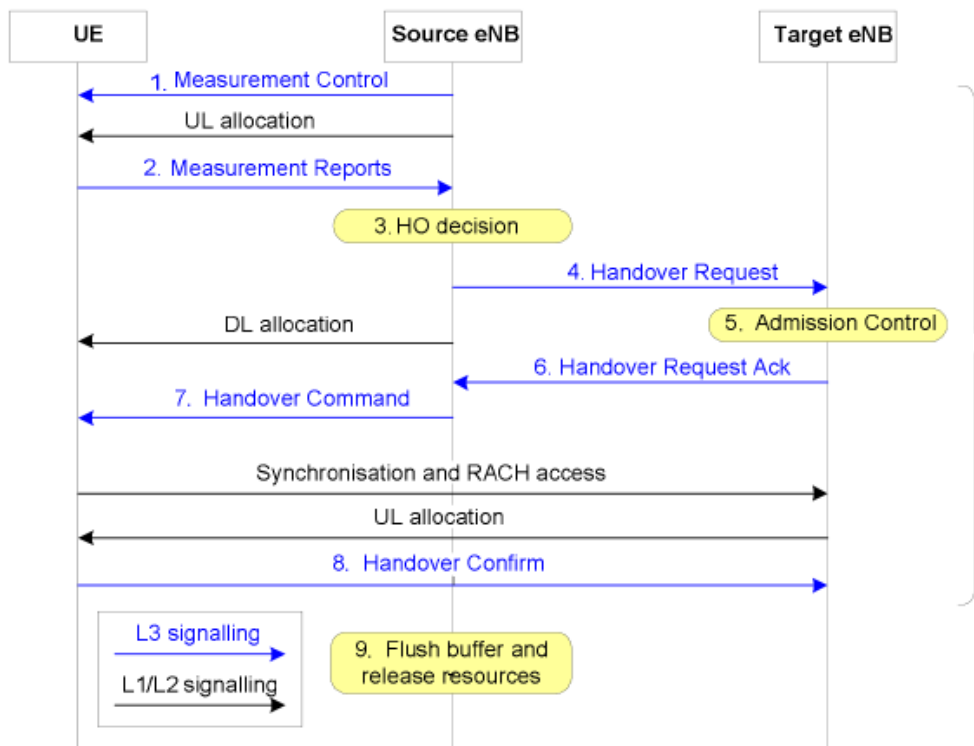


Figura 3.10: Protocollo di Handover tra eNBs in LTE 3GPP

Per chiarezza descrittiva denominiamo source eNB la cella servente che sta per essere lasciata dalla UE prima durante la procedura di Handover mentre viene detta Target eNB la cella destinazione verso la quale la UE vuole creare la nuova connessione. I passi principali della procedura sono:

1. L'handover è triggerato dalla UE che invia un Measurement Report alla attuale eNB servente. Questa prende la decisione di handover basandosi sul report e sulle informazioni del Radio Resource Management (RRM). Il metodo usato dalla UE per triggerare l'evento di Handover è descritto nella sezione successiva.

2. La fase di preparazione dell'handover inizia inviando la HO-REQUEST dalla eNB source alla Target eNB. Tale messaggio contiene tutte le informazioni relative all' HO (UE-RAN, PDCP context etc.)
3. La Target eNB salva il context , prepara i canali L1/L2 per l' HO e risponde alla source eNB con un HO-REQUEST-ACK che fornisce informazioni per l'inizializzazione del nuovo link radio. L'informazione include il nuovo C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identity).
4. La eNB source invia tutte le informazioni necessarie alla UE nel HO-COMMAND. Tale messaggio delinea la fine della fase di preparazione. Da questo istante la eNB source finisce di mandare e ricevere via interfaccia aerea. La UE esegue l'inizializzazione del link radio dopo lo scadere del tempo iniziale indicato nell' HO-COMMAND. Tale procedura comporta la disconnessione dalla vecchia cella (Detach) e la sincronizzazione verso la nuova , che comporta l'ottenere il timing advance e la mappa di allocazione delle risorse in uplink. Per precisione si riporta che il timing advance rappresenta la quantità di tempo che un segnale impiega per raggiungere la stazione radio base dal cellulare mobile. Durante questo tempo (Detach Time) non c'è connettività radio verso il sistema, infatti la UE è disconnessa dalla eNB source e non è ancora connessa alla target eNB.
5. La UE informa la Target eNB sul successo della procedura di Handover inviando un messaggio di HANDOVER-CONFIRM.
6. La Target eNB inizia il data path switching inviando un messaggio di HANDOVER-COMplete al Gateway MME/SAE. Le informazioni sulla locazione della UE sono aggiornate al Gateway MME/SAE dopo aver ricevuto l'HANDOVER-COMplete e lo stesso Gateway esegue il path switching dopo il quale i pacchetti sono direttamente inviati alla Target eNB.
7. Il MME/SAE conferma il path switching con un messaggio di HANDOVER-COMplete-ACK. Dopo aver ricevuto il messaggio la Target eNB manda una indicazione di RELEASE-RESOURCE alla source eNB.

Si sottolinea che tutta la messaggistica scambiata durante la procedura appartiene al protocollo di Radio Resource Control (RRC).

3.3.1 Metodo per determinare l'handover

L'evento di handover è triggerato alla UE sulla base dei parametri definiti dalla rete. A livello nominale una serie di parametri sono comunicati alla UE, il primo è chiamato hysteresis, o HO hysteresis, mentre il secondo è detto Time To Trigger (TTT).[3] La UE esegue misure periodiche dei RSRP e RSRQ sui reference symbol ricevuti

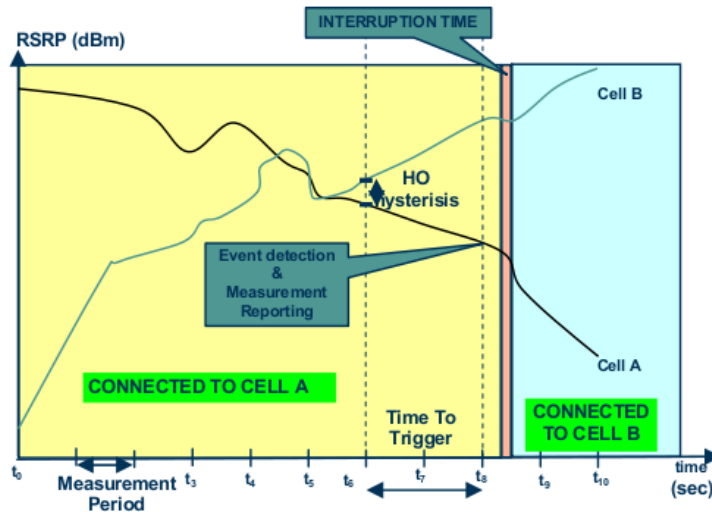


Figura 3.11: Metodo base per triggerare l'evento di handover

dalla cella servente e dalla celle adiacenti con potenza di segnale più forte. Nel caso l'algoritmo di handover sia basato sui valori RSRP, l'evento di HO è triggerato quando il valore del RSRP da una cella adiacente è più alto di quello misurato alla cella servente di un numero di dBs uguale all' HO hysteresis, condizione che deve essere soddisfatta per un periodo uguale a TTT.

Nella Figura 3.11 è mostrato un esempio di handover triggering all'interno di 3GPP LTE. L'evento rilevato e riportato alla UE è definito evento A3 all'interno dello standard.

Numerosi meccanismi di triggering per handover sono stati proposti in letteratura ma la base comune di tutti è quello presentato. Si deve notare che la RSRP raffigurata in figura è l'output di un certo processo (Layer 3 filtering) che calcola la media dei campioni più recenti (moving average filter) opportunamente prefiltrati. Inoltre la definizione dei valori di TTT e HO hysteresis dovrebbero essere calcolati in modo appropriato dato che il settaggio ottimo è funzione della velocità della UE, della distribuzione della rete radio, delle condizioni di propagazione e del carico del sistema.

Capitolo 4

Femtocelle

4.1 Cosa sono le femtocelle

La Femtocella è la tecnologia di rete emergente e rappresenta una stazione radio base cellulare a bassa potenza di trasmissione che opera in una banda sotto licenza per permettere di connettere in modo convenzionale terminali mobili ad una rete di operatore mobile. Il raggio di copertura delle femtocelle è misurato essere circa 10 metri.

Esse utilizzano la linea DSL (Digital Subscriber Line) , o il cavo o la fibra generalmente installata negli edifici per garantire la connessione Internet come rete di backhaule per la core network dell'operatore. Il Femto Access Point (FAP), altrimenti chiamato Home Node B (HeNB) nella terminologia del 3GPP LTE, è il dispositivo principale di una rete femtocella che fornisce funzionalità per accesso radio alla rete (RAN). Le FAPs furono inizialmente progettate per un uso residenziale per permettere una migliore copertura voce e dati, migliorando allo stesso momento l'affidabilità della macrocella .

La soluzione delle femtocelle presenta molteplici vantaggi di lato economico. Le FAPs sono dotate di un equipment finalizzato all'utilizzatore (Consumer Premise Equipment), ovvero ci si aspetta che operino in modo plug and play per permettere una facile installazione da parte dell'utente. Data la modalità Plug& Play ed il basso costo di mercato di una FAP che si aggira attorno ai 100\$, tale tecnologia risulta molto più economica per l'operatore rispetto all'alternativa di installare una SRB con relativa alimentazione.

4.1.1 Architettura con femtocelle e macrocelle

Le femtocelle e le convenzionali macrocelle sono viste come reti separate ma in realtà non lo sono. L'implementazione delle femtocelle dovrebbe coprire l'area non coperta dal segnale (blank area) e aumentare l'utilizzo della capacità wireless che non è coperta dalla stazione radio base della macrocella[4].

Relativamente all'architettura del E-UTRAN HeNB, le discussioni per gli standards femtocelle LTE si stanno svolgendo nei Femto Forum, in NGMN Alliance e in 3GPP. Anche se l'architettura non è stata finalizzata, esiste un forte consenso a mantenerla più piatta (flat) possibile. Il dibattito è ancora acceso relativamente alla necessità di inserire un elemento di segnalazione alla rete per la gestione delle femtocelle oppure se l'EPC (evolved packet core) dovrebbe supportarle direttamente[5].

L' HeNB-GW , per potersi meglio integrare con le reti di macrocelle LTE, dovrebbe apparire alla MME come un eNodeB e viceversa l' HeNB-GW appare al HeNB come una MME tra le HeNB e la core network. In questo sistema ci possono essere decine di migliaia di femtocelle in una cella LTE tradizionale.

L'architettura di riferimento è mostrata in Figura 4.1 .

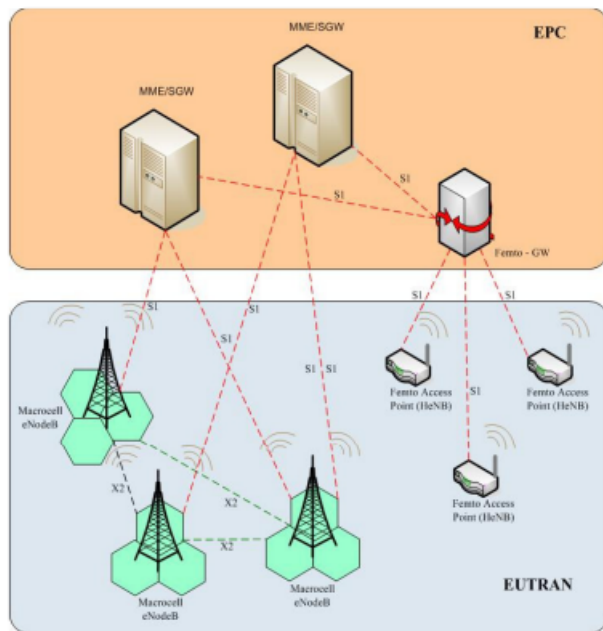


Figura 4.1: Architettura E-UTRAN con sviluppo di femtocelle

L'architettura presenta un set di interfacce S1 per connettere la HeNB al EPC. Con la presenza del Home eNB Gateway (HeNB GW) si ha una espansione dell'interfaccia S1 tra HeNB e core network, di modo che molte HeNB possono essere collocate e connesse al HeNB GW. Si può assumere che HeNB GW lavori sul control plane e funga da concentratore per i segnali derivanti dalle femtocelle e l'interfaccia S1 della MME. L'architettura logica del HeNB è mostrata in Figura 4.2 .

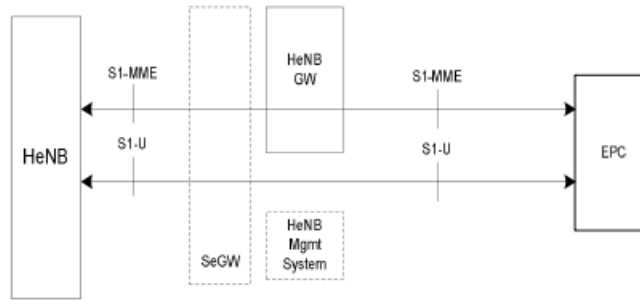


Figura 4.2: Architettura logica di E-UTRAN con femtocelle

Tra i problemi principali dovuti alla coesistenza tra macrocelle e femtocelle si ha la partizione dello spettro. Le FAPs operano sullo stesso spettro delle macrocelle, tale banda deve essere efficientemente allocata nella rete femtocella per mitigare problemi di interferenza[6] e fornire il migliore bilanciamento del traffico tra le due reti[7].

Un'altra questione è relativa alla investigazione di algoritmi di self-configuration e self-management che dovrebbero supportare le FAPs. Essi permetterebbero di adattare potenza trasmessa, codifiche etc. a seconda del contesto circostante che determina condizione di canale e interferenza.

Infine, trattandosi di una rete con nodi distribuiti e forti potenzialità di espansione, non bisogna trascurare i problemi relativi alla scalabilità del sistema e alla sua sicurezza.

L'attenzione di questa tesi si concentra su aspetti relativi alla mobilità in un sistema LTE e in particolare ad algoritmi di handover che in uno scenario femtocella devono considerare la possibilità da parte dell'utente di potersi connettere alla macro-rete o alla femto-rete e i relativi problemi di rielezione di femtocelle da parte della UE.[8].

4.2 Handover in scenario femtocella

Sulle reti a femtocelle sono state pubblicate molte ricerche relative al supporto della mobilità in 3GPP LTE e sono stati descritti problemi relativi come la ricerca della HeNB nel CSG (Closed Subscriber Group), la rielezione della cella e i parametri sensibili per la decisione dell'handover.[9] L'handover, come abbiamo già descritto, da un lato permette la comunicazione durante il movimento dell'utente nella rete e dall'altro aumenta in modo significativo l'overhead dei segnali scambiati nella rete. Tale overhead può variare a seconda del tipo di handover che si sta considerando. Per riferimento si veda [10] Data la coesistenza di macrocelle e femtocelle in uno stesso contesto si distinguono tre possibili tipi di handover come mostrato in Figura 4.3

- Hand-in, questo scenario presenta l'handover dove una UE cambia da una macrocella eNodeB verso un FAP.
- Hand-out, rappresenta l'handover che viene eseguito da una FAP ad una macrocella eNodeB
- Inter-FAP, corrisponde all' handover da un FAP ad un altro FAP. In questo scenario si assume che tutti i FAPs siano situati nello stesso posto e serviti dallo stesso service provider.

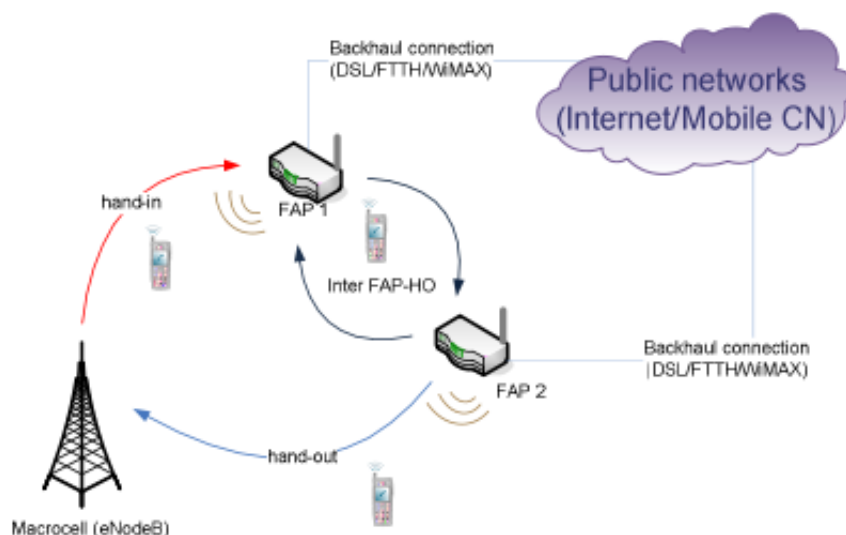


Figura 4.3: Scenario di handover in reti femtocella

4.2.1 Procedura Hand-in

L'handover da una macrocella ad una femtocella è molto richiesto e complesso dato che ci sono centinaia di possibili target FAPs. La UE deve selezionare la FAP più appropriata considerando come parametro anche il livello di interferenza. Diversamente dall'handover descritto nel Capitolo 2 gestito esclusivamente dalle eNBs attraverso le interfacce di comunicazione X2, questo handover richiede la gestione di un FemtoGateway e del MME. La MME è il nodo di livello superiore con cui comunicano le macrocelle e lo stesso MME comunica con il femto Gateway per la selezione della FAP più opportuna. Secondo l'architettura di Figura 4.1 il Femto Gateway diventa un nodo di inoltro intermedio per i messaggi scambiati con le femtocelle. Il flusso di segnali scambiati in tale procedura è mostrato in Figura 4.4.

La decisione di Handover viene fatta dalla femtocella servente che invia il messaggio di HandoverRequest al MME che a sua volta lo inoltra al Femto Gateway. Quest'ultimo reinvia la richiesta al target FAP che, in seguito all'usuale procedura di Admission Control, risponde al Femto Gateway con un HandoverResponse. Lo stesso

Gateway inoltra poi la risposta al MME che la invia alla FAP servente. Questa invia dunque un messaggio di HandoverCommand alla UE interessata che si disconnette dalla macrocella servente e si sincronizza alla femtocella selezionata come target dell'handover. Infine la UE manda un HandoverConfirm alla FAP target che richiede il Path switch alla MME. Tale richiesta si traduce in una richiesta inviata dal MME al Serving Gateway (SG) come richiesta di User Plane Update, segue la risposta del SG alla MME che inoltra dunque il Path Switch Response alla FAP target. Infine la FAP target invia, passando per il Femto Gateway, la Release Resource alla vecchia FAP servente che può disallocare le risorse alla UE.

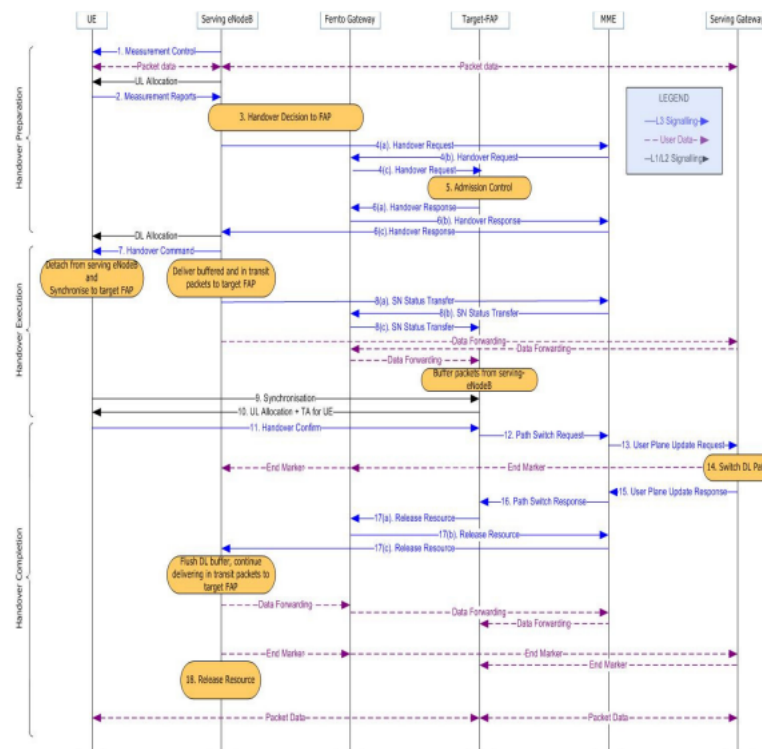


Figura 4.4: Flusso di segnali per hand-in (handover da macrocella a femtocella)

4.2.2 Procedura Hand-out

Tale handover è il meno complesso dato che la cella target non deve essere selezionata tra un gruppo ma è la sola macrocella il cui segnale ricopre l'area geografica in cui sta transitando la UE. Come mostrato in Figura 4.5, i messaggi scambiati dalla procedura sono gli stessi del Hand-in solo che sono scambiati nell'ordine inverso, dalla FAP servente alla eNB target con il nodo di MME e Femto Gateway che fanno da relay intermedi.

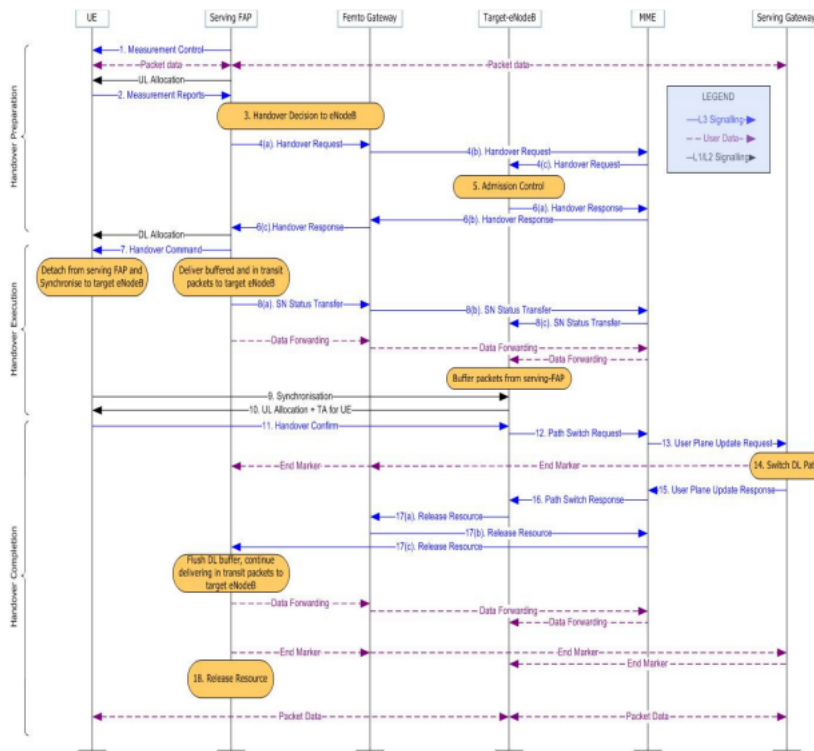


Figura 4.5: Flusso di segnali per hand-out (handover da femtocella a macrocella)

4.2.3 Procedura Inter-FAP

L'handover tra HeNB è quello considerato in questa tesi ed equivale come complessità all'handover tra le macrocelle LTE dato che la HeNB servente deve interfacciarsi con le HeNB adiacenti per la selezione della target HeNB. Esso utilizza l'eNB-GW come punto ancora per la mobilità dato che le HeNB secondo architettura 3GPP-LTE con femtocelle non possiedono una interfaccia X2 per poter comunicare tra loro in maniera indipendente dal HeNB-GW.

La procedura richiede l'intervento solo del HeNB-GW mentre la MME non è interessata come in Figura 4.6. I messaggi scambiati sono identici a quelli delle altre

procedure di handover descritte, l'unica variante è che i messaggi tra FAP servente e FAP target sono scambiati con il solito HeNB-GW che fa da ponte.

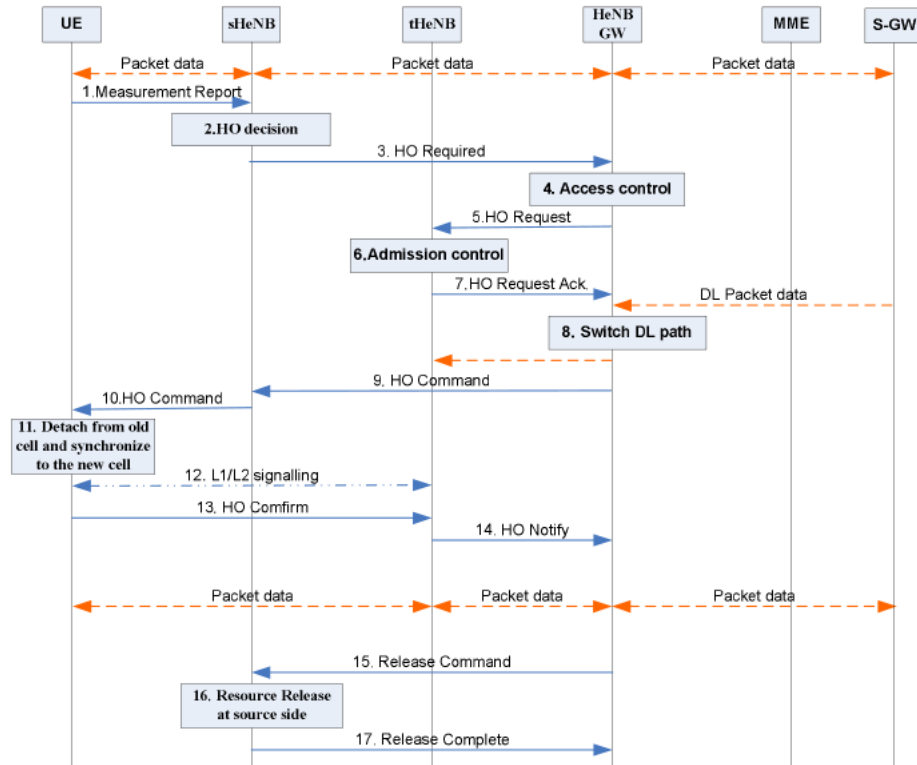


Figura 4.6: Handover inter-HeNB con HeNB-GW come ancora di mobilità

4.3 Politiche di decisione di handover

Una tra le questioni sottoposte a ricerca nella procedura di handover è il meccanismo di decisione dell'handover. Le metriche comuni per il meccanismo di decisione sono il carrier to Interference-and-Noise Ratio (CINR), Receive Signal Strength Indicator (RSSI) e la Quality of Service (Qos). Queste metriche sono molto richieste nei requisiti di un handover avanzato, per esempio un handover veloce in reti di femtocelle con centinaia di potenziali target FAP[11].

In genere l'handover è una procedura controllata dalla rete (network based) in cui la decisione di eseguire l'handover è presa dal eNodeB, nel caso di hand-in, e dal FAP a cui la UE è correntemente attaccato nel caso di hand-out e inter-FAP. Esistono anche proposte di handover client-based che risultano molto efficienti finché ogni cambiamento dei parametri interessanti e eventi può essere monitorato dalla UE attraverso le sue interfacce wireless e poi usarle per triggerare l'handover. Un esempio è la tecnica base introdotta nel capitolo 2 dove la UE triggera l'evento di

handover in base ai RSSI ricevuti dalla cella servente e vicine.

Dal punto di vista del bilanciamento del traffico, quando un grande numero di UEs attive si trovano in una determinata cella, le risorse disponibili potrebbero essere insufficienti per soddisfare la QoS del servizio real time. Tuttavia esse potrebbero offrire buone prestazioni per il servizio best effort. In particolare nel caso del FAP se la risorsa disponibile è troppo piccola per la UE per fare handover verso la cella CSG, allora la UE deve fare handover verso un'altra FAP accessibile oppure verso la macrocella eNodeB.

4.3.1 Handover proattivi e reattivi

In letteratura si distinguono due categorie di handover a seconda che si effettui o meno una stima in anticipo di quando e verso chi può verificarsi l'handover da parte della UE: l'handover reattivo e l'handover proattivo. Si è preso come riferimento l'articolo [12]

Handover reattivo Questo algoritmo tende a posticipare l'handover il più a lungo possibile, anche se la UE ha scoperto il nuovo segnale RSSI dalla cella vicina. L'handover è triggerato quando la UE ha quasi perso il segnale della eNodeB/FAP servente.

Questa soluzione è efficiente in un sistema femtocelle dove la UE si trova a subire ripetutamente handover spesso non necessari da una FAP ad un'altra FAP, infatti dai risultati tale tecnica mitiga l'overhead degli HO.

Handover proattivo Questo handover tenta di stimare le caratteristiche della rete di una specifica posizione prima che il livello di RSSI della corrente eNodeB raggiunga la soglia di hysteresi (HHT). Tale soluzione minimizzi le perdite dei pacchetti e i grandi ritardi durante l' HO.

Dalle fonti [12] in questa categoria si riconoscono due principali metodi che si distinguono a seconda delle condizioni che devono soddisfare.

La prima condizione è che il livello del RSSI della HeNodeB attualmente connessa con la UE sia più basso di una soglia di predizione fissa (FPT).

La seconda condizione è che il livello del RSSI di un Access Point visibile dalla UE più la soglia di predizione (HPT) sia più grande del livello di RSSI della attuale HeNodeB.

- Hard Proactive (HP) : richiede che venga soddisfatta la seconda condizione, ovvero che $RSSI_{corrente} - RSSI_{vicino} < HPT$, come in Figura 4.8.
- Soft Proactive (HP) : richiede che venga soddisfatta la prima e la seconda condizione , ovvero che $RSSI_{corrente} - RSSI_{vicino} < HPT$ e $RSSI_{cur} < FPT$, come in Figura 4.7.

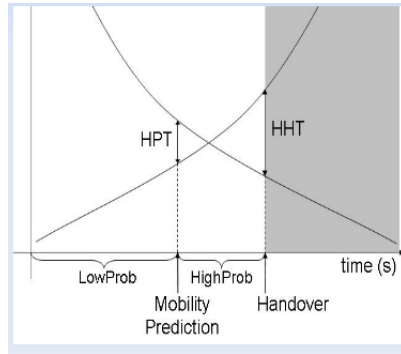


Figura 4.7: Soft Handover

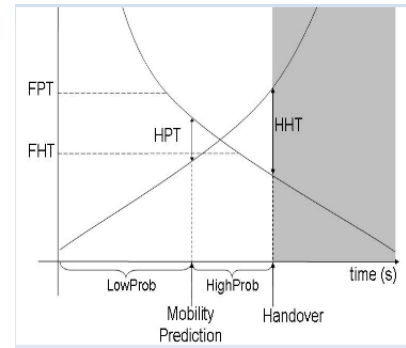


Figura 4.8: Hard Handover

4.3.2 Predizione di mobilità nel handover

La predizione della mobilità della UE può risultare efficace nella decisione di handover. Il parametro di predizione può essere inviato in broadcast come informazione di sistema dalla cella servente.

Conoscendo la posizione corrente e la velocità della UE si può stimare in che direzione la UE sta andando, dunque si può predire la prossima posizione in cui la UE potrebbe essere sottoposta ad handover. In tale procedura si assume che la UE sia capace di inviare periodicamente, per esempio ogni secondo, la sua posizione alla cella servente durante il suo movimento. Nello stesso momento la cella mantiene un database di tutte le possibili celle target verso le quali si può eseguire l' handover.[13]. La probabilità di transizione da una cella ad un'altra è modellato come un processo di Markov e approssimato come:

$$p_n = [p] \times [P_{n-1}] = [p_{n-1}] \times [P]$$

dove p_n è la probabilità che la UE si trovi in una posizione dopo n transizioni, p è la matrice di distribuzione di probabilità delle posizioni iniziali, P_{n-1} è definita come la matrice di transizione dopo $n-1$ passi, p_{n-1} è la distribuzione di probabilità delle posizioni dopo n transizioni e P è la matrice di probabilità ad un passo. Usando questo metodo di può stimare la probabilità di handover e nel caso dovesse avvenire, il tempo rimanente prima che la procedura venga triggerata.

4.4 Algoritmo handover reattivo basato su QoS

4.4.1 Descrizione

Viene in seguito proposto un algoritmo definito in [10]. L'utilizzo di handover reattivi combinato alla predizione di mobilità proposta diventa diventano strumenti per migliorare il meccanismo convenzionale di decisione dell'handover che si basa solo sulla qualità del segnale ricevuto (RSSI / CINR) e la QoS. Viene dunque proposto un esempio di meccanismo ottimizzato.

Lo pseudo codice dell'algoritmo ottimizzato è presentato in Figura 4.9:

```
1.  INITIALISATION # HO algorithm
2.  EXAMINE V      # V is the speed of UE
3.  IF V > 10 Km/h
    NO HAND-IN
4.  ELSE IF V > 5 Km/h
    PERFORM MOBILITY PREDICTION
    IF Traffic = Real-Time
        PERFORM PROACTIVE HO
    ELSE IF Traffic = Non Real-Time
        PERFORM REACTIVE HO
5.  ELSE IF Traffic =Real-Time
    PERFORM PROACTIVE HO
    IF Traffic = Non Real-Time
        PERFORM REACTIVE HO
6.  ELSE
    PERFORM NORMAL HO
    RETURN
```

Figura 4.9: pseudo-codice per algoritmo ottimizzato di handover

4.4.2 Risultati

I parametri di simulazione sono in breve esposti:

- L' Admission Control è stato approssimato forzando la UE a stare per un tempo particolare sulla nuova FAP a cui si è connessa, tipicamente 10 secondi e 20 secondi sono stati assegnati come tempi di soglia)
- uso di reactive handover: l'handover è posticipato finchè la UE raggiunge la target FAP come risultato della predizione di mobilità.
- la velocità massima della UE è di 10Km/h
- si assume modello di mobilità random per gli utenti
- scenario con 20 FAP e 3 eNodeB
- area di copertura delle FAP si assume circolare con raggio di 10m

- dato che la mobilità random è usata nel processo di predizione, si assume che la UE non cammini in modo random ma una serie di percorsi altamente probabili possono essere fatti. A livello realistico questo parametro suppone una mappatura del territorio da parte della FAP che dovrebbe riuscire a riconoscere i percorsi usualmente più attraversati dagli utenti che transitano nella zona.

I risultati delle simulazioni condotte sullo scenario descritto evidenziano differenze tra le prestazioni di algoritmi reattivi comparati con algoritmi di handover proattivo.

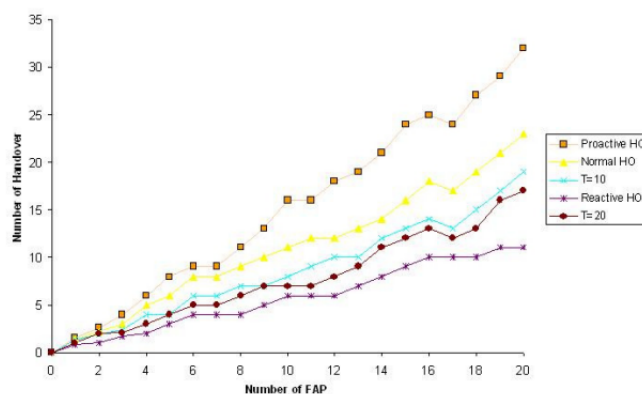


Figura 4.10: Performance di handover reattivo e proattivo

Come si può osservare in Figura 4.10 tratta da [10], il numero di handover totale aumenta chiaramente col numero di FAPs all'interno dello stesso scenario. La differenza è che i metodi di triggering di tipo reattivo portano a meno handover rispetto a quelli proattivi, ponendosi come estremi rispetto al metodo normale di HO che non prevede predizioni o soglie di ottimizzazione. Questo delta è giustificato nelle condizioni più restrittive per l'handover dettate da algoritmi reattivi rispetto a quelli proattivi che tentano di stimare in anticipo l'evento con conseguenti margini di errore che portano ad handover non necessari.

4.5 Algoritmo di handover basato sulla velocità e la QoS

4.5.1 Descrizione

Per via delle piccolo raggio di copertura che ogni femtocella può offrire, gli utenti con alta velocità attraverseranno le femtocella in un tempo breve. Considerando la QoS, gli utenti ad alta velocità non sono costretti a eseguire l'handover soprattutto per il servizio non real-time.

Si presenta di seguito un algoritmo in cui viene classificata la velocità delle UEs per evitare la situazione descritta.[14]. Vengono distinti tre stati di mobilità:

- Stato a bassa mobilità : da 0 a 15Km/h , ovvero camminata lenta e stazionaria.
- Stato a media mobilità : da 15 a 30Km/h, ovvero andare in bicicletta.
- Stato ad alta mobilità : sopra i 30Km/h, ovvero guidare una macchina.

Anche la QoS gioca un ruolo importante negli handover relativi a HeNB. Algoritmi di handover inadatti possono causare una degradazione della QoS per i relativi utenti attraverso handover non necessari.

Per applicazioni non real-time, i ritardi e le perdite di pacchetto possono essere tollerati fino a un certo limite, diversamente per applicazioni real time quali IPTV, VoIP e giochi online. Qualche volta gli utenti a bassa mobilità vogliono muoversi verso l' HeNB più velocemente possibile e rimanere connessi ad esso il più a lungo possibile. Un algoritmo sensibile alla velocità della UE è mostrato in Figura 4.11 e tratto da [14].

```
1.  INITIALIZATION
2.  Calculate V
3.  IF V>30kmph
      NO handover
4.  ELSE IF V>15kmph
      IF REAL-TIME
        NEED handover
      ELSE IF NON-REAL-TIME
        NO handover
5.  ELSE
      NEED handover
RETURN
```

Figura 4.11: Pseudo codice dell' algoritmo SQ

Le femtocelle hanno con alta probabilità una densità di UE distribuite sotto la loro area di copertura relativamente più bassa rispetto alla macrocella LTE. Nonostante questo è necessario un controllo sulla distribuzione del carico in ogni femtocella

per impedire condizioni in cui ad esempio vi sia una macrocella sovraccaricata e sotto la propria area di copertura una femtocella poco carica. Vengono introdotti allora metodi di bilanciamento di traffico tra femtocelle e macrocelle e come conseguenza dare come input all'algoritmo la capacità massima della cella ed il carico attuale.

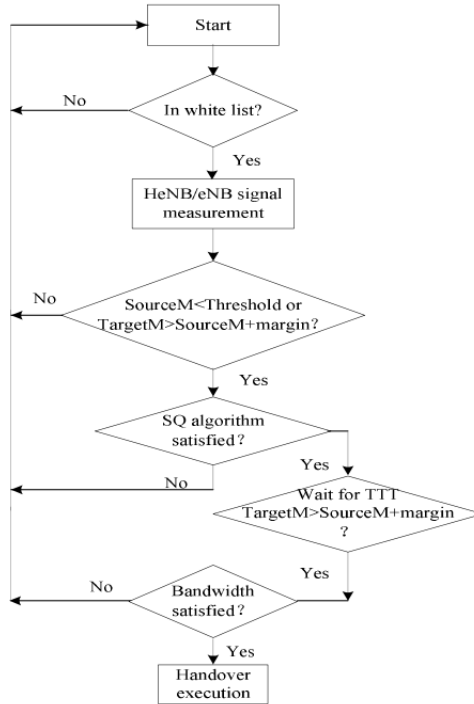


Figura 4.12: Il flowchart dell'algoritmo SQ

Un algoritmo ottimizzato di handover è mostrato in Figura 4.12, tratto da [10], in cui viene usata la variabile M invece dei valori RSRP e RSRQ per valutare la migliore macrocella/femtocella e fare le decisioni di handover.

$$M = \frac{M_o}{\log(e * k + n)} \times [N] \times [G]$$

M_o è il valore della misura tradizionale di RSRP e RSRQ, n è il numero di UEs che risiedono nella macrocella LTE o femtocella, k è un fattore correttivo per i diversi tipi di cella, N è la capacità massima di carico della macrocella o femtocella, G è un altro fattore correttivo.

Per validare l'algoritmo proposto viene fatta una comparazione con l'algoritmo di handover standard sotto tre diversi aspetti quali sono il rate di handover non necessari, il numero di handover, le prestazioni del sistema e l'overhead dovuto ai messaggi di segnalazione. Nell'handover delle femtocelle UMTS, gli utenti ad alta velocità e quelli a bassa velocità non possono avere la stessa QoS quando eseguono un handover, in particolare quello da macrocella a femtocella. Nell'algoritmo SQ non viene permesso l'handover tra macrocella e femtocella per gli utenti veloci mentre è permesso

per gli utenti lenti.

Inoltre SQ propone una differenziazione tra utenti real-time e non real-time mentre gli schemi tradizionali di handover li trattano allo stesso modo, di conseguenza l'algoritmo ottimizzato ridurrà gli handover non necessari soprattutto per utenti ad alta velocità e utenti non real-time.

Le prestazioni dell'algoritmo sono misurate dal numero di handovers non necessari e dal numero totale di handovers. Gli altri parametri chiave quali throughput o data rate hanno una piccola differenza con quelli proposti dagli handover classici.

4.6 Algoritmo di handover basato sulla QoS e bilanciamento del traffico

In seguito agli algoritmi proposti nelle sezioni precedenti si possono definire i fattori sensibili per un buon algoritmo di handover : QoS , bilanciamento del traffico (load balance) [15], velocità della UE e RSSI ricevuto. Il problema di stimare la velocità della UE è relativo al handover tra femtocelle e macrocelle in cui è preferibile connettersi ad una cella con grande copertura di segnale o ad una con piccola copertura a seconda dello stato di mobilità dell'utente, come già descritto nella sezione 3.5.

L' algoritmo di handover che si vuole proporre in questa tesi considera uno scenario in cui sono presenti esclusivamente femtocelle connesse alla core network tramite l'HeNB-GW , secondo l'architettura presentata del E-UTRAN con femtocelle. Per quanto riguarda l'RSSI, si tratta di un fattore considerato in tutti i classici schemi di handover dai quali non si può prescindere mentre i parametri che determinano un'ottimizzazione della procedura di handover sono quindi la QoS e il load balance, elementi che diventano i punti sensibili dell'algoritmo qui descritto. Per questo motivo battezzo l'algoritmo col nome di LBQ-algorithm analogamente a quello precedentemente descritto, dove LBQ sta per Load Balance e QoS.

Abbiamo visto come l'HeNB-GW possa svolgere il ruolo ambivalente di punto ancora per i messaggi scambiati nell'handover o quello di semplice nodo che deve inoltrare i messaggi alla MME superiore. Nel contesto scelto l'HeNB-GW non svolge il compito di punto di riferimento per la segnalazione tra femtocelle, ma diventa anche il nodo della rete dove viene applicato l'algoritmo di handover. l'HeNB-GW diventa dunque una sorte di cervello centrale che , a seconda dei report ricevuti dalle femtocelle ad esso connesse, prende le decisioni di handover su tutti gli utenti connessi alle sue femtocelle.

L'approccio centralizzato di tale algoritmo non lo rende adatto a scenari con molte femtocelle e dunque non risulta un sistema scalabile. La scelta centralizzata si giustifica invece in un contesto ridotto, quale può essere un edificio, il terminal di un aeroporto o una sezione delle metropolitana. In tale situazione l'HeNB-GW può risultare efficiente nel bilanciare il traffico utenti, cercando di distribuire le UEs in modo omogeneo tra le femtocelle presenti nella zona. La presenza di un database a livello gateway che conosca le condizioni di traffico di ogni singola femtocella per-

mette di calcolare una distribuzione ottima degli utenti, tenendo in considerazione la QoS di ognuno.

Relativamente alla QoS si presenta l'ultima miglioria dell'algoritmo LBQ. Mentre negli algoritmi precedenti la QoS veniva usata come discriminante per permettere o meno ad un utente di fare l'handover, nel LBQ si cerca di garantire all'utente la banda necessaria per il servizio richiesto.

In seguito si presentano i metodi utilizzati nell'algoritmo per il load balance e la soddisfazione della QoS.

4.6.1 Descrizione

L'idea sulla tecnica per distribuire il traffico si ispira all'algoritmo decentralizzato per il load balance presentato in [16]. La gestione delle UE connesse e la loro distribuzione su tutte le femtocelle in modo uniforme avviene a livello dell'HeNB-GW. Nel caso particolare periodicamente l'HeNB-GW valuta la distribuzione del carico nelle femto. Se una femtocella si trova ad avere un numero di soglia N_{ecc} di ue in eccesso rispetto alla media calcolata dall'HeNB-GW, quest'ultimo seleziona gli utenti non real-time (NRT) connessi alla femto dato che tali utenti sono i primi candidati per l'handover. Tra tali candidati viene eletto quello con il valore RSSI della femto servente più basso.

A questo punto bisogna selezionare la target femto verso la quale la UE eletta deve fare l'handover. La Ue ha un valore di RSSI ricevuto per ogni femtocella che aloro volta hanno un numero di utenti connessi, ovvero il carico. Per ogni femtocell si moltiplica il valore di RSSI per l'inverso del suo carico e si ottiene un valore di merito. Iterando su tutte le femtocelle presenti nello scenario si arriva ad una distribuzione di valori di merito, la femtocella con il valore più alto viene selezionata come target FAP. La metrica usata per calcolare il valore di merito vuole trovare un tradeoff tra RSSI ricevuto e carico attuale sulla femtocella e moltiplicare per l'inverso del carico significa dare più valore di merit a femtocelle con carico minore, fattore utile per la distribuzione del carico. Una volta trovata UE da spostare e la target femto, può avere inizio la procedura di handover. Si ricorda che tale algoritmo è applicato a livello del HeNB-GW.

Lo pseudo codice dell’algoritmo è presentato di seguito, esso viene applicato periodicamente ogni T secondi al HeNB-GW.

1. calcola distribuzione dei carichi C ;
2. calcola $media[C]$;
3. per ogni femto i calcola $N_{ecc} = C[i] - media[C]$;
4. if (esiste qualche femto con $N_{ecc} > N_{max}$) LASCIA-UE ;
5. if (esiste qualche femto con $N_{ecc} < -N_{max}$) PRENDI-UE;
6. end

e le procedure citate sono :

PROCEDURA LASCIA-UE:

```
begin
if( esiste almeno un utente NRT ) SPOSTA-NRT
else SPOSTA-RT
end
```

PROCEDURA SPOSTA-NRT

```
begin
seleziona gli utenti NRT
 $U_{e_{toMove}} = U_e$  NRT con RSSI più basso
seleziona le femto adiacenti
 $Femto_{target} =$  femto adiacente con valore più alto nella distribuzione di merito
end
```

PROCEDURA SPOSTA-RT

```
begin
 $U_{e_{toMove}} = U_e$  RT con RSSI più basso
seleziona le femto adiacenti
 $Femto_{target} =$  femto adiacente con valore più alto nella distribuzione di merito

end
```

Capitolo 5

Scenario e implementazione in ns3

5.1 Premessa

Durante la progettazione del codice C++ scritto per questa tesi si sono seguiti due obiettivi di implementazione. Il primo equivale a costruire uno testbench funzionante dove poter simulare algoritmi di handover e valutarne le performance , validare con dei test la ricerca dello stato dell'arte presentato in questo lavoro e proporre i risultati del nuovo algoritmo.

Il codice preesistente di NS3 sui moduli LTE non è però sufficiente a permettere la realizzazione di uno scenario di handover e dunque in questo contesto si è voluto contribuire partecipando alla comunità NS3 per l'evoluzione dello Standard 3GPP LTE in NS3. I nuovi moduli C++ vanno ad integrarsi a quelli già scritti per perfezionare la gestione della mobilità e nello specifico permettere delle misurazioni lato UE in un contesto con molti utenti e molte eNBs. Diventando membri di ns3-developers , tale codice ha dovuto seguire lo standard di presentazione dei file NS3 nell'ottica di dover essere riutilizzato da sviluppatori futuri.

Nelle sezioni successive si procederà con una descrizione dell'aspetto dello scenario che si vuole implementare e poi con uno schema che presenta i moduli di codice implementati e come essi si sono integrati nel codice NS3.

5.2 Descrizione dello scenario

L'algoritmo LBQ viene applicato in uno scenario che abbiamo in parte delineato nel capitolo precedente. Richiamando gli obiettivi di tale algoritmo, ovvero il rispetto della QoS ed il load balance tra le diverse femtocelle, si è sottolineato che essi trovano applicazione significativa in un contesto con poche femtocelle che possono essere gestite da un unico HeNB-GW. L'architettura dello scenario si attiene fedelmente allo Standare E-UTRAN per femtocelle, dove non esistono interfacce X2 tra i diversi HeNB ma l'HeNB-GW è l'unico nodo centrale che gestisce la comunicazione tra le femtocelle sottostanti, come mostrato in Figura 5.1.

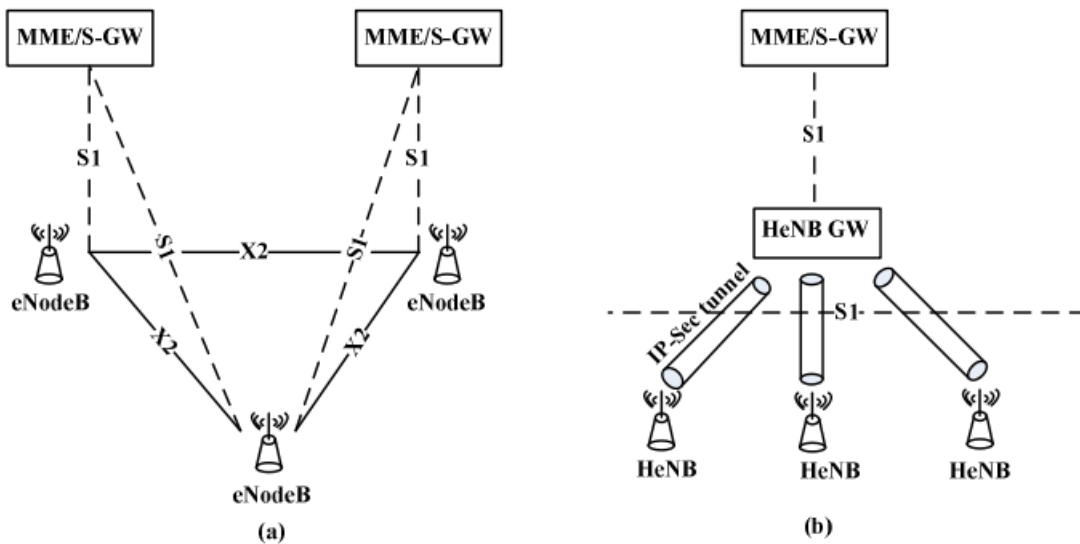


Figura 5.1: (a) Architettura E-UTRAN (b) Architettura E-UTRAN con femtocelle

La simulazione in ns3 ed il codice implementato prevedono un modello di down-link affetto dal canale multipath, diversamente l'uplink non è ancora stato implementato e le comunicazioni da femtocelle a HeNB-GW vengono realizzate tramite canali ideali rappresentati a livello di codice come link dedicati che non subiscono attenuazioni multipath ne di conseguenza possiedono una probabilità di errore sul pacchetto.

Per non distanziarsi troppo da un modello di uplink realistico si sono comunque introdotti dei ritardi fissi nei canali ideali per permettere a livello di simulazione almeno una stima approssimativa delle tempistiche, ovvero tempi di handover, tempi per le misurazioni etc.

In Figura 5.2 viene riportato uno schema base dello scenario che si è voluto costruire in ns3.

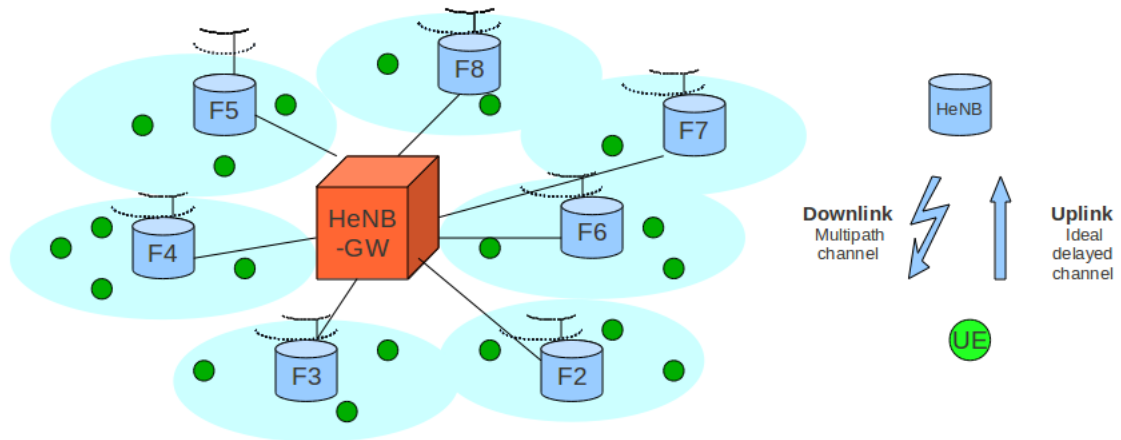


Figura 5.2: Scenario di simulazione

5.3 Implementazione del canale Multipath e Mobilità

La definizione del canale Multipath è alla base delle misurazioni di potenza del segnale proveniente dalle femtocelle ed effettuate dalle UEs. Avendo settato la mobilità delle femtocelle e delle UEs, all'inizio della simulazione vengono create delle realizzazioni di canale, ciascuna per ogni coppia UE e femtocella. Se nello scenario vengono per esempio inizializzate 10 femtocelle e 50 UEs, la simulazione tiene in memoria $10 \times 50 = 500$ realizzazioni di canale che tengono memoria delle posizioni relative dell'HeNB e della UE.

```
Ptr < ChannelRealization > c = GetChannelRealization(a, b);
pathLoss = c -> GetPathLossModel() -> GetValue(a, b);
shadowind = c -> GetShadowingLossModel() -> GetValue();
penetration = c -> GetPenetrationLossModel() -> GetValue();
multipath = c -> GetJakesFadingLossModel() -> GetValue(subChannel);
```

Quando vengono richieste delle misurazione dalla UE, viene prelevata la rispettiva realizzazione e calcola la potenza del segnale ricevuta secondo la formula di canale multipath affetto da shadowing in decibel:

$$loss = multipath - pathLoss - shadowind - penetration;$$

Mentre per lo shadowing ed il pathLoss il valore di attenuazione viene calcolato in funzione della mobilità e nient altro, il valore di multipath dal sottocanale considerato. In NS3 viene calcolata per ogni realizzazione di canale una matrice di valori che rimane invariata durante la simulazione e contenente i valori del multipath per ogni sottocanale e finestrati per un intervallo di tempo (500 ms). Tali valori sono

generati da un simulatore di Jakes le cui uscite variano a seconda della velocità del mobile relativo alla realizzazione di canale. Lo schema delle classi NS3 realizzate per l'implementazione di una realizzazione di canale è riportata in Figura 5.3.

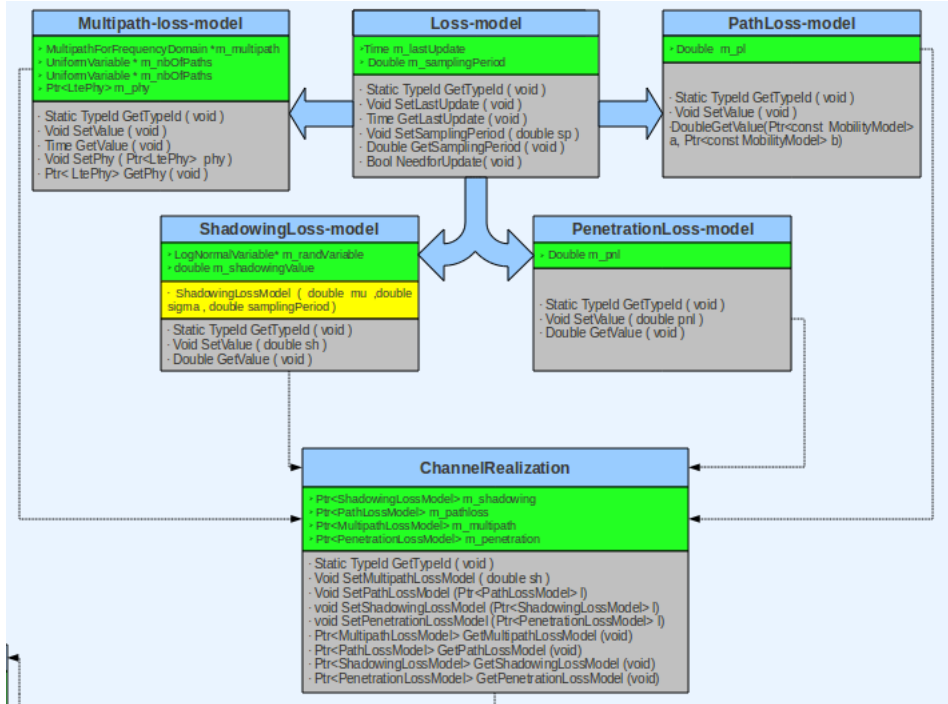


Figura 5.3: Architettura del canale in NS3

5.4 Partizione delle frequenze

In genere le femtocelle collocate in un contesto indoor vengono preinstallate ed eseguono algoritmi di self-configuration and self-management per permettere una copertura distribuita ed omogenea del segnale LTE all'interno dell'edificio. Questo proposito deve allo stesso tempo considerare il fatto che le HeNBs non devono interferire tra di loro, ovvero dovrebbero evitare che le relative zone di copertura abbiano eccessive zone di intersezione dove vengono percepiti dalla UE due segnali ad una potenza rilevante provenienti da femtocelle adiacenti. Per un algoritmo ottimizzato che cerca una copertura radio ottima in un ambiente indoor si può fare riferimento a [16]. In breve l'articolo propone una procedura distribuita tra i diversi HeNB presenti in un edificio, essi regolano le proprie potenze di trasmissione per aumentare o diminuire la propria zona di copertura e le modifiche vengono effettuate sulle base della quantità di traffico presente in ogni femtocella. Obiettivo dell'algoritmo è cercare di distribuire in modo omogeneo il carico, ovvero il numero di utenti con una connessione dati attiva, tra le femtocelle attraverso subroutines che gestiscono i casi di sovraccarico o sottocarico di una femto.

La base dell'interferenza è dovuta alla condivisione dello stesso spettro LTE da parte delle femtocelle che trasmettono in downlink sulla banda di 20Mhz messa a disposizione dallo standard. Nello scenario qui descritto non viene considerata l'interferenza dato che il simulatore ns3 non ha implementato un modulo per la gestione dell'interferenza. Per giustificare in un modello realistico la mancanza di interferenza del segnale ricevuto da diverse femtocelle si è deciso di operare un partizione delle frequenze.

Avendo a disposizione 100 sottocanali da 1,8 Khz effettivi ognuno per un totale di 18 Mb effettivi in downlink nominali, a seconda del numero di femtocelle presenti nello scenario viene fatta una opportuna equipartizione delle frequenze.

Sulla base dei modelli di spettro proposti in ns3[17] si propone un esempio di partizione delle frequenze : supponiamo di avere 10 femtocelle preinstallate e collegate all' HeNB-GW relativo ad un edificio determinato. Essendo 100 i sottocanali disponibili si ha una partizione di 10 sottocanali per ogni femto. Successivamente l'allocazione dei sottocanali alle UEs avviene selezionando un set di sottocanali ottimi all'interno della partizione disponibile all eNB. Il compito della selezione dei sottocanali ottima è prerogativa del Resource Allocator (RA) che nel codice NS3 è implementato nel packet-scheduler, l'RA riceve le misure di canale e gli indici dell'AMC module con i quali esegue l'algoritmo di allocazione della banda alle UEs.[18]. In Figura 5.4 si mostra l'esempio considerato e lo schema di funzionamento del RA.

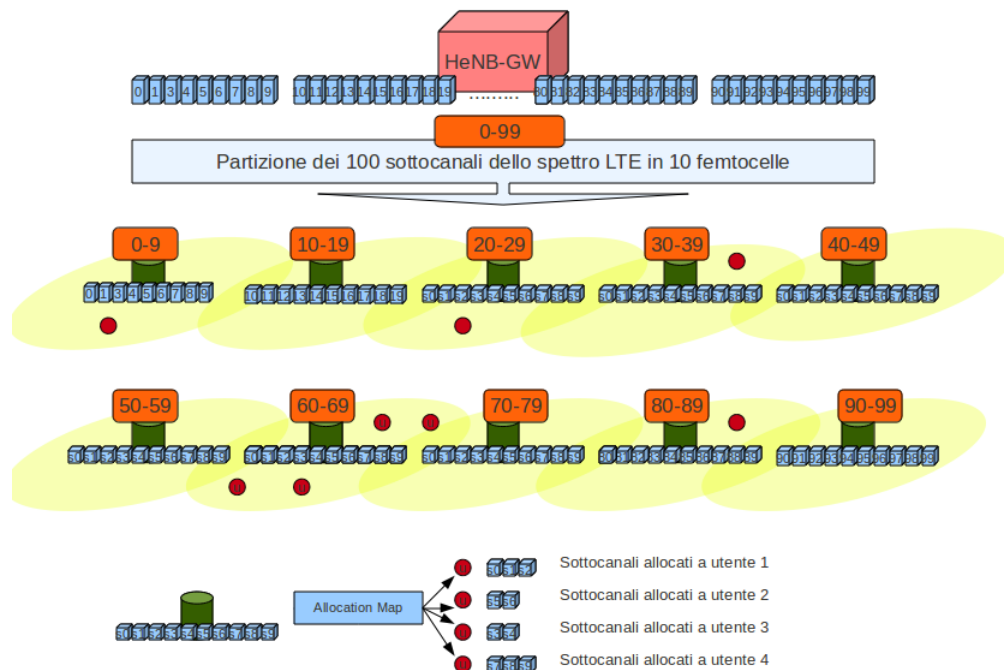


Figura 5.4: Partizione dello spettro LTE tra le femtocelle

5.5 Mobilità

L'obiettivo è di realizzare uno scenario 2D della forma di un rettangolo di dimensioni (B, H) settabili da riga di comando. All'interno di questo settore sono installate N femtocelle che sono distribuite in posizioni fisse ed equidistribuite a formare uno schema a matrice all'interno dello scenario, come in Figura 5.5. Definita la mobilità delle eNBs si settano quelle degli utenti, che per attenersi ad un contesto pseudo realistico, si muovono in modalità RandomWayPoint all'interno dei bordi dello scenario 2D. Ad ogni eNB viene inizialmente settata una powerSpectralDensity del segnale trasmesso all'interno del proprio set di sottocanali.

La mobilità è gestita in NS3 attraverso la classe Simulator e Random-Way-Point-Mobility-Model. Si tratta di moduli già implementati e vi è stato solamente il compito di comprenderli e utilizzarli.

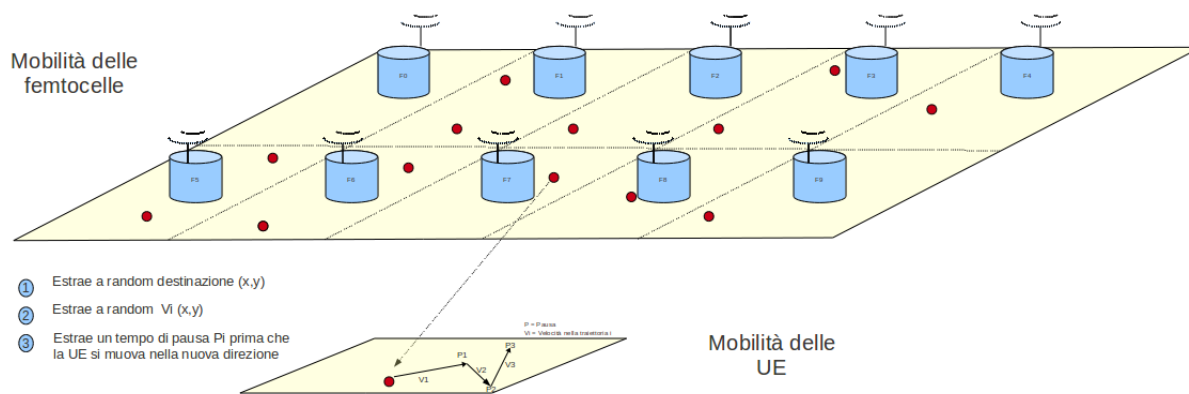


Figura 5.5: Mobilità nello scenario di simulazione

5.6 Misurazioni del RSSI in NS3

Come descritto nel capitolo relativo alle Misurazioni effettuate dalle UEs secondo lo standard 3GPP E-UTRA, le misure vengono fatte sulla potenza relativa ai reference symbols inviati periodicamente dalle HeNBs in broadcast sullo spettro LTE. Analogamente in NS3 la UE misura il SINR ogni volta che viene ricevuto un pacchetto a livello fisico.

Nel Packet Scheduling delle HeNB viene gestita la trasmissione degli RS. Se nessun flusso dati, identificato da un bearer, è attivo per una UE registrata alla stazione radio base, lo scheduler della stessa crea dei pacchetti fittizi non contenenti informazioni ed utilizzati per permettere le misurazioni lato UE. La misurazione del SINR viene fatta sui 100 sottocanali presenti nello spettro LTE.

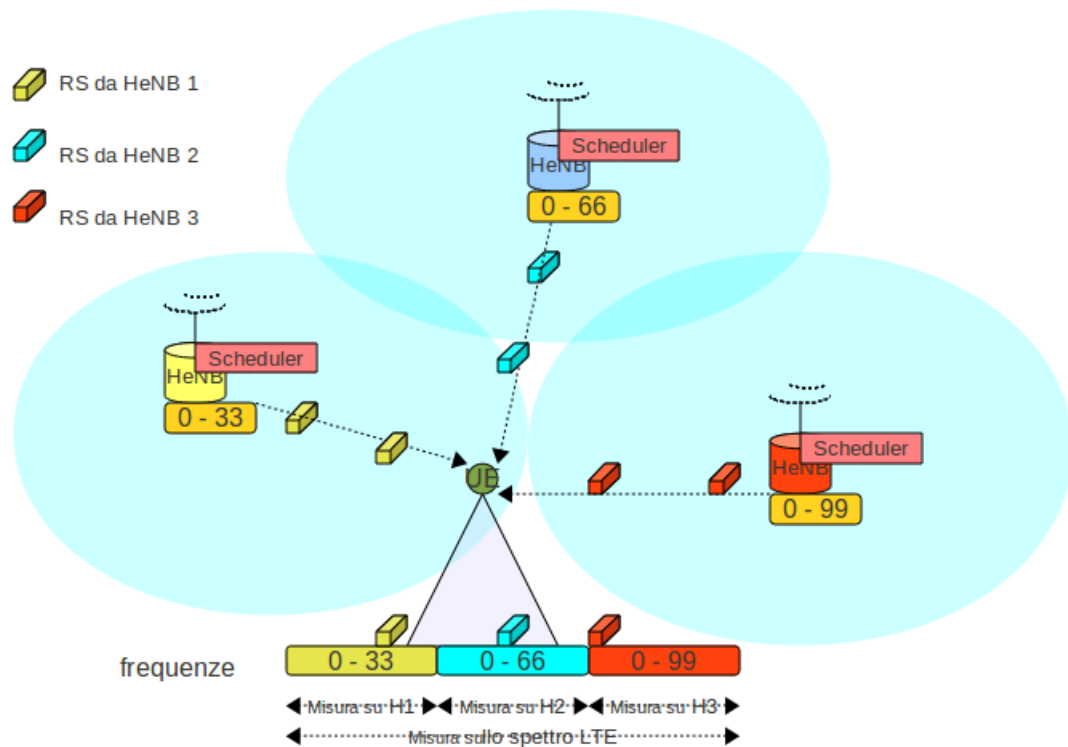


Figura 5.6: Misurazioni del SINR inter-frequenze in NS3

Ogni RS ricevuto da una HeNB permette la misurazione del SINR relativamente ai sottocanali di downlink associati alla femtocella. Unendo le misure fatte sui diversi RS provenienti dalle HeNB si ottiene una misura completa su tutti i 100 sottocanali dello spettro LTE. Lo schema di funzionamento è presentato in Figura 5.6. La possibilità di poter comparare misure di potenza di segnali provenienti da diverse HeNBs è alla base del metodo per triggerare l'evento di handover.

Nell'implementazione relativa alla realizzazione e alla gestione delle misure sono stati rilevati problemi non da poco. Primo fra tutto si sottolinea che attualmente la versione LTE in NS3 offre la possibilità di simulare la trasmissione di pacchetti solo in uno scenario con una singola stazione radio base e molteplici utenti. In questo caso viene inizializzato un unico modello di canale LTE con le relative specifiche di banda e la eNB trasmette in downlink su tutti i 100 sottocanali mentre le UEs fanno un'unica misurazione sugli RS ricevuti dalla eNB. Non viene dunque considerato il caso di molteplici eNBs i cui segnali possono interferire tra loro oppure sono trasmessi su frequenze complementari dello spettro.

Per simulare l'handover tra femtocelle è necessaria la presenza di più eNBs e la gestione delle misure fatte sui diversi sottocanali.

5.6.1 Trasmissione di un pacchetto e moduli per le misurazioni

Per comprendere il funzionamento dei moduli per le misure e dove si integrano all'interno del codice NS3, si descrive la successione delle classi e delle funzioni principali chiamate dal codice durante la trasmissione di un pacchetto da una eNB ad una UE e meglio schematizzate in Figura 5.7.

Procedura di trasmissione di un pacchetto

- *sendPacket(packetburstpb)* (1)
- *channel :: StartTx(pb, m_txPsd..)* (2)
- *StartTx :: CalcRxPowSpectralDensity(txPsd, txMobility, rxMobility)* (3)
- *SingleModelSpectrumChannel :: StartRx(pb, txPsd, st, duration)* (4)
- *EndRx :: CalcSinrValues(rxPsd, NoisePowerSpectralDensity())* (5)

Un pacchetto dati viene selezionato da un flusso dati (bearer) dal packet scheduler e concatenato ad altri pacchetti preselezionati per creare un packetburst. Il livello fisico chiama la funzione di invio del packetburst (1), che a sua volta chiama la funzione di avvio trasmissione sul canale (2). In questa ultima procedura viene chiamata la funzione relativa al calcolo della power spectral density in ricezione (3), che prende in ingresso i dati sulla posizione del eNB e del UE necessari per il calcolo di pathloss e shadowing.

Attraverso un callback, alla base di un simulatore ad eventi discreti, viene chiamata la funzione di ricezione sul canale (4), che prende in ingresso la rxPsd calcolata dalla procedura precedente.

Dopo un ritardo dettato dal simulatore che simula il tempo di ricezione del pacchetto all'antenna della UE, viene chiamata con callback la funzione di fine ricezione *EndRx()*. All'interno di tale procedura avviene il calcolo del SINR relativo al pacchetto ricevuto (5) per ogni sottocanale in frequenza sul quale è avvenuta la trasmissione.

Per esempio se la eNB in questione trasmette sui sottocanali da 1 a 30, allora le misure del SINR sul pacchetto saranno relative a tali sottocanali.

Nella procedura di trasmissione i moduli chiamati dal codice sono il livello fisico dell'eNB, *enbPhy*, il modello di canale usato per le trasmissioni, *SingleModelSpectrumChannel* e il livello fisico della Ue, *uePhy*. A livello della *uePhy* è stato implementato un buffer che memorizza le misure del SINR sui diversi sottocanali. Quando tutti i sottocanali sono stati misurati viene creato un *MeasurementReport* che viene inviato in uplink su canale ideale alla *enbMacEntity*.

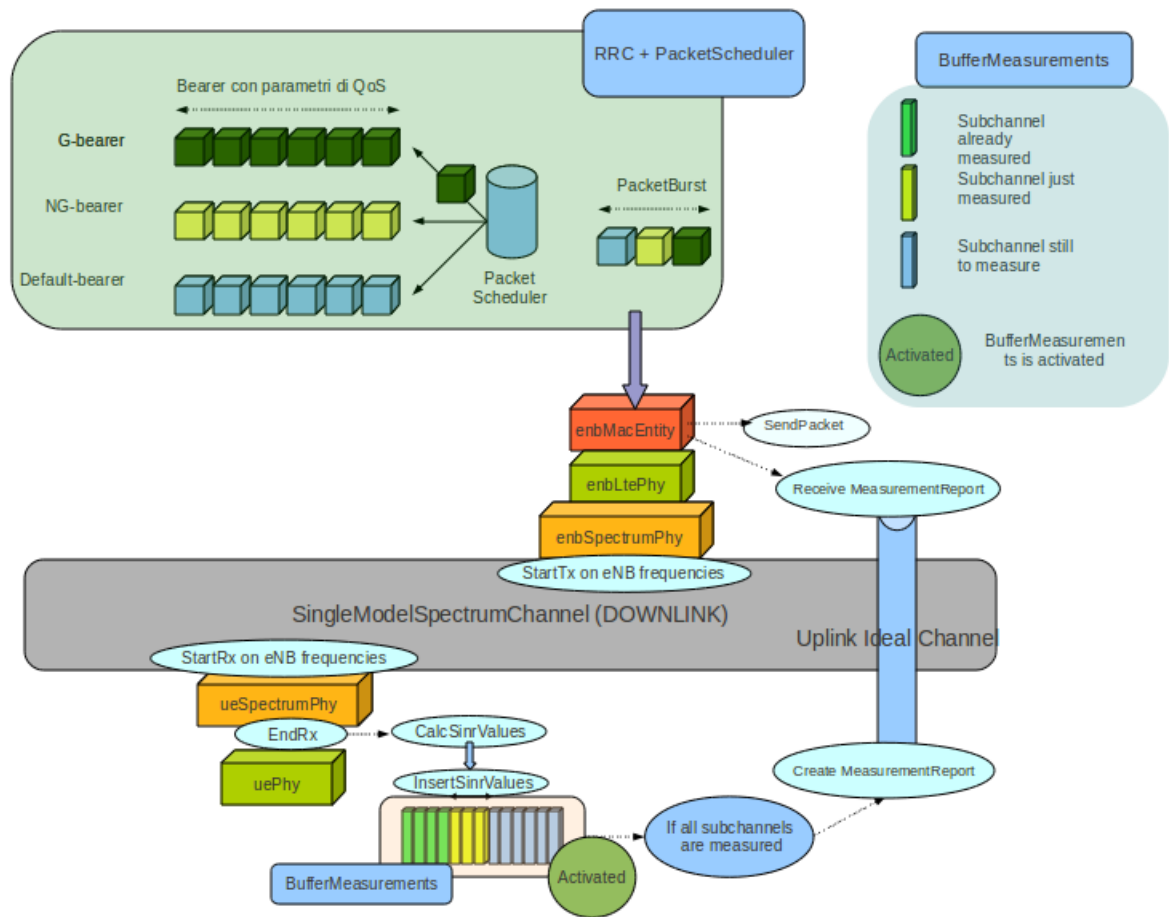


Figura 5.7: Schema dei moduli del codice

5.6.2 Messaggistica delle misurazioni

L'implementazione del Buffer per le misurazioni si è rivelata necessaria non solo per gestire il problema di misure appartenenti a sottocanali diversi, ma soprattutto per selezionare i pacchetti RS in arrivo al livello fisico della UE che devono essere misurati. In un architettura E-UTRAN standard la richiesta delle misurazioni è fatta dalla eNB, nel caso del nostro scenario l'algoritmo di handover LBQ è eseguito a livello del HeNB-GW. LBQ ha bisogno delle informazioni di SINR misurato sui 100 sottocanali da parte di ogni UE attiva nella simulazione e del numero di utenti real-time (RT) e non real-time (NRT) presenti in ogni femtocelle per applicare le subroutines per la gestione della QoS. Per questo motivo la richiesta delle misurazioni, RequestMeasurementReport, è inviata periodicamente dall'HeNB-GW a tutte le femtocelle che a loro volta inviano la richiesta ai relativi utenti registrati. Il RequestMeasurementReport attiva alla UE la procedura di misurazione attivando il buffer Measurements, che da quel momento accumula i valori calcolati dei SINR provenienti dai pacchetti inviati da diverse femtocelle come mostrato in Figura 4.7.

Una volta che ogni utente ha eseguito la misurazione e ha inviato il MeasurementReport alla propria femtocella, questa si occupa di inoltrare tutte le misure relative agli utenti attraverso un UeReports. L'UeReports è una matrice contenente le misure del SINR sui 100 sottocanali relative ad ogni utente che viene distinto tra utente RT e utente NRT a seconda del bearer associato al suo flusso dati. Sulla base di tale matrice viene eseguito l'algoritmo LBQ descritto nel capitolo 3. In Figura 5.8 e 5.9 è riportata la procedura di scambio dei messaggi per le misurazioni tra Ue, femtocella eHeNB-GW.

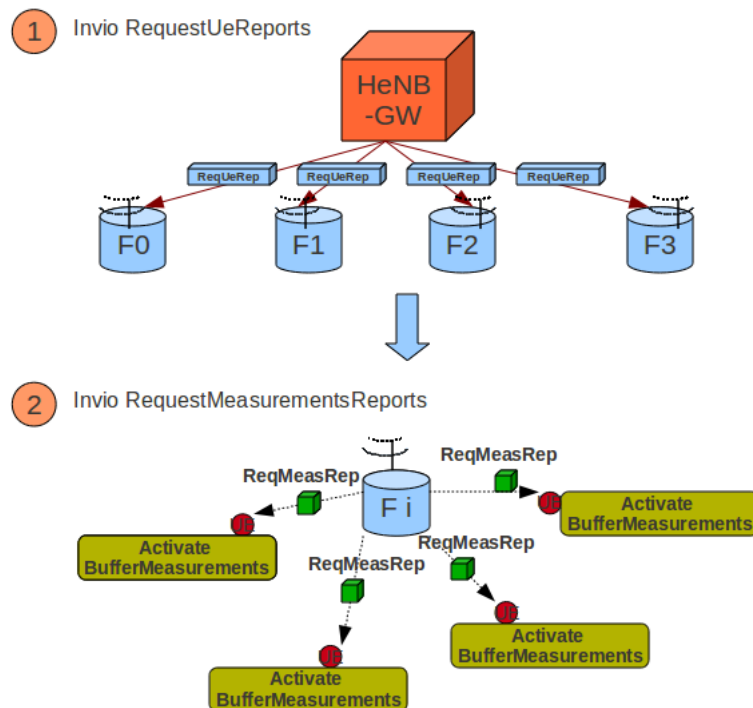


Figura 5.8: Messaggi per le misurazioni in downlink

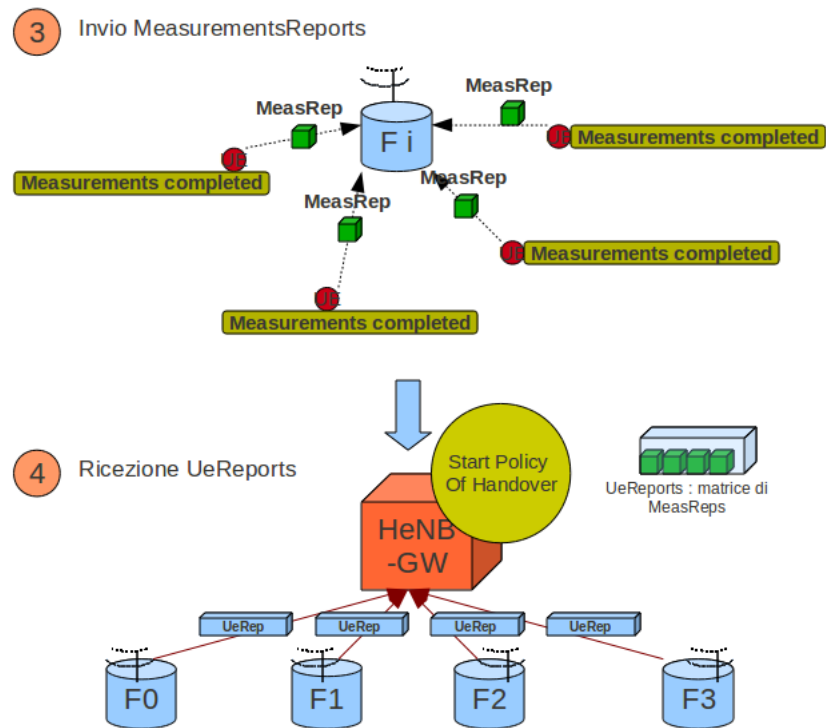


Figura 5.9: Messaggi per le misurazioni in uplink

5.7 HeNB-GW ed enbManager

L'HeNB-GW ha il compito di ricevere gli UeReports provenienti dalle femtocelle e sulla base delle misurazioni dei SINR attuare la politica del LBQ-handover. Parte sensibile nell'implementazione di questo modulo è stata la gestione dei dati di SINR e dell'etichetta di RT o NRT associata ad ogni utente.

Le eNB in LTE possiedono un UeManager, ovvero un database che tiene in memoria gli utenti registrati in quel momento sotto una determinata stazione radio base con i relativi dati dei bearers attivi per ogni utente. L'insieme dei bearers associati ad un utente prende il nome di UeContext secondo lo standard 3GPP-LTE. Durante la procedura di handover l'utente si connette ad una nuova eNB e anche l'UeContext deve essere trasferito tra le eNBs al fine di ricreare lo stesso stato di lussi dati presenti alla serving enb anche alla target eNB.

In analogia all'UeManager si è sviluppato un enbManager associata all'HeNB-GW che rappresenta un database che memorizza i record relativi ad ogni eNB. Nel caso del nostro scenario ogni eNBrecord ha la struttura di un UeReports, ovvero per ogni utente registrato sotto la eNB riporta i valori delle sue misurazioni. Lo schema logico del codice implementato è riportato in Figura 5.10.

Come abbiamo accennato l'HeNB-GW funge da nodo ancora durante la procedura di Handover facendo da ponte per i messaggi scambiati tra le eNB interessate. Nell'ar-

chitettura 3GPP-LTE a femtocelle non esistono interfacce X2 tra le eNB che dunque non sono indipendenti durante l'HO ma richiedono la gestione del HeNB-GW. Per concludere l'implementazione del modulo ha richiesto la gestione dei messaggi inoltrati e ricevuti sui canali ideali connessi alle eNBs nonchè la realizzazione dell'algoritmo LBQ-handover.

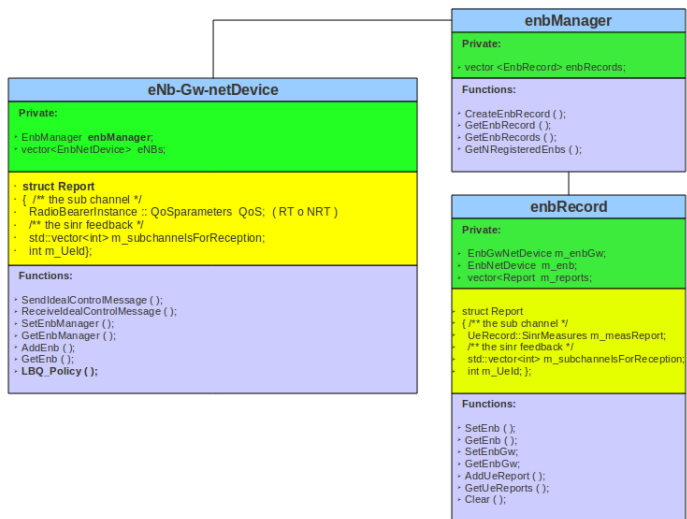


Figura 5.10: Schema logico del HeNB-GW

Una volta eseguito LBQ-algorithm l'HeNB-GW genera o meno dei messaggi per triggerare eventuali handover tra gli utenti e inizia la procedura per ognuno.

5.8 Procedura di Handover

La procedura di handover implementata è leggermente diversa da quella riportata nello schema di interFAP-handover nel Capitolo 3 dato che è l'HeNB-GW a triggerare l'evento e non più la eNB servente.

Supponiamo che dall'algoritmo LBQ sia risultato che la UE 2 registrata sotto la femtocella 3 debba fare handover verso la femtocella 4. L'HeNB-GW manda un messaggio di *HandoverDecision* (HD) alla eNB servente in cui specifica la Ue che deve essere trasferita. La eNB servente, una volta ricevuto l'HD, preleva l'UeContext della Ue interessata dal UeManager e lo invia al HeNB-GW come messaggio *HandoverDecisionAck* (HDA) che a sua volta viene inoltrato alla target eNB come *HandoverRequest*. La target eNB opera una procedura di Admission Control in seguito alla quale memorizza l'UeContext nel proprio UeManager e aggiunge i bearers a livello del Radio Resource Control (RRC). L'inserimento dei bearers avviene secondo i parametri di QoS associati ad ognuno, ovvero nell'implementazione NS3 essi possono essere inseriti tra i GoodBearers (GB), NonGoodBearers (NGB) e DefaultBearer (DB). I primi sono relativi ai flussi che richiedono una buona qualità di servizio, per esempio

servizi real-time, i secondi hanno requisiti meno stringenti e possono essere associati ai servizi non real-time, infine il terzo è un bearer per il servizio di controllo presente anche quando non sono attivi flussi dati.

La procedura per l'inserimento e l'estrazione dei bearers è mostrata in Figura 5.11.

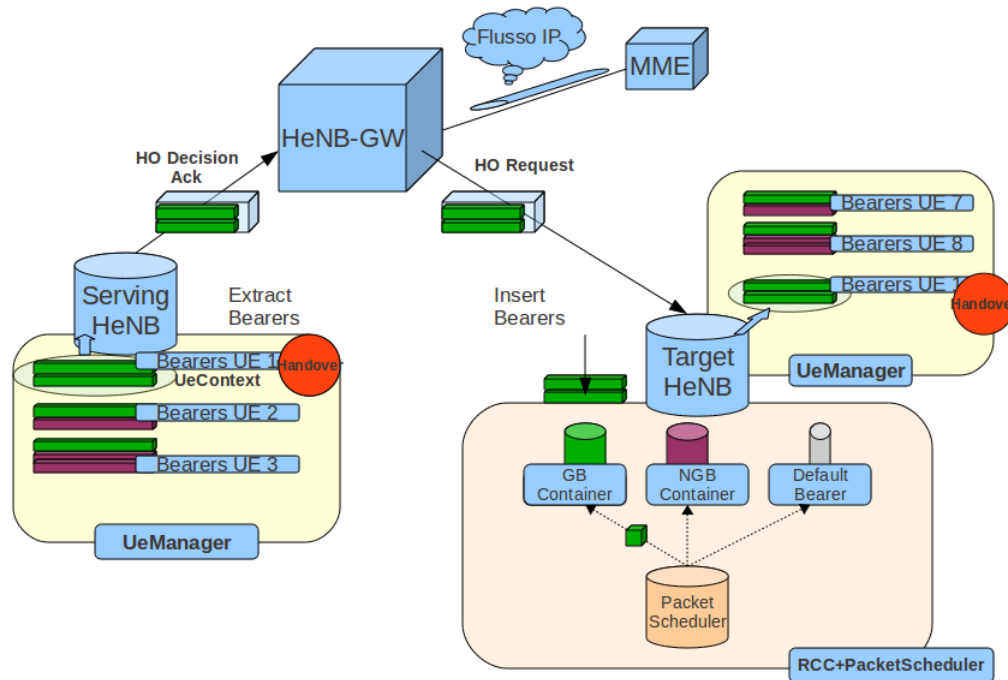


Figura 5.11: Gestione dei Bearers durante Handover interFAP

Una volta completata l'operazione la target eNB invia all'HeNB-GW un messaggio di HandoverAccepted (HA) che notifica che la target eNB è pronta per settare la connessione con la UE. L'HeNB-GW invia dunque un messaggio di HandoverCommand (HC) alla eNB servente che a sua volta lo inoltra alla UE. La UE, ricevuto l'HC, si disconnette dalla vecchia eNB e avvia la sincronizzazione col segnale ricevuto nei nuovi sottocanali. Dopo una segnalazione di livello L1/L2 tra UE e target eNB, la UE invia un messaggio di HandoverConfirm (HC) alla target eNB per confermare l'avvenuta connessione. Quest'ultima infine manda un HandoverNotify (HN) al HeNB-GW per segnalargli che la procedura di handover è andata a buon fine. L'intera procedura di Handover è mostrata in Figura 5.12.

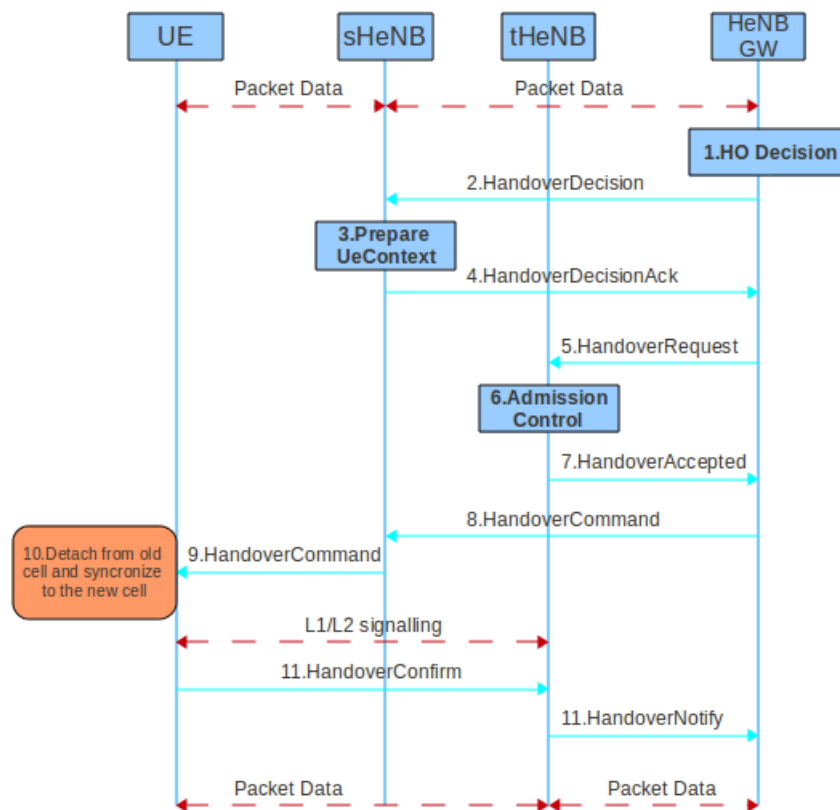


Figura 5.12: Procedura di handover triggerato da HeNB-GW

5.8.1 Messaggi implementati

L'implementazione della procedura di handover in NS3 ha comportato la costruzione di messaggi di controllo scambiati su canali ideali in Uplink e Downlink tra HeNB-GW, eNB e UE. Tali messaggi sono andati ad estendere una classe preesistente nei moduli LTE di NS3, ovvero `IdealControlMessage`. Ai messaggi relativi ai CQIFEDBACKS, relativi agli indici di codifica basati sulla qualità del canale in ogni sottoportante, e di ALLOCATION-MAP, relativi all'allocazione dei sottocanali in downlink e in uplink per ogni UE, si sono aggiunti i messaggi relativi alle misurazioni e alla messaggistica di handover.

In Figura 5.13 viene riportato uno schema del codice dei messaggi sviluppati e la loro integrazione nel codice preesistente.

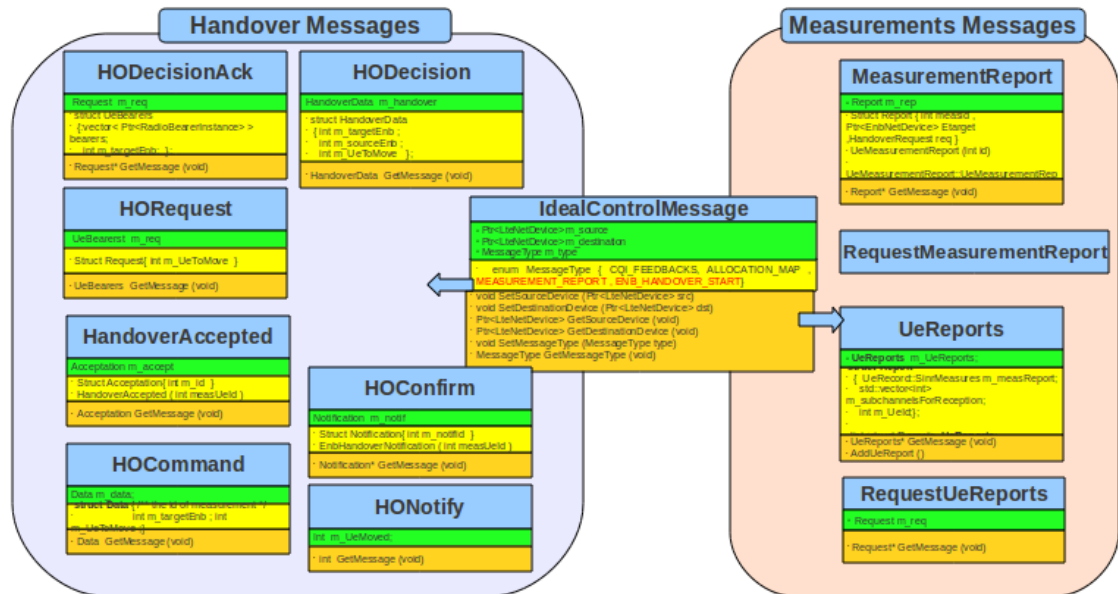


Figura 5.13: Classi di codice NS3 per i messaggi scambiati

Capitolo 6

Risultati simulativi

6.1 Handover triggerato da eNB

Vengono ora presentati dei risultati simulativi di NS3 ottenuti sullo scenario descritto nel Capitolo 5. Tali grafici sono relativi all'Handover classico tra femtocelle descritto nel Capitolo 4 in Figura 4.6. L'evento è triggerato dall'HeNB a seconda delle misure di RSSI ricevute ed il metodo usato è quello descritto nel Capitolo 3 in Figura 3.11, senza ulteriori ottimizzazioni finalizzate per esempio al bilanciamento del traffico. Nei risultati si è voluto riportare le performance dell'handover interFAP con HeNB-GW come procedura di confronto rispetto all'handover proposto in questa tesi con il relativo metodo di triggering basato sul load balance e la quality of service. La simulazione è stata effettuata con 5 femtocelle e 10 UEs che si muovono in modo random in un rettangolo 2D di $10m^2$. Le misurazioni sono richieste dalle femtocelle ogni secondo.

La Figura 6.1 presenta le curve delle potenze in dBm ricevute da una UE all'aumentare del tempo. Una curva mostra l'RSSI misurato sui pacchetti ricevuti dalla femtocella servente mentre l'altra mostra la curva del RSSI più alti tra quelli misurati sulle altre femtocelle attive nella simulazione. Si ricorda che gli RSSI misurati sono le medie degli RSSI misurati su ogni sottocanale appartenente alla partizione di sottocanali relativa ad una femtocella.

Viene evidenziato nel grafico come al superamento della soglia di Hysteresi del RSSI misurato sulla femtocella vicina rispetto a quella servente, il metodo di trigger attenda 2 successive misurazioni che confermino tale condizione prima di avviare la procedura di Handover.

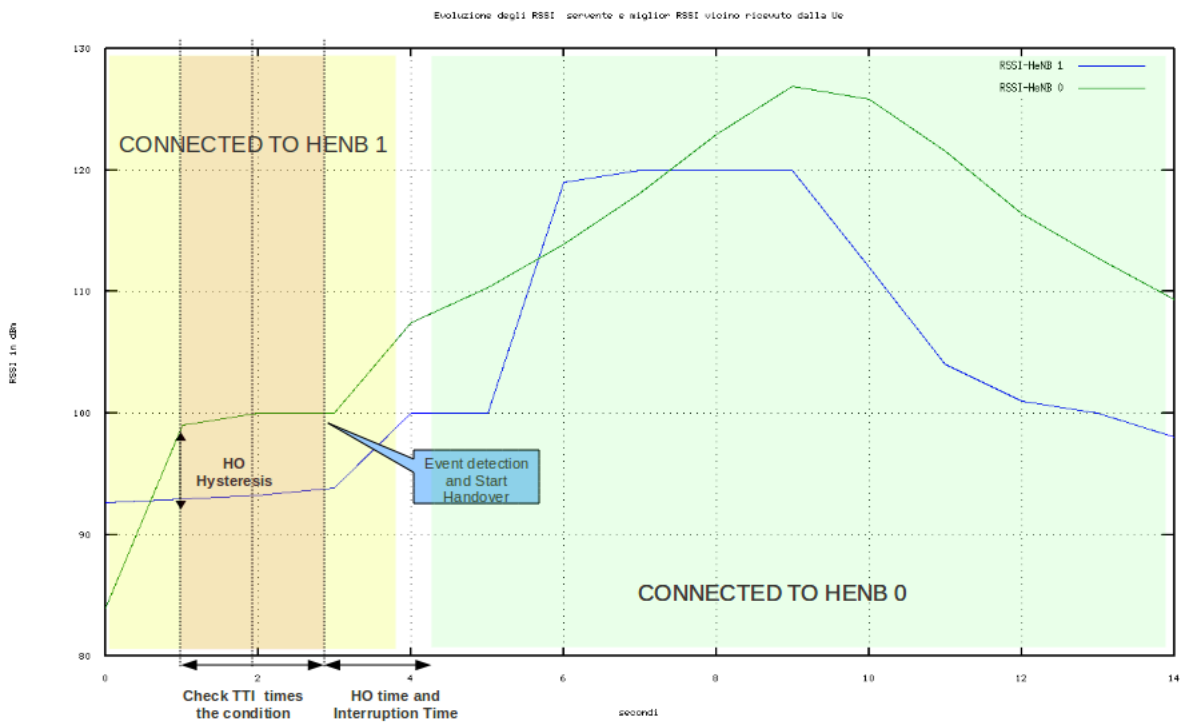


Figura 6.1: Evoluzione degli RSSI servente e miglior RSSI ricevuto dalle FAPs vicine

Un fattore sensibile nell'algoritmo LBQ è il bilanciamento del traffico. Identificando come carico su ogni femtocella il numero di utenti connessi ad essa in ogni momento, nelle Figure 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6 vengono presentate le distribuzioni iniziali e finali dei carichi per ogni femtocella. Le distribuzioni sono relative a scenari con 6,8,10,12 e 14 femtocelle con 50 utenti in totale e a intervalli di simulazione di 30s.

Si nota che le distribuzioni dei carichi iniziali e finali sulle femtocelle rimangono all'incirca distanziate allo stesso modo rispetto alla media, con picchi che vanno diminuendo con l'aumentare delle femtocelle. Questo è dovuto al fatto che inizialmente ogni UE è posizionata in modo random all'interno dello scenario rettangolare e connessa alla femtocella più vicina. Quando le femtocelle sono più numerose, la distribuzione spaziale aleatoria delle UEs all'inizio porta a diminuire il numero di utenti per femtocelle.

In ogni simulazione la distribuzione media è costante sul valore N_{utenti}/N_{femto} e tende a diminuire dato che si ha sempre $N_{utenti} = 50$ e N_{femto} va aumentando ogni volta.

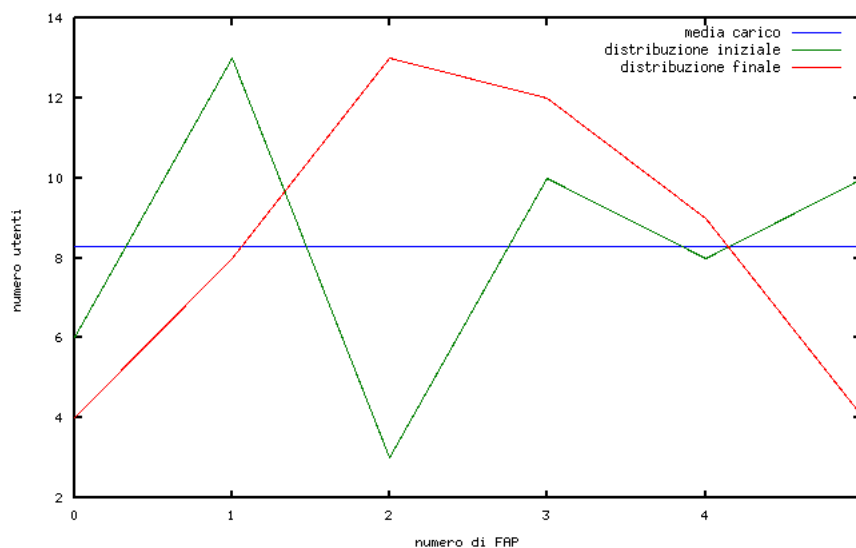


Figura 6.2: Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 6 femtocelle

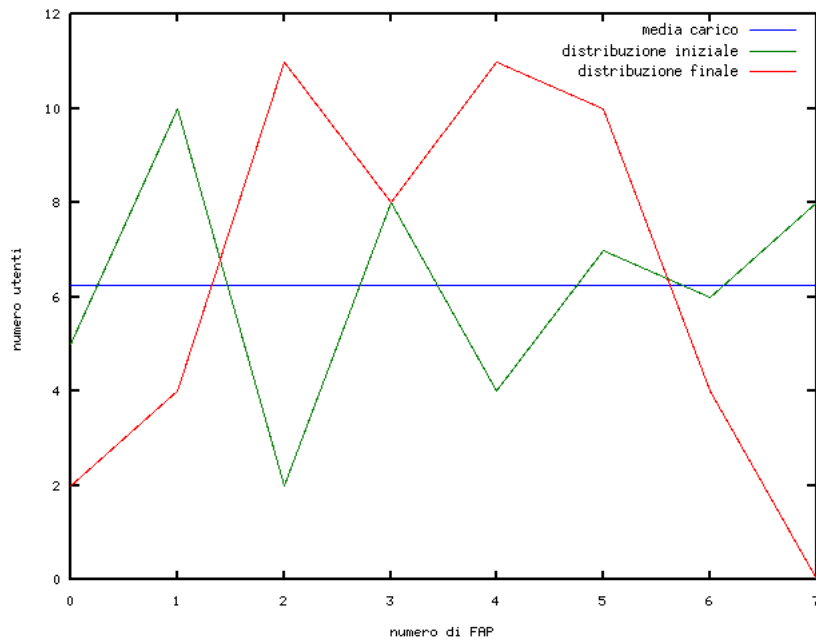


Figura 6.3: Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 8 femtocelle

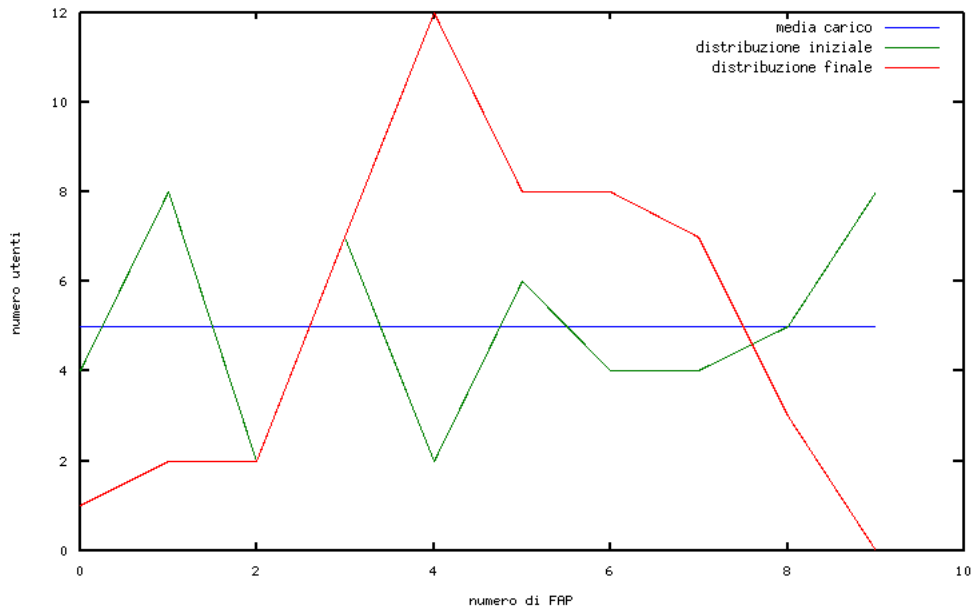


Figura 6.4: Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 10 femtocelle

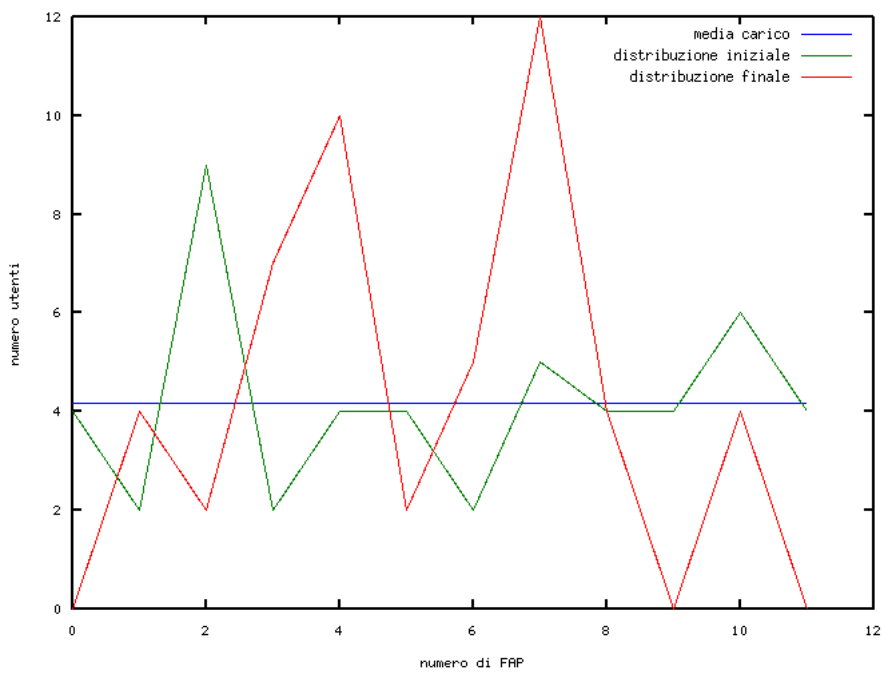


Figura 6.5: Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 12 femtocelle

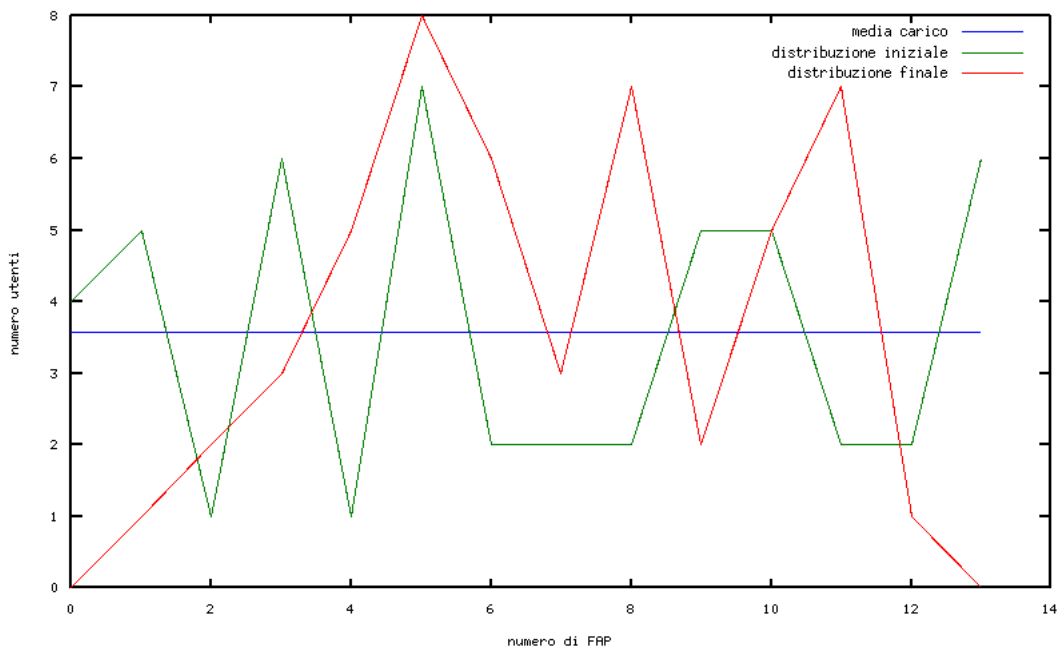


Figura 6.6: Distribuzione finale e iniziale dei carichi con 14 femtocelle

In Figura 6.7 vengono elaborati i dati delle simulazioni precedenti e viene presentato lo scarto medio delle distribuzioni iniziali e finali dei carichi rispetto alla distribuzione media ottima. Per ogni simulazione di è calcolato come $\sum_{k=1}^{N_{FAP}} |c_k - c_{opt}|$

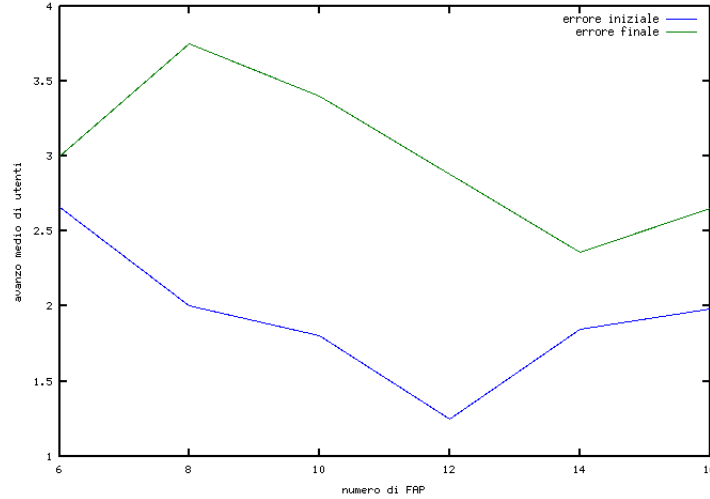


Figura 6.7: Scarto medio dei carichi iniziali e finali rispetto alla media

6.2 Handover triggerato da HeNB-GW con algoritmo LBQ

I risultati di questa sezione sono relative alle simulazioni negli scenari precedenti con algoritmo LBQ applicato da HeNB-GW. La simulazione è fatta su intervalli di 30 s con 50 utenti e 10 femtocelle. Durante la simulazione l'algoritmo di handover è quello normale proposto nella sezione precedente e triggerato dalle femtocelle, ma ogni 8 secondi si attiva la gestione da parte del HeNB-GW che con l'algoritmo LBQ distribuisce il carico in 3 o 4 iterazioni, a seconda dei picchi di carico presenti nelle distribuzioni di carico iniziali. Le Figure 6.8, 6.9 e 6.10 mostrando l'evoluzione della distribuzione dei carichi sulle 10 femtocelle rispettivamente all'inizio dell'algoritmo, dopo la prima iterazione e dopo la seconda iterazione.

. Si ricorda dallo pseudo-codice che vengono ad ogni iterazione spostate tante UEs quante sono le femtocelle per cui $carico_{femto} - carico_{opt} > N_{maxecc}$. Il carico obiettivo è calcolato ad ogni iterazione come $(carico_{max} - carico_{min})/2$

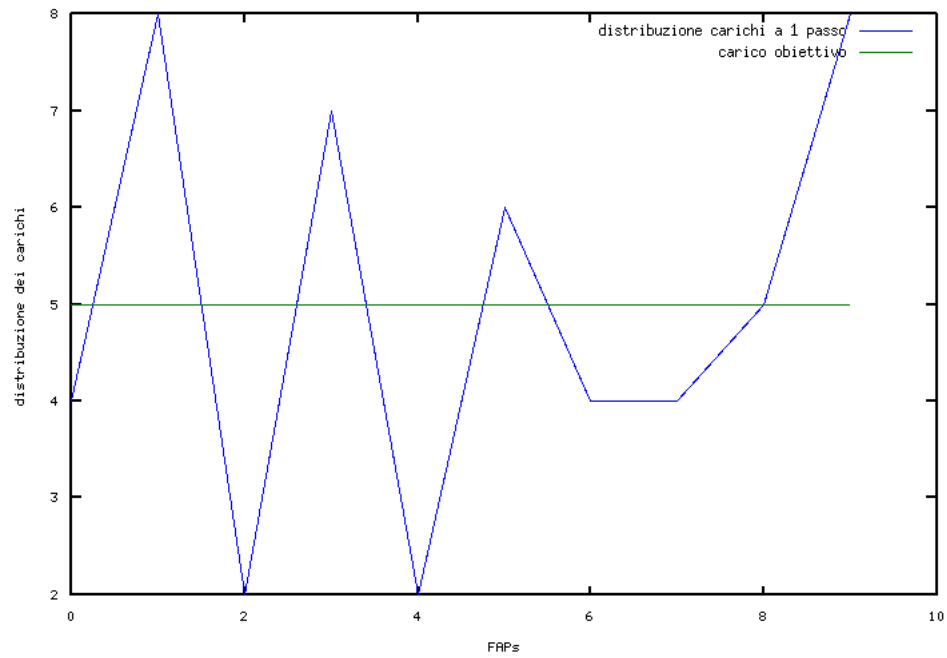


Figura 6.8: Distribuzione dei carichi all'inizio della simulazione con carico target

SPOSTA-UE dalla femtocella 3 e 9

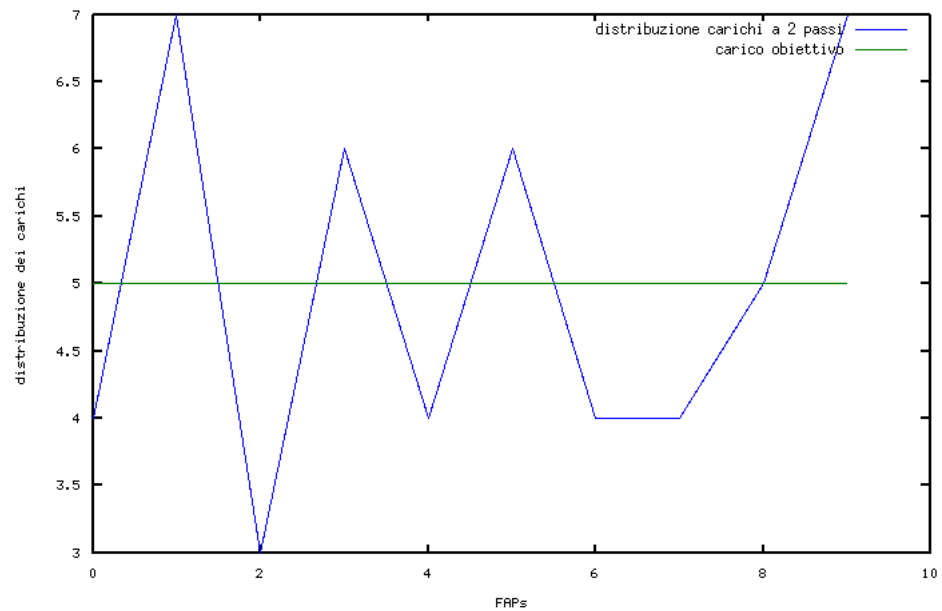


Figura 6.9: Distribuzione dei carichi dopo 1 iterazione di LBQ con carico target aggiornato

SPOSTA-UE dalla femtocella 1 e 9

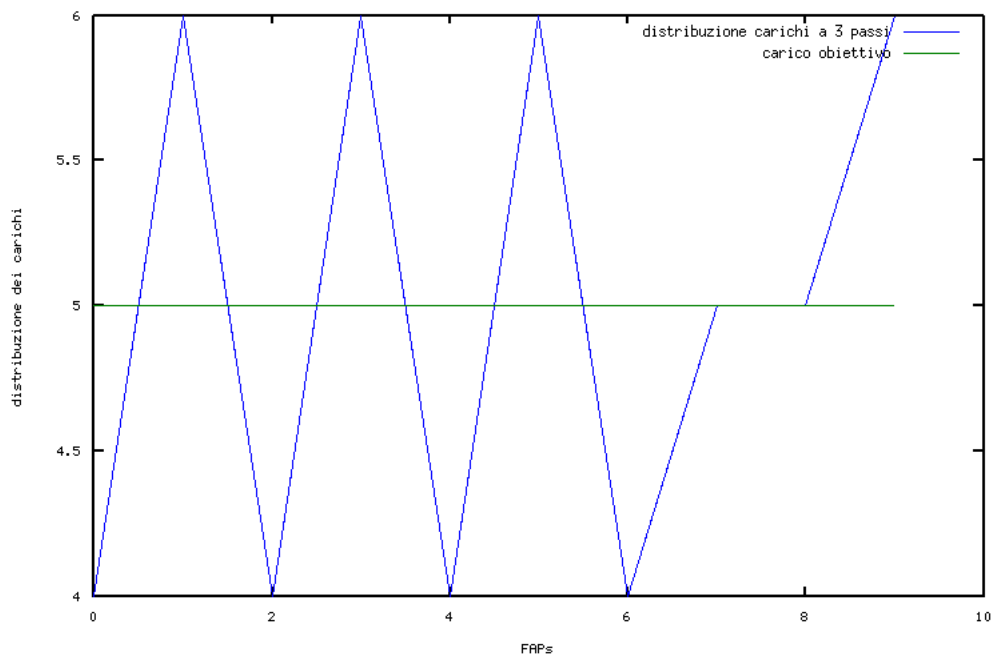


Figura 6.10: Distribuzione dei carichi dopo 2 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato

Quando la distribuzione dei carichi non presenta nessun valore che si distanzia dalla media più di N_{maxecc} , allora l'algoritmo si disattiva e gli handover sono triggerati dalle femtocelle in modo distribuito come nella sezione precedente senza controlli sul carico. La gestione da parte del HeNB-GW con l'algoritmo LBQ si riattiva dopo 8 secondi.

6.2. HANDOVER TRIGGERATO DA HENB-GW CON ALGORITM LBQ

Nella nostra simulazione negli 8 secondi sono avvenuti 22 handover col modello di handover distribuito.

Alla riattivazione dell'algoritmo LBQ la distribuzione dei carichi è mostrata in Figura 6.11.

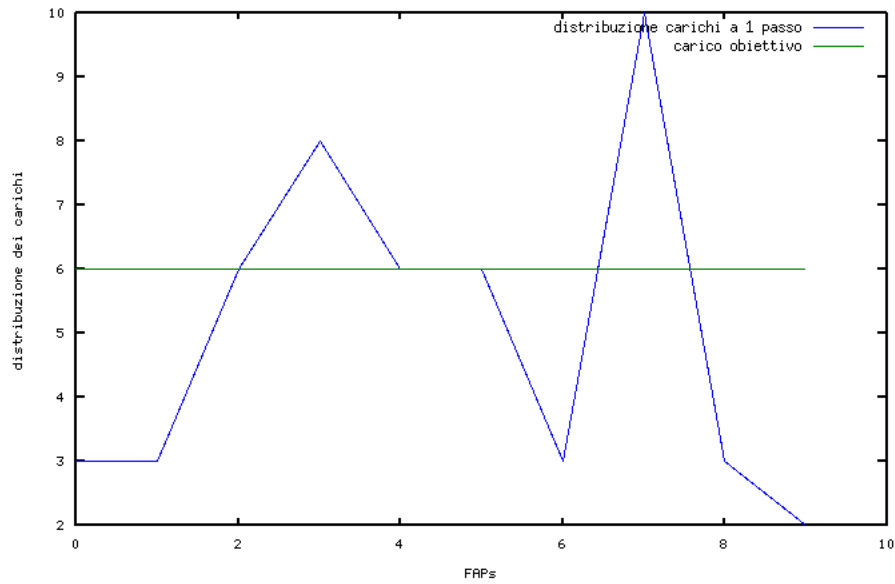


Figura 6.11: Distribuzione dei carichi dopo la riattivazione di LBQ con carico target aggiornato

SPOSTA-UE dalla femtocella 3 e 7. La media è data da

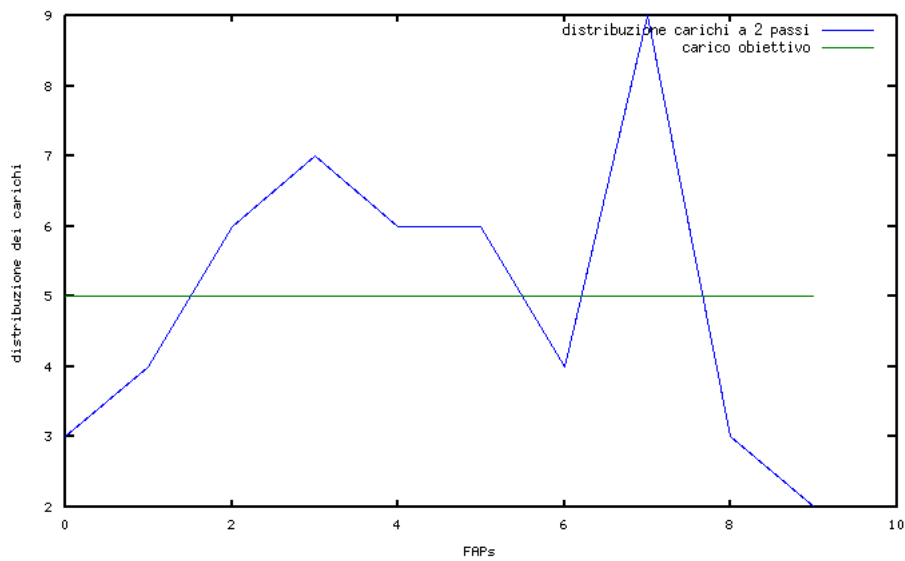


Figura 6.12: Distribuzione dei carichi dopo 1 iterazione di LBQ con carico target aggiornato

SPOSTA-UE dalla femtocella 3,7

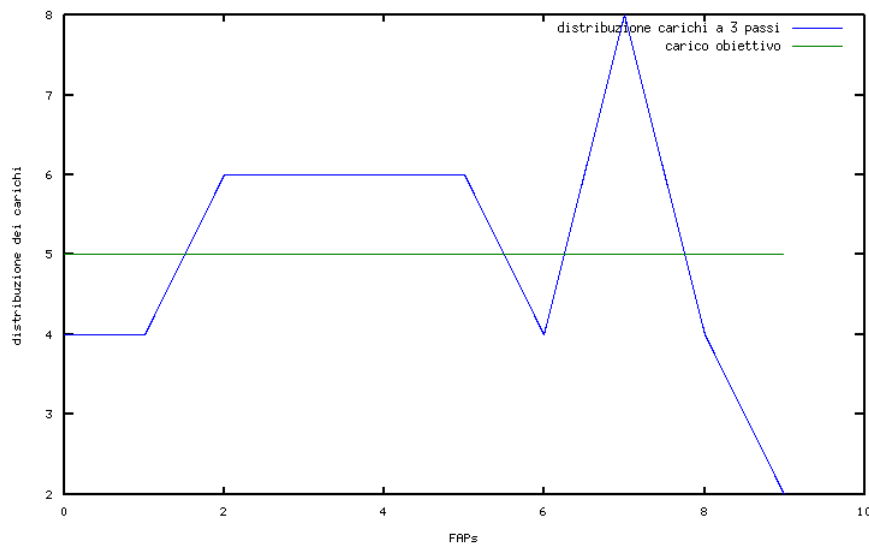


Figura 6.13: Distribuzione dei carichi dopo 2 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato

SPOSTA-UE dalla femtocella 7

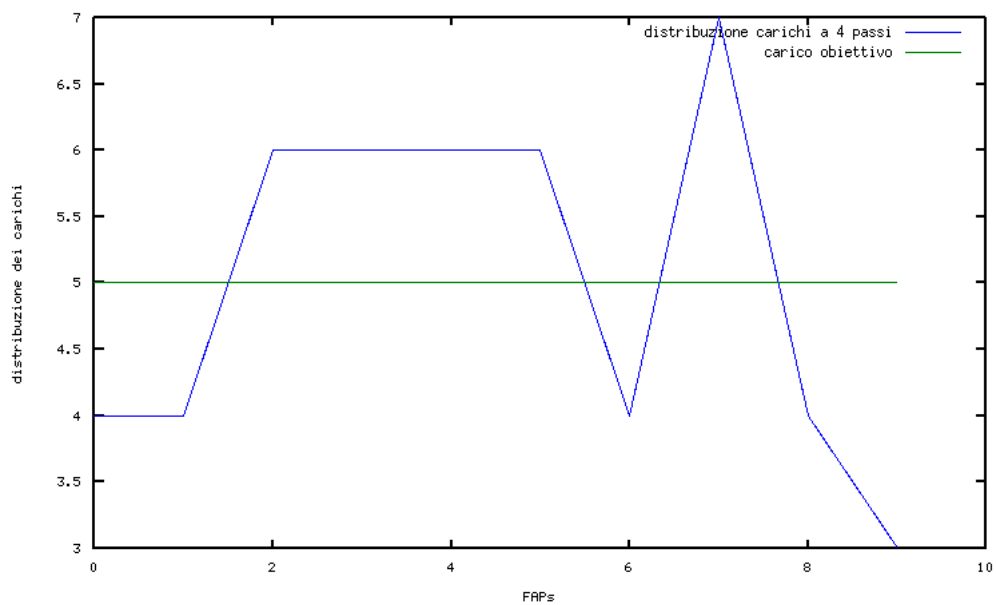


Figura 6.14: Distribuzione dei carichi dopo 3 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato

SPOSTA-UE dalla femtocella 2,3,4,5 e 7

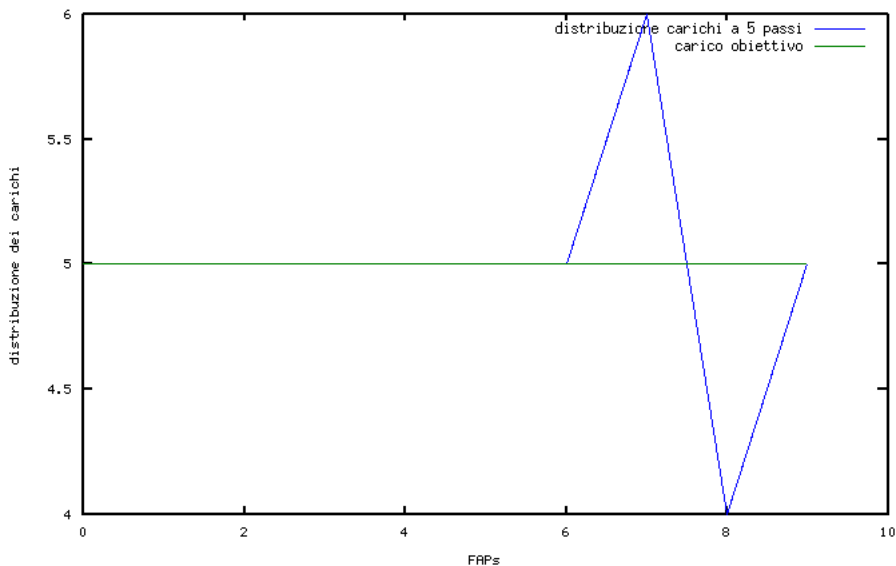


Figura 6.15: Distribuzione dei carichi dopo 4 iterazioni di LBQ con carico target aggiornato

Dopo 4 iterazioni la distribuzione dei carichi è tale che ogni carico non dista più di N_{maxecc} dal carico obiettivo per cui il bilanciamento del carico è terminato.

Come confronto sul numero di handover triggerati in uno scenario con procedura di handover distribuita e procedura con algoritmo centralizzato LBQ, in Figura 6.12 viene presentati il numero di handover triggerato da tutti gli utenti al variare del numero di UEs e di FAPs presenti nello scenario nei due casi.

La simulazione è stata effettuata su 50 UEs in un intervallo di 30 secondi.

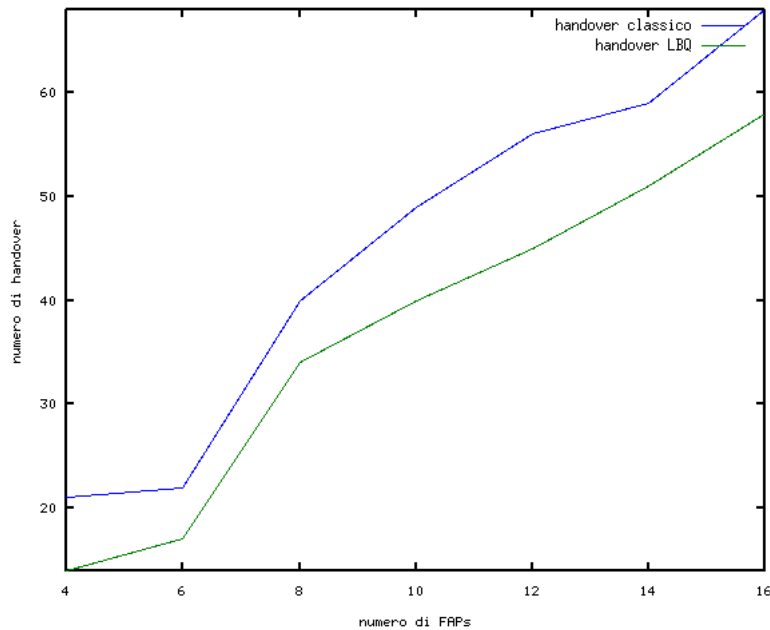


Figura 6.16: Numero di handover al variare del numero di FAPs nella simulazione

Chiaramente il numero di handover aumenta con il numero di FAP presenti nello scenario a parità di utenti e dimensioni dello scenario. Le aree di copertura del segnale delle femtocelle risultano più numerose e partizionano ogni volta lo stesso spazio, per cui vi è più possibilità di passare da una ad un'altra nella camminata aleatoria delle UEs.

Bibliografia

- [1] . *Long Term Evolution (LTE): an introduction*. ©Ericsson AB, 2007.
- [2] . *LTE/SAE Mobility and Session Management*. ITU/BDT Arab Regional Workshop on “4G Wireless Systems” -Tunisia, 2010.
- [3] Zdenek Becvar and Pavel Mach. *Adaptive Hysteresis Margin for Handover in Femtocell Networks*. DOCOMO Beijing Communications Laboratories Co. Ltd., Beijing, China, 2010.
- [4] Dr. S.S. Prasad and Rithika Baruah. *Femtocell Mass Deployment: Indian Perspective*. ., 2009.
- [5] Kwan L. Yeung and IEEE Sanjiv Nanda, Member. *Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems*. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 45, NO. 4, NOVEMBER 1996, 1996.
- [6] J. Vidal G. Vivier (SEQ), A. Agustin. *Femtocell-based network enhancement by interference management and coordination of information for seamless connectivity*. ICT-248891 STP FREEDOM, 2010.
- [7] Jingsha He. *An Architecture for Wide Area Network Load Balancing*. ., 2000.
- [8] Hsin-Yi Lee and IEEE Yi-Bing Lin, Fellow. *A Cache Scheme for Femtocell Reselection*. IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, VOL. 14, NO. 1, 2010.
- [9] Lan Wang, Yongsheng Zhang, and Zhenrong Wei. *Mobility Management Schemes at Radio Network Layer for LTE Femtocells*. DOCOMO Beijing Communications Laboratories Co. Ltd., Beijing, China, 2009.
- [10] A. Ulvan, R. Bestak, and M. Ulvan. *Handover Scenario and Procedure in LTE-based Femtocell Networks*. ., 2010.
- [11] . *Effects of User-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario*. The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2007.
- [12] A. Corradi, P. Bellavista, and C. Giannelli. *Mobility Prediction Project*. Universita degli Studi di Bologna, 2010.

BIBLIOGRAFIA

- [13] Robert Bestak Ardian Ulvan, Melvi Ulvan. *The Enhancement of Handover Strategy by Mobility Prediction in Broadband Wireless Access*. NAEC, 2010.
- [14] Second International Conference on Communication Software and Networks. *A Novel Handover Mechanism between Femtocell and Macrocell for LTE based Networks*. ., 2010.
- [15] David Choi, Pooya Monajemi, Shinjae Kang, and John Villasenor. *Dealing with Loud Neighbors: The Benefits and Tradeoffs of Adaptive Femtocell Access*. IEEE GLOBECOM, 2008.
- [16] Imran Ashraf, Holger Claussen, and Lester T.W. Ho. *Distributed Radio Coverage Optimization in Enterprise Femtocell Networks*. Bell Laboratories, Alcatel-Lucent, 2010.
- [17] Marco Miozzo Nicola Baldo. *Spectrum-aware Channel and PHY layer modeling for ns3*. ., 2009.
- [18] Jie Xiang Member IEEE, Yan Zhang Senior Member IEEE, Tor Skeie, and Lang Xie Student Member IEEE. *Downlink Spectrum Sharing for CognitiveRadio Femtocell Networks*. IEEE System journal, Vol. 4, No. 4, 2010.