

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

TESI SPERIMENTALE

**NUOVA PROCEDURA DI SOFT HAND OVER PER UTENTI A
LARGA BANDA IN UNA INDOOR WIRELESS LAN**

Relatrice:

Prof.ssa

M.Gabriella Di Benedetto

Candidato:

Andrea Rapagnetta

Matricola: 09083703

Anno Accademico 1998-99

Indice

Introduzione	III
I Nozioni generali e obiettivi	
I.1 Progetto MEDIAN.....	1
I.2 Obiettivi	3
I.3 Tecniche di accesso multiplo.....	5
I.4 Procedure di Hand Over.....	8
II Rete Wireless LAN a larga banda e accesso mobile	
II.1 Topologia della rete WLAN.....	12
II.2 Struttura della trama TDD	15
II.3 Assegnazione del canale di uplink.....	20
II.4 Assegnazione del canale di downlink.....	27
II.5 Accesso mobile ad una sottoportante.....	32
III Procedura di Soft Hand Over	
III.1 Introduzione.....	37
III.2 Soft Handover	39
III.3 Uso del Soft HO nel downlink.....	44
III.3.1 Inizializzazione di un utente in Soft HO	46
III.3.2 Trasmissione verso una MS in Soft HO.....	48
III.3.3 Eliminazione delle celle perse.....	51
III.3.4 Sequenzialità delle celle	53
III.4 Algoritmo di Handover.....	53
IV Risultati delle simulazioni	
IV.1 Modelli utilizzati per gli utenti	59
IV.1.1 Modello per utenti di tipo video	60
IV.1.2 Modello per utenti di tipo voce	61
IV.2 Parametri del sistema.....	61

IV.3 Risultati per utenti di tipo video.....	64
IV.3.1 Fallimenti di Hand Over	73
IV.3.2 Variazione del grado di mobilita'	74
IV.3.3 Variazione dell'area di sovrapposizione tra le celle	77
IV.4 Risultati per utenti di tipo video e voce	80
V Conclusioni.....	82
VI Lista degli acronimi utilizzati.....	84
Bibliografia	86

Introduzione

Le comunicazioni radiomobili potrebbero essere definite come la capacità di comunicare senza la necessità della presenza fisica di cavi di collegamento tra due o più interlocutori. La crescente domanda di comunicazioni multimediali real-time di tipo wireless, ha dato luogo alla nascita di molti progetti europei per lo sviluppo di concetti, sistemi e reti delle future generazioni di comunicazioni radiomobili. Particolare attenzione è rivolta verso lo sviluppo di sistemi per comunicazioni multimediali in una Wireless Local Area Network (**WLAN**). Tale argomento, che è alla base del presente lavoro, è affrontato dal progetto **MEDIAN** (Wireless Broadband CPN/LAN for Professional and Residential Multimedia Applications) [4], realizzato nell'ambito del programma **ACTS** (Advanced Communication Technologies and Services).

Il presente studio ha come oggetto lo strato MAC e costituisce una naturale prosecuzione di un lavoro effettuato presso l'Università di Roma "La Sapienza" [1], riguardante aspetti connessi al progetto MEDIAN. La frequenza di lavoro di MEDIAN è intorno ai 60 GHz e ciò è dovuto all'elevata banda necessaria al sistema per poter funzionare ed al fatto che essa risulta disponibile proprio intorno ai 60 GHz, in quanto tale parte di spettro è poco utilizzata a causa del notevole assorbimento dell'ossigeno (O₂).

Nel lavoro [1], in cui il sistema deve gestire un insieme di utenti mobili a larga banda, sono stati analizzati gli effetti provocati dalla variazione del grado di mobilità degli utenti (indicati con **MS** cioè Mobile Station) sull'accesso alla risorsa, effettuato secondo lo schema **PAMA** [2].

Partendo dai risultati ottenuti dal lavoro [1], lo studio presentato si prefigge di svilupparne alcuni aspetti. In particolare esso ha come obiettivo principale, quello di modificare l'algoritmo di assegnazione del canale di downlink, rendendolo capace di sfruttare la presenza della zona di Soft hand over cioè consentendo agli utenti in Soft hand over (utenti in possesso di due collegamenti distinti) una maggiore efficienza di utilizzazione del canale stesso. Ulteriore scopo del lavoro è quello di generalizzare lo schema di accesso cioè di rendere non univoca l'associazione tra utente e sottoportante di segnalazione, consentendo la possibilità che il numero massimo di utenti presenti contemporaneamente all'interno di una cella (utenti attivi e non) possa essere superiore al numero di sottoportanti disponibili nella cella stessa.

I risultati illustrati nel Cap.IV sono stati ottenuti tramite simulazioni realizzate con software scritto in linguaggio C e sviluppato presso la Università di Roma "La Sapienza".

Desidero ringraziare la Prof.ssa Maria Gabriella Di Benedetto per gli utili consigli forniti durante lo svolgimento del lavoro.

Capitolo I

Nozioni generali e obiettivi

Il sistema studiato nel presente lavoro prende spunto dal progetto europeo MEDIAN. Il primo paragrafo descrive alcuni aspetti di tale progetto europeo. Il secondo paragrafo riassume i principali obiettivi che il presente lavoro si prefigge di raggiungere. Il terzo paragrafo descrive alcune tecniche di accesso multiplo usate in sistemi radiomobili. Il quarto paragrafo riassume alcuni dei più noti algoritmi utilizzati per le procedure di Hand Over.

I.1 Progetto MEDIAN

Il progetto europeo MEDIAN implementa un sistema di tipo WLAN ad elevata velocità di trasmissione da utilizzare per applicazioni multimediali. Esso prevede l'esistenza di un sistema di Base Stations (**BS**) connesse ad un ATM-switch e di Portable Stations (**PS**) connesse tipicamente a terminali multimediali. Questo sistema wireless ha una topologia cellulare, con un data rate di 150 *Mbps* per cella e non considera la mobilità degli utenti in fase attiva di comunicazione. Il collegamento wireless tra BS e PS trasporta in modo trasparente celle ATM dalla rete all'utente e viceversa. La frequenza di lavoro è intorno ai 60 *GHz*, questa scelta è dovuta all'elevata banda necessaria al sistema e al fatto che essa risulta disponibile proprio intorno ai 60 *GHz*, in quanto è poco utilizzata a causa del notevole assorbimento dell'ossigeno (O_2) in tale parte dello

spettro. Si deve sottolineare che sistemi con velocità di trasmissione così elevate non erano mai stati presi in considerazione prima di MEDIAN. Un tipico ambiente di applicazione di MEDIAN può essere rappresentato da un ufficio in cui sia presente una BS per stanza.

Il protocollo di accesso al mezzo (Medium Access Control, **MAC**) del sistema MEDIAN è un TDD/TDMA (Time Division Duplex/Time Division Multiple Access) che fornisce un'allocazione molto flessibile del canale per ciascuna PS [5,6]. Nei time slots di ciascuna trama è impiegata una modulazione Orthogonal Frequency Division Multiplexing (**OFDM**) [7]. La figura I.1 mostra la collocazione di MEDIAN nei confronti di altri sistemi di comunicazione wireless attualmente esistenti.

Il naturale sviluppo del sistema MEDIAN è l'introduzione della possibilità di spostamento degli utenti mentre sono in comunicazione tra le zone di servizio delle BS (mobilità). Ciò risulta confermato dalle idee proposte in un nuovo progetto europeo che dovrebbe proseguire ed estendere MEDIAN ed in cui si ipotizza una mobilità molto lenta degli utenti e si considerano tra i principali aspetti da analizzare la modalità di estensione del sistema da mono-cella a multi-cella e la gestione degli spostamenti tra le celle (hand over).

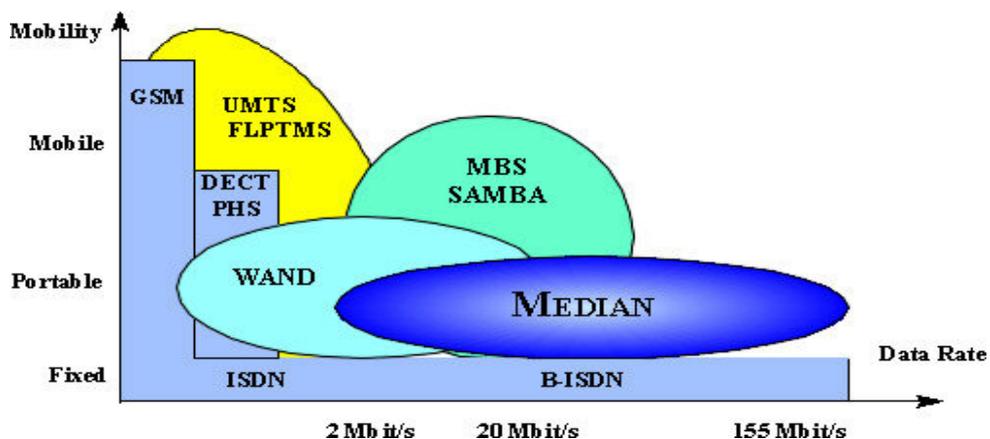


Figura I.1 Collocazione degli attuali sistemi di comunicazione Wireless e di MEDIAN.

I.2 Obiettivi

Come accennato nell'introduzione, il presente lavoro nasce dall'esigenza di verificare e generalizzare alcuni risultati ottenuti da un precedente studio [1], in cui sono stati analizzati gli effetti provocati dalla variazione del grado di mobilità degli utenti sull'accesso alla risorsa (time slot), effettuato secondo lo schema di accesso PAMA.

Dall'analisi del software (scritto in linguaggio C) mediante cui sono stati ottenuti i risultati del suddetto lavoro [1], emerge che la implementazione dell'algoritmo di assegnazione del canale di downlink non è del tutto esatta. Infatti se in una generica trama gli utenti di tipo video (**ITU H.263**) e voce (**22.8 kbps GSM codec**) richiedessero complessivamente un numero di time slot minore od uguale al numero di time slot disponibili nella trama successiva (30 o 31 a seconda che tale trama sia o no l'ultima di una multitrama) allora le richieste dei suddetti utenti non verrebbero soddisfatte, dando luogo ad una possibile perdita di pacchetti informativi.

Occorre poi osservare che il suddetto algoritmo di assegnazione del canale di downlink, contrariamente a quanto fatto da quello del canale di uplink, non sfrutta la presenza del *Soft hand over* cioè non sfrutta l'area di sovrapposizione esistente tra celle adiacenti. Infatti in tale algoritmo si è impedita la possibilità che un utente riceva "contemporaneamente" pacchetti da due BS, in modo che il ricevitore della MS non debba riordinare i pacchetti ricevuti e non sia quindi troppo complesso. Pertanto, anche se la trasmissione sull'uplink avviene in modo più efficiente rispetto al caso di *Hard hand over*, è quella sul downlink a costituire il "collo di bottiglia" del sistema. È infatti la perdita dei pacchetti di downlink a rendere, già a partire da 10 utenti per cella, praticamente inutile la presenza del *Soft hand over*.

Si noti, infine, che nel lavoro [1] il numero massimo di utenti presenti nel sistema è limitato a 20. Ciò è dovuto al fatto che, per problemi di interferenza, il numero massimo di sottoportanti di segnalazione disponibili in una cella è pari a 20 ed al fatto che tali sottoportanti sono assegnate agli utenti in modo univoco e statico.

Alla luce di quanto detto, il presente lavoro si propone in primo luogo di correggere il software che implementa l'algoritmo di assegnazione del canale di downlink rendendolo valido anche nel caso in cui gli utenti di tipo video e voce richiedano complessivamente un numero di time slot minore od uguale al numero di time slot disponibili nella trama successiva. In secondo luogo tale lavoro si prefigge di modificare l'algoritmo di assegnazione del canale di downlink, rendendolo capace di sfruttare la presenza della zona di Soft hand over cioè consentendo agli utenti in Soft hand over una maggiore efficienza di utilizzazione del canale stesso.

Ultimo scopo del lavoro è quello di rendere più generale lo schema di accesso cioè di rendere non univoca l'associazione tra utente e sottoportante di segnalazione, consentendo la possibilità che il numero massimo di utenti presenti contemporaneamente all'interno di una cella (utenti attivi e non) possa essere superiore al numero di sottoportanti disponibili nella cella stessa. Si deve quindi realizzare un opportuno schema di accesso alla risorsa "insieme delle sottoportanti" cioè un algoritmo di assegnazione delle sottoportanti di segnalazione, in modo che ciascuna sottoportante presente in una cella possa essere utilizzata da più utenti nel corso della simulazione cioè possa essere liberata e riassegnata più volte.

I.3 Tecniche di accesso multiplo

Uno degli aspetti fondamentali in un sistema radiomobile è la modalità con cui gli utenti che si trovano nella stessa cella accedono alla comune risorsa di canale.

Le tecniche di accesso multiplo ad un canale di comunicazione condiviso possono essere analogiche o digitali. Quelle analogiche si basano sulla strategia FDMA mentre quelle digitali sfruttano la strategia TDMA o la strategia CDMA. Lo schema **FDMA** (Frequency Division Multiple Access) suddivide lo spettro radio disponibile nella cella in un certo numero di sotto-bande non sovrapposte, ciascuna caratterizzata dalla propria frequenza portante; è presente un singolo canale per portante e all'utente viene assegnata una coppia di canali, uno per la trasmissione verso la BS (*canale di uplink*) ed uno per quella inversa (*canale di downlink*); ogni utente utilizza una differente sotto-banda e ciò consente agli utenti del sistema radiomobile di trasmettere contemporaneamente. Il **TDMA** (Time Division Multiple Access) suddivide il tempo di utilizzo della banda disponibile in un insieme di time slots (canali), organizzati in trame; ogni utente utilizza la totalità della banda per una frazione di tempo cioè per l'intera durata del time slot che gli è stato assegnato. Se il canale di uplink e di downlink corrispondono a differenti time slots della stessa trama, si realizza un Time Division Duplexing (TDD). Infine, il **CDMA** (Code Division Multiple Access) consente la contemporanea trasmissione degli utenti sull'intera banda mediante l'utilizzo di opportuni codici. I flussi informativi sono separabili mediante l'assegnazione ad ogni utente di un differente codice appartenente ad un set di codici ortogonali o pseudo-ortogonali modulanti una forma d'onda elementare (*chip*). Naturalmente sono anche possibili varie combinazioni di questi tre metodi base di condivisione del canale.

A seconda della coordinazione necessaria nell'assegnazione della risorsa condivisa, gli schemi di accesso multiplo appena descritti possono essere classificati in tre categorie: Fixed Assignment, Random Access e Demand Assignment [8].

1) **Fixed Assignment**

Ogni utente utilizza un canale dedicato, cioè una sotto-banda di frequenza nel caso FDMA oppure un time slot in ogni trama nel caso TDMA. Tale canale dedicato viene assegnato in modo fisso dalla BS all'utente cioè è a sua disposizione per l'intera durata della comunicazione e indipendentemente dalla sua attività. Con tali strategie non si possono ovviamente verificare collisioni. Tuttavia in un ambiente multimediale, ove le sorgenti presentano un ritmo binario estremamente variabile, la gestione della risorsa condivisa può risultare inefficiente.

2) **Random Access**

Un gruppo di utenti non coordinati si trova in eterna competizione per l'accesso alla risorsa condivisa. Infatti gli utenti trasmettono ogni volta che ne hanno necessità e quando più trasmissioni avvengono contemporaneamente esse subiscono una collisione.

Lo schema più semplice appartenente a questa categoria è denominato **ALOHA**. L'informazione di utente viene pacchettizzata e bufferizzata in ogni terminale di utente. Poi viene trasmessa su un canale comune verso la BS. Se un pacchetto collide con pacchetti trasmessi contemporaneamente da altri utenti, allora l'utente non riceverà il riscontro ed il pacchetto verrà ritrasmesso. In condizioni di traffico offerto elevato, l'utilizzazione del canale (*throughput*) cala

molto rapidamente a causa delle frequenti collisioni. Per superare questo problema il canale è stato suddiviso in time slots nello Slotted ALOHA (**S-ALOHA**); mediante questo schema un pacchetto viene trasmesso nel primo slot disponibile e, se non subisce collisione, lo slot resta assegnato all'utente per tutte le trame successive fino allo svuotamento del suo buffer.

3) Demand Assignment

Per aumentare la flessibilità e l'efficienza dello schema di accesso, l'assegnazione di un canale ad un utente può essere effettuata in base alla sua effettiva necessità. Per realizzare l'assegnazione a domanda, occorre la presenza di un canale su cui inviare le richieste (tale canale può essere multiplato con il canale di informazione).

Lo schema base di assegnazione a domanda è chiamato Dynamic TDMA (**D-TDMA**), proposto per comunicazioni integrate di voce e dati. Ciascuna trama è composta da "request slots", "voice slots" e "data slots"; il numero di voice e data slots varia in base al rapporto esistente tra traffico voce e dati. L'accesso ai request slots è di tipo conflittuale, cioè avviene come nello S-ALOHA. Mediante i request slots, la BS assegna gli altri slots (voice e data).

I.4 Procedure di Hand Over

Una delle caratteristiche peculiari dei sistemi cellulari è la possibilità di mantenere attiva una comunicazione pur continuando a spostarsi liberamente nel territorio. Questa mobilità può causare la necessità di cambiare frequentemente cella di servizio oppure canale di trasmissione per continuare a garantire all'utente una buona qualità del segnale. Pertanto, quando la qualità del collegamento tra una MS e la sua BS servente non è più buona, risulta necessaria una procedura automatica che consenta il mantenimento del collegamento radio, cioè una procedura in grado di effettuare il trasferimento di una chiamata in corso da un canale radio ad un altro. Tale procedura di rete, definita Hand Over (**HO**) **intercella**, consente il mantenimento di un'accettabile qualità del collegamento, la minimizzazione dell'interferenza da canale adiacente e co-canale e la redistribuzione delle risorse radio. Ricordiamo che l'interferenza co-canale si verifica quando un apparecchio mobile riceve e trasmette utilizzando la stessa frequenza. L'interferenza da canale adiacente, invece, si verifica quando si sovrappongono le energie veicolate da due frequenze adiacenti. Il fallimento di un HO tende ad incrementare la probabilità di blocco in quanto alcune celle dovranno gestire un traffico maggiore di quello pianificato. Il numero di HO che un sistema è chiamato a gestire è funzione della dimensione delle celle, della durata della conversazione e della velocità della stazione mobile. Un secondo tipo di HO, a volte presente nei sistemi cellulari, è quello **intracella** che consente il cambio di canale all'interno della stessa cella; questo tipo di HO risulta utile quando il collegamento con la BS servente è affetto da un'eccessiva interferenza, mentre un altro collegamento con la stessa BS può fornire una qualità migliore. Una procedura di HO consiste generalmente di due passi:

- la valutazione della qualità del collegamento e l'attivazione della procedura;
- l'allocazione delle risorse radio e di rete.

Le principali classificazioni delle procedure di Hand Over sono le seguenti:

1) Una prima classificazione è basata sul ruolo svolto da BS e MS nella valutazione della qualità del collegamento e nella successiva attivazione della procedura di HO. A tale proposito si distinguono tre tipi di HO:

- **NCHO** (Network-Controlled HO): la qualità del collegamento è monitorata esclusivamente dalla BS servente e dalle BS adiacenti; la decisione di effettuare un HO avviene sotto il controllo centralizzato di un'entità gerarchicamente superiore (il Mobile Telephone Switching Office, MTSO). Tipicamente questi algoritmi supportano solo HO intercella ed hanno ritardi di diversi secondi. Essi sono stati largamente utilizzati nella prima generazione di sistemi cellulari analogici (AMPS, TACS).
- **MAHO** (Mobile-Assisted HO): la qualità del collegamento con la BS servente è misurata sia dalla BS servente sia dalla MS; la qualità dei collegamenti con le BS adiacenti è misurata esclusivamente dalla MS che, periodicamente, trasmette queste informazioni alla BS servente. La decisione di HO è effettuata, anche con questo tipo di algoritmi, dalla BS servente e dal MTSO, tuttavia utilizzando anche le informazioni fornite dalla MS. Sono supportati sia HO intercella che intracella e, tipicamente, i ritardi di rete introdotti sono

di circa 1 o 2 secondi. Algoritmi MAHO sono stati impiegati in molti sistemi cellulari digitali di seconda generazione (IS-54, GSM).

- **MCHO** (Mobile-Controlled HO): come per il MAHO, la qualità del collegamento con la BS servente è misurata sia dalla MS sia dalla BS servente e la qualità dei collegamenti con le BS adiacenti è misurata dalla MS; sono supportati sia HO intercella che intracella. La sostanziale differenza di questo tipo di procedura è che la decisione di HO è effettuata dalla MS, basandosi sulle misurazioni da lei stessa effettuate e su quelle che le vengono trasmesse dalla BS servente. I ritardi di rete sono intorno ai 100 ms.

2) Un secondo aspetto in base al quale si possono classificare gli algoritmi di HO è il modo in cui la chiamata viene trasferita al nuovo collegamento. Si hanno i seguenti due tipi di HO:

- **Backward HO**: l'attivazione della procedura avviene tramite la BS di origine (BS servente) e l'accesso al nuovo canale non può essere effettuato fino a quando l'entità di controllo del nuovo canale non conferma l'allocazione delle risorse. Questo tipo di HO è utilizzato in molti dei sistemi TDMA, tra cui il GSM.
- **Forward HO**: l'attivazione della procedura avviene attraverso un canale della BS di destinazione, senza impiegare il vecchio canale durante la fase iniziale della procedura. Questo tipo di HO è utilizzato nei sistemi digitali cordless, come il DECT.

Un algoritmo di HO di tipo Backward ha il vantaggio di utilizzare un collegamento radio già esistente per la trasmissione dell'informazione di segnalazione, senza richiedere la presenza di un nuovo canale di segnalazione durante le fasi iniziali della procedura. Il principale svantaggio è che l'HO può fallire se la qualità del collegamento con la BS

servente si sta deteriorando rapidamente. Per evitare questo inconveniente è utilizzata la strategia Forward la quale, inoltre, consente una maggiore rapidità dell'HO, a scapito di una sua minore affidabilità.

3) Una ulteriore classificazione delle procedure di HO riguarda la modalità con cui viene rilasciato il vecchio collegamento e a tale proposito una procedura può essere di:

- **Hard HO:** la MS rilascia il collegamento con la BS di provenienza nel momento in cui viene stabilito il collegamento con la BS di destinazione. Questo tipo di HO è utilizzato in quasi tutti i sistemi TDMA.
- **Soft HO:** la MS mantiene il collegamento con almeno due BS nella regione di Soft HO e rilascia il collegamento con una BS solo quando il corrispondente livello del segnale scende sotto una certa soglia. Usualmente questo tipo di HO è utilizzato nei sistemi CDMA.

Capitolo II

Rete Wireless LAN a larga banda e accesso mobile

Questo capitolo descrive l'architettura protocollare e topologica della rete Wireless LAN a larga banda studiata nel presente lavoro. Il primo paragrafo descrive la struttura topologica della rete. Il secondo paragrafo descrive la struttura di trama adottata. Il terzo paragrafo riepiloga l'algoritmo di assegnazione del canale di uplink. Il quarto paragrafo descrive l'algoritmo di assegnazione dei time slots di downlink. Il quinto paragrafo analizza il nuovo algoritmo di accesso mobile.

II.1 Topologia della rete WLAN

Si considera un ambiente indoor (ad esempio un ufficio) ed una rete wireless in grado di fornire servizi multimediali: voce, video e dati. Si tratta di una rete in area locale radiomobile (WLAN) composta da un certo numero di **clusters**, ciascuno contenente sette BS. Ogni BS controlla una singola zona di servizio (**cella**), quindi un cluster è formato dall'insieme di sette celle. Ogni cella appartenente allo stesso cluster ha una sua propria antenna ricetrasmittente e utilizza un blocco di frequenze distinto. Il riuso di frequenza, infatti, non è previsto all'interno dello stesso cluster ma avviene tra clusters diversi: tutti i clusters utilizzano gli stessi sette blocchi di frequenze che, globalmente, costituiscono la banda totale del sistema.

In particolare risulta che celle “corrispondenti”, cioè situate nella stessa posizione nell’ambito di clusters distinti, utilizzano lo stesso blocco di frequenze che costituisce la banda di una singola cella. La figura II.1 mostra la struttura dei clusters ed il riuso di frequenza tra due celle “corrispondenti”, indicato dalla freccia. Per semplicità le celle sono schematizzate con forma esagonale e non si sono raffigurate le zone di sovrapposizione tra celle adiacenti.

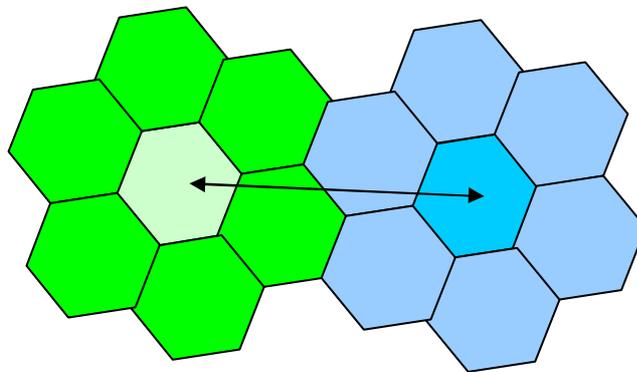


Figura II.1 Struttura schematica di due clusters adiacenti (la freccia indica il riuso di frequenza).

Si ipotizza, quindi, che la banda a disposizione del sistema multi-cella sia suddivisa in modo fisso tra le celle di uno stesso cluster e cioè che la suddetta banda sia sette volte maggiore della banda del sistema mono-cella. Per esempio, adottando i valori utilizzati in MEDIAN (banda di una singola cella di circa 150 *Mbps*), la banda totale del sistema sarebbe di 7·150 *Mbps*, pari a circa 1 *Gbps*. La disponibilità di una banda così elevata, necessaria a coprire le esigenze degli utenti a larga banda

considerati, potrebbe apparire difficile da ottenere. Tuttavia, l'ipotizzato impiego delle frequenze risulta realizzabile in quanto MEDIAN lavora intorno ai 60 *GHz*, cioè in una parte dello spettro in cui sono disponibili elevate risorse (fino a 5-6 *Gbps*).

Lo schema di modulazione utilizzato per la trasmissione dei pacchetti, prevede che la banda di ciascuna cella sia a sua volta costituita da un insieme di **S** sottoportanti OFDM (in MEDIAN **S** vale 512). Ogni pacchetto ha dimensione lorda di 1024 *bits* ed include una cella ATM (48+5 *bytes*, pari a 424 *bits*).

Si suppone che le BS appartenenti allo stesso cluster siano interconnesse in fibra ottica per cui lo scambio di pacchetti tra le BS è ipotizzato avvenire istantaneamente, cioè si trascurano i tempi di trasferimento delle informazioni tra BS.

Per ciascun cluster, esiste un'entità gerarchicamente superiore alle BS, chiamata Mobility Manager (**MM**), avente lo scopo di gestire la mobilità degli utenti e al quale, come mostrato in figura II.2, sono connesse direttamente le BS del cluster; in tale figura è anche illustrata l'interconnessione in fibra ottica di tre BS (linee tratteggiate) e quella con la rete fissa (Wireline Network Interface).

Nel seguito si analizzeranno esclusivamente comunicazioni tra utenti attivi in movimento nell'ambito della WLAN.

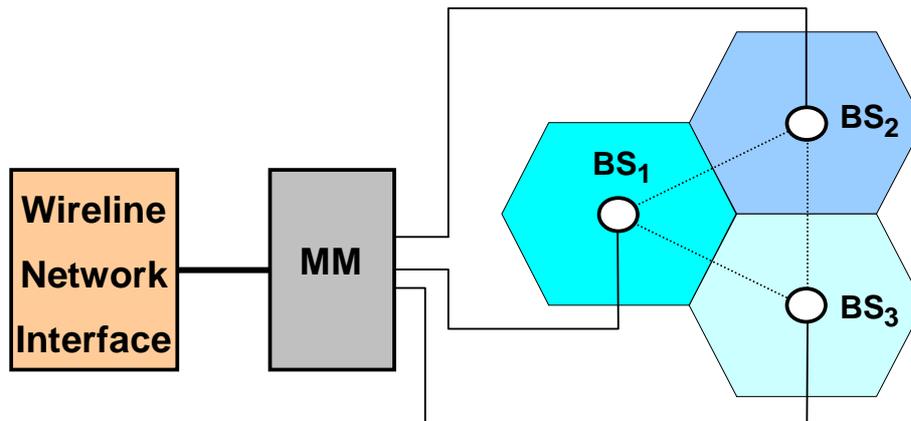


Figura II.2 Connessioni BS-BS, MM-BS e MM-WNI (le connessioni BS-BS sono in fibra ottica).

II.2 Struttura della trama TDD

Nelle reti wireless duplex sono presenti due canali, denominati rispettivamente canale di uplink e canale di downlink. Il primo è utilizzato dalle MS per trasmettere l'informazione di segnalazione e di utente verso la BS servente; il secondo serve per il trasferimento di informazione dalla BS alle MS. Le assegnazioni dei time slots costituenti i due canali, sono sotto il completo controllo della BS.

La struttura di trama adottata nel sistema studiato è la Time Division Duplex/TDMA (**TDD/TDMA**). In particolare ciascuna trama è suddivisa in 64 time slots, di cui i primi 32 costituiscono il canale di downlink (**downlink slots**) ed i successivi costituiscono quello di uplink (**uplink slots**). Si è scelto, per semplicità, un numero di slots costante per

i due canali, ma si potrebbe introdurre un algoritmo in grado di adeguare il numero di slots in funzione del traffico che devono gestire i due canali.

La figura II.3 mostra la struttura della generica trama i ed evidenzia i quattro time slots impiegati per trasmettere le informazioni di segnalazione: lo slot numero 29, denominato **Carrier Slot**, è usato dalla BS per inviare agli utenti i riscontri e altre informazioni, lo slot numero 31, denominato **Broadcast Slot**, è usato per la segnalazione di downlink, lo slot numero 32, denominato **Signalling Slot**, è usato per la segnalazione di uplink ed infine lo slot numero 33, denominato **Access Slot**, è usato dagli utenti per inviare alla BS le loro richieste di assegnazione di sottoportante; i restanti 60 slots trasportano informazione di utente (**user slots**). Gli utenti possono trasmettere e ricevere solamente durante gli user slots di uplink e downlink loro assegnati ed in questi intervalli temporali hanno a disposizione tutta la banda della cella.

Come già anticipato, lo schema di modulazione impiegato negli user slots è la modulazione OFDM. Durante un user slot tutte le sottoportanti OFDM, in cui è suddivisa la banda della cella, sono utilizzate da un'unica stazione trasmittente (MS oppure BS). Durante il Signalling Slot, invece, l'OFDM è usato come schema di accesso multiplo ai time slots di uplink: differenti MS si dividono la banda della cella utilizzando l'unica sottoportante di segnalazione che è stata loro assegnata.

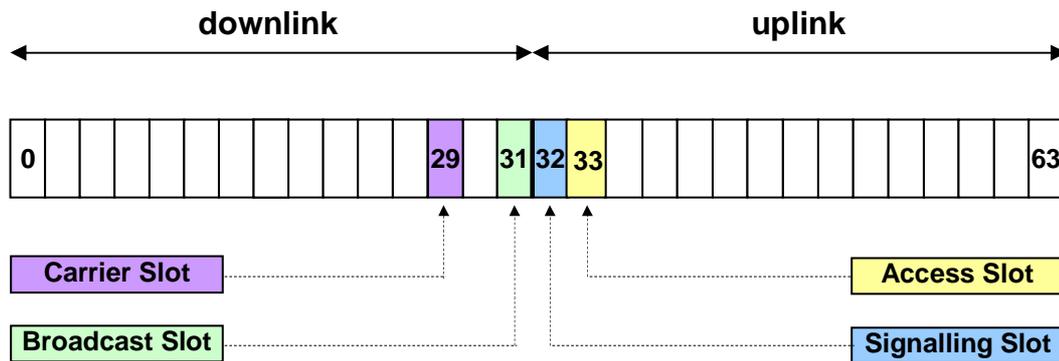


Figura II.3 Struttura della generica trama i .

Il **Broadcast Slot** della trama i (ultimo downlink slot) è utilizzato dalla BS per trasmettere una particolare cella ATM chiamata **Broadcast Cell**. Tale cella, nel seguito indicata con $\mathbf{BC}(i)$, serve alla BS per informare gli utenti presenti nella cella sull'allocazione degli slots della trama successiva (trama $i+1$).

Durante il **Signalling Slot** (primo slot dell'uplink) gli utenti trasmettono le richieste di assegnazione dei time slots di uplink. In questo slot, come già accennato, si realizza uno schema di accesso **OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Tutti gli utenti, infatti, possono effettuare contemporaneamente una richiesta, trasmettendo energia sulla sottoportante loro assegnata. Ogni utente attivo è univocamente associato ad una delle S sottoportanti OFDM (sottoportanti di segnalazione) e, per effettuare una richiesta di accesso alla risorsa (time slot di uplink), trasmette alla BS servente un flag su tale sottoportante, durante il Signalling Slot. Le richieste non possono subire collisioni e quindi l'accesso è privo di conflitti.

Il flag di segnalazione, detto **Signalling Bit (SB)**, viene inviato dalla MS per segnalare alla BS che il proprio buffer (buffer di utente) contiene almeno un pacchetto da trasmettere. Ogni cella ATM trasmessa sull'uplink

contiene due ulteriori bits di segnalazione, definiti messaggio **QS (Queue Signalling)**, che informano la BS riguardo l'evoluzione della lunghezza della coda del buffer di utente; il messaggio QS consente alla MS di ricevere l'assegnazione di più uplink slots nella stessa trama.

Durante l'**Access Slot** (secondo slot dell'uplink) gli utenti che vogliono iniziare una comunicazione trasmettono una richiesta di assegnazione di sottoportante. In questo slot si realizza uno schema di accesso di tipo statistico (tipo ALOHA) in cui tutti gli utenti che ne hanno bisogno effettuano una richiesta, trasmettendo energia sullo stesso canale. Pertanto, se due o più utenti trasmettono la richiesta nello stesso istante, avviene una collisione in quanto il ricevitore della BS non è in grado di decodificare le diverse richieste. Come sarà descritto più avanti, per ridurre la probabilità di collisione si è deciso di suddividere l'Access Slot in 8 **minislot**. È ovvio che le richieste di due o più utenti subiscono una collisione se esse vengono inviate durante lo stesso minislot.

Il **Carrier Slot** (terzultimo slot di downlink) ha una duplice funzione. Infatti serve alla BS sia per trasmettere i riscontri agli utenti le cui richieste non hanno subito collisione, sia per comunicare agli utenti i numeri di sottoportanti assegnate.

Nel presente studio si è ipotizzato che ciascuna BS possa assegnare 14 sottoportanti di segnalazione ($NCARRIER = 14$); tale numero deve essere scelto in modo che vi sia un'adeguata distanza in frequenza tra flags trasmessi da utenti diversi associati a sottoportanti adiacenti. In un lavoro di tesi svolto precedentemente [10], ipotizzando un offset di frequenza uniformemente distribuito tra $\pm 5\%$ della distanza tra sottoportanti adiacenti, si è trovato che, utilizzando 28 sottoportanti, si ottiene un Bit Error Rate (BER) di 10^{-10} con un SNR di circa 15 dB. Tale risultato è stato ottenuto considerando la trasmissione del flag non su

un'unica sottoportante, ma anche sulle precedenti e successive tre (ridondanza).

Il fatto che in una cella siano disponibili 14 sottoportanti, limita a 14 il numero massimo di utenti contemporaneamente attivi nella cella stessa. Tuttavia, tale limite risulta accettabile per i seguenti motivi: 1) l'ambiente che si considera è di tipo indoor, con celle di raggio dell'ordine di 10÷20 metri, che difficilmente riuscirebbero a contenere un numero di utenti attivi superiore a quello stabilito, 2) l'analisi è principalmente rivolta ad utenti di tipo video, che sono quelli più problematici per il sistema considerato e per i quali le prestazioni divengono inaccettabili quando il loro numero in una cella è maggiore di 11. Diventa inutile, quindi, considerare che una cella possa gestire più di 20 utenti video attivi.

La presente analisi non considera la possibilità di assegnare dinamicamente le sottoportanti di segnalazione. Infatti una sottoportante assegnata ad un utente, è utilizzata esclusivamente da questo e verrà rilasciata al termine della comunicazione (spontanea o causata dal fallimento di un HO) oppure al termine di una procedura di HO. Si potrebbe però introdurre la possibilità di far condividere una sottoportante tra più utenti di tipo voce presenti nella stessa cella. Infatti gli utenti voce, differentemente da quelli video, generano mediamente un pacchetto ogni 40 trame e quindi utilizzano la sottoportante di segnalazione solo per una piccola frazione di tempo. Pertanto si potrebbe assegnare circolarmente la stessa sottoportante a più utenti voce.

II.3 Assegnazione del canale di uplink

In questo paragrafo vengono descritte le principali caratteristiche dello schema di accesso **PAMA** (Priority Assignment Multiple Access), che è stato definito nel lavoro [2]. Tale schema risulta particolarmente adatto a gestire le differenti esigenze degli utenti presenti nell'ambiente considerato in tale lavoro. Infatti esso tenta di garantire differenti priorità ai vari servizi (voce, video e dati).

In particolare si vogliono brevemente analizzare le operazioni compiute dagli utenti per effettuare le richieste di accesso agli uplink slots (calcolo delle informazioni di segnalazione **SB** e **QS**) e dalla BS per soddisfare tali richieste.

Lo schema di accesso PAMA prevede che debbano passare almeno quattro trame dalla trama in cui un pacchetto viene generato a quella in cui viene trasmesso. Inoltre, si ipotizza che il flag di segnalazione SB, mediante il quale un utente effettua la richiesta di un time slot, sia valutato in base allo stato del buffer di utente all'inizio della trama che precede la trasmissione del flag, in modo che la MS abbia il tempo di elaborare l'informazione impiegata per calcolare il suddetto flag e di generare il segnale corrispondente.

Considerando lo stato del buffer all'inizio della trama i , si descrive la procedura seguita dalla MS per calcolare il valore del flag SB da trasmettere nel Signalling Slot della trama $i+1$, indicato con $SB(i+1)$. Le allocazioni dei time slots causate dalla trasmissione di questo flag si avranno nella trama $i+4$, quindi la MS deve effettuare una predizione del numero di pacchetti che saranno contenuti nel proprio buffer di utente all'inizio di tale trama (**Buffer Prediction**), indicata con $BP(i+4)$. La predizione si basa sulle seguenti informazioni: $B(i)$ che è la lunghezza reale della coda all'inizio della trama i , $A(i)$ che è il numero di slots allocati

alla MS nella trama i e che la MS conosce dalla $\mathbf{BC}(i-1)$ (Broadcast Cell trasmessa nella trama $i-1$, che riporta le allocazioni per i time slots della trama i) ed infine $\mathbf{A}(i+1)$ che è il numero di slots allocati alla MS nella trama $i+1$ e che essa conosce dalla $\mathbf{BC}(i)$. La predizione avviene secondo la seguente relazione:

$$\mathbf{BP}(i+4) = \mathbf{B}(i) - \mathbf{A}(i) - 3 \cdot \mathbf{A}(i+1) \quad (2.1)$$

In pratica l'utente stima il numero di slots che complessivamente gli saranno allocati nelle tre trame che necessariamente passano dalla richiesta (che avviene nella trama $i+1$) alla conseguente allocazione (trama $i+4$), come pari a tre volte il numero di slots che ha ricevuto nell'ultima allocazione di cui tale utente è a conoscenza (quella della trama $i+1$). Se la predizione $\mathbf{BP}(i+4)$ risulta maggiore di 0 allora il flag $\mathbf{SB}(i+1)$ viene posto ad 1, altrimenti esso viene posto a 0. Poiché, come si vedrà in seguito, passano due trame dalla richiesta alla effettiva allocazione degli slots (quindi alla trasmissione dei pacchetti in coda), viene impedito alla MS di settare ad 1 il flag \mathbf{SB} per due trame consecutive, a meno che il buffer non contenga più di una cella, cioè a meno che non sia $\mathbf{B}(i) > 1$.

Per comprendere le cause dei ritardi, si può analizzare in dettaglio la temporizzazione delle operazioni svolte dalla MS e dalla BS per la trasmissione dei pacchetti sul canale di uplink. Si consideri, per semplicità, un utente con buffer vuoto che genera un unico pacchetto durante la trama i e nessun altro durante le trame immediatamente seguenti (caso di utente voce). La sequenza delle operazioni effettuate dalla generazione del pacchetto alla sua trasmissione è illustrata in figura II.4 ed è descritta dai seguenti passi:

- Trama $i-1$** Il buffer della Mobile Station considerata è vuoto;
- Trama i** la MS genera un pacchetto;
- Trama $i+1$** la MS valuta la lunghezza del proprio buffer all'inizio della trama i ; essendo nullo $B(i)$ (il pacchetto è stato generato durante la trama i) e poiché sono nulli anche i numeri $A(i)$ e $A(i+1)$ (numeri di slots allocati alla MS nelle trame i ed $i+1$) allora tale MS, in base alla formula (2.1), calcola un valore nullo per $BP(i+4)$ e quindi pone a 0 il flag $SB(i+1)$;
- Trama $i+2$** il valore $B(i+1)$, cioè la lunghezza del buffer all'inizio della trama $i+1$, è 1 e quindi la MS calcola per $BP(i+5)$ un valore pari ad 1. Pertanto la MS, nel Signalling Slot, trasmette un flag $SB(i+2)$ pari ad 1;
- Trama $i+3$** la BS valuta il flag di segnalazione ed alloca un time slot di uplink alla MS, comunicandolo mediante la $BC(i+3)$; il buffer conteneva un unico pacchetto e quindi la MS deve porre a 0 il flag $SB(i+3)$;
- Trama $i+4$** la MS trasmette il pacchetto (generato nella trama i) nello slot che le è stato allocato;
- Trama $i+5$** la BS ha ricevuto un flag $SB(i+3)$ nullo, quindi non alloca alla MS alcuno slot di questa trama.

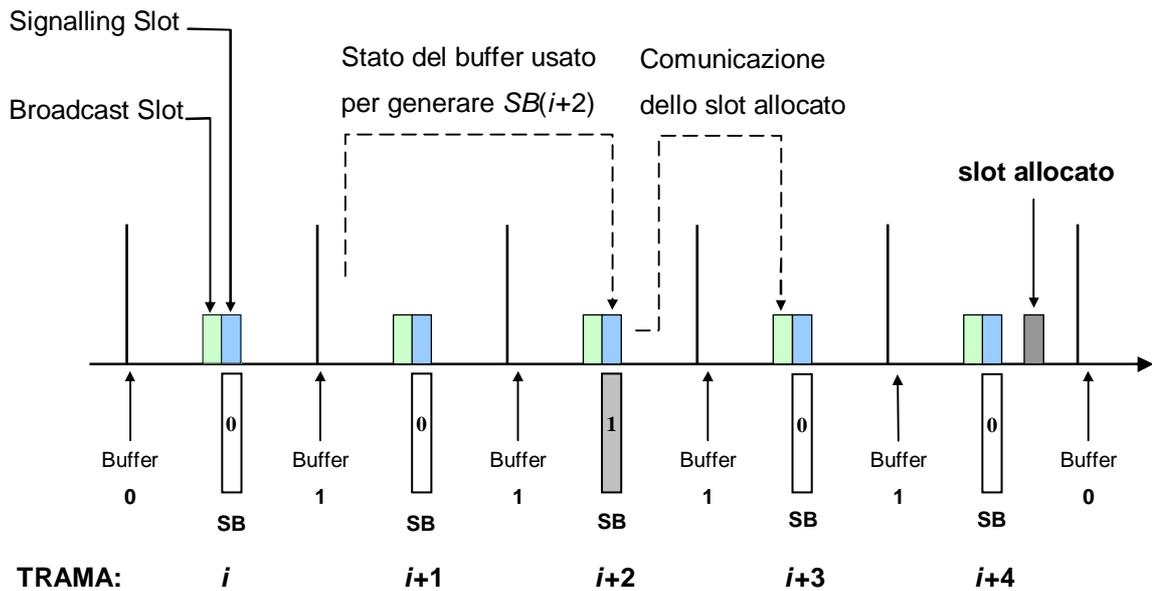


Figura II.4 Procedura per la trasmissione di un unico pacchetto generato durante la trama i .

Risulta a questo punto chiaro che il protocollo prevede che passino almeno quattro trame dalla generazione di un pacchetto (trama i) alla sua trasmissione (trama $i+4$). La BS effettua le allocazioni degli slots trama per trama, in base ad un'informazione (lunghezza dei buffers) relativa a quattro trame prima. Nella figura II.4 per ogni trama sono raffigurati solo il Broadcast Slot ed il Signalling Slot (nel rettangolo sottostante è indicato il valore del flag SB trasmesso dall'utente considerato); nella figura è anche indicata la lunghezza della coda del buffer di utente (Buffer).

Se il numero di utenti attivi nella cella è minore di 31 (evento sempre verificato nel sistema studiato in quanto il numero di utenti contemporaneamente attivi in una cella è al più pari a 14), la BS alloca sempre uno slot di uplink all'utente che le ha trasmesso il flag SB ad 1. Tuttavia è il messaggio QS che, cercando di seguire la generazione dei

pacchetti dell'utente, consente alla BS di stabilire quanti time slots allocargli.

Il messaggio **QS**, calcolato da una MS e contenuto in ogni pacchetto di uplink da essa trasmesso, è costituito da due bits ed ha lo scopo di informare la BS sull'evoluzione della lunghezza della coda del buffer di utente. Poiché, in generale, un utente può trasmettere più pacchetti nella stessa trama ed i messaggi QS trasportati possono essere diversi, si indica con $QS(i,k)$ quello trasportato dal pacchetto trasmesso nello slot k -mo della trama i . Il calcolo del valore del messaggio QS si effettua a partire dal numero di slots di uplink necessario alla MS per svuotare la propria coda (tale numero viene aggiornato al termine di ogni allocazione). Consideriamo il calcolo del messaggio $QS(i,k)$: all'inizio della trama i la MS, a partire dalla variazione subita dalla lunghezza della coda dall'inizio della trama $i-2$ all'inizio della $i-1$ (dipendente dal numero di pacchetti generati e trasmessi durante la trama $i-2$), calcola il numero $R(i)$ cioè il numero di slots che deve richiedere, secondo tale relazione:

$$R(i) = R(i-1) + B(i-1) - B(i-2) \quad (2.2)$$

Se risulta $R(i) > 0$ allora la MS pone $QS(i,k)=1$ e decrementa di 1 $R(i)$ (in quanto è stato richiesto un ulteriore slot), se $R(i)=0$ allora pone $QS(i,k)=0$, se $R(i) < 0$ pone $QS(i,k)=-1$ ed incrementa di 1 $R(i)$ (in quanto è stato richiesto uno slot in meno).

Qualora l'utente debba trasmettere un altro pacchetto nella stessa trama i , allora il $QS(i,k+h)$ viene calcolato in base al valore di $R(i)$ precedentemente aggiornato (infatti, in seguito al calcolo di $QS(i,k)$, si è ottenuto un nuovo valore di $R(i)$ in quanto il precedente valore è stato incrementato o decrementato di 1); si utilizza lo stesso procedimento fino all'ultimo pacchetto trasmesso dall'utente in questa trama.

Il messaggio QS può quindi assumere tre configurazioni: +1, 0 e -1 che indicano, rispettivamente, che il buffer di utente tende a riempirsi, rimanere costante o svuotarsi. Questo consente alla MS di avere memoria del passato comportamento della coda e permette alla BS di seguire l'evoluzione della coda. In base alle informazioni di segnalazione ricevute, la BS determina la priorità stimata relativa a ciascun utente cioè la **Estimated Priority (EP)**, e la mantiene nel profilo di utente. Si indica con $EP(i, j)$ la priorità stimata relativa all'utente j -mo durante la trama i . Essa viene posta a zero se $SB(i)=0$ ed aggiornata ad ogni messaggio QS ricevuto dall'utente j -mo durante la trama i , sommandole il valore di QS. Poiché l'incremento di un certo numero di pacchetti in coda determina lo stesso incremento del numero di slots allocati all'utente e quindi del numero di messaggi QS inviati, la EP rappresenta anche una stima della lunghezza della coda. Se la $EP(i, j)$, dopo essere stata aggiornata in base ai valori dei messaggi QS ricevuti, vale 0 ma risulta $SB(i)=1$, allora essa viene posta comunque ad 1, in modo da consentire l'assegnazione di uno slot, e quindi l'invio di almeno un messaggio QS, ad utenti che trasmettono il flag ad 1 ed hanno priorità nulla (utenti che generano nuovamente pacchetti dopo che il proprio buffer si è svuotato).

Per quanto si è appena detto, i messaggi QS hanno lo scopo di mantenere una corrispondenza tra EP ed il numero di pacchetti contenuti effettivamente nel buffer di utente; tuttavia, in generale, questi due valori non saranno uguali per due motivi: il ritardo tra il calcolo del messaggio QS ed il suo effetto sulla EP e l'imprecisione dell'algoritmo usato per il calcolo del flag SB, che può determinare l'errato annullamento della priorità. Per questo motivo se $SB(i) = 0$, al termine della trama i viene risincronizzato il valore di EP con la reale lunghezza della coda. Ciò viene effettuato ricalcolando il numero di richieste $R(i)$ (che sarà utilizzato per il

calcolo delle richieste nella trama $i+1$) in base alla conoscenza del numero $A(i+1)$ degli slots allocati nella trama seguente, secondo la relazione:

$$R(i) = B(i) + 2 \cdot A(i+1) \quad (2.3)$$

L'allocazione dei time slots di uplink è completamente sotto il controllo della BS (controllo centralizzato) ed è determinata dai valori che la BS possiede delle priorità stimate EP per gli utenti attivi che si trovano nella sua zona di servizio.

Esiste una differenza tra "assegnazione" ed "allocazione" di un time slot. L'**assegnazione** di un time slot avviene quando la BS decide il numero di slots da assegnare a ciascun utente (**SA**), che è pari al valore della sua priorità. Ad esempio il numero $SA(i+2, j)$ di slots assegnati nella trama $i+2$ all'utente j -mo, sarà pari alla sua priorità stimata durante la trama i , cioè a $EP(i, j)$. Si osservi che la $EP(i, j)$ serve per generare la $BC(i+1)$, che riserva gli slots della trama $i+2$.

L'**allocazione**, invece, viene effettuata quando la BS, in funzione delle assegnazioni stabilite, genera la $BC(i+1)$ e quindi riserva effettivamente i time slots della trama $i+2$. Il numero di slots allocati differisce da quello degli slots assegnati se quest'ultimo è maggiore del numero di slots disponibili nella trama (pari a 30). In tal caso si adotta un semplice algoritmo che si basa sulla normalizzazione degli slots assegnati agli utenti che presentano stringenti requisiti di ritardo massimo (utenti video e voce).

Se dopo aver effettuato tutte le allocazioni rimangono time slots liberi, si è scelto di assegnarli in modo random agli utenti il cui flag SB vale 1.

II.4 Assegnazione del canale di downlink

Il canale di downlink viene utilizzato da ciascuna BS per trasmettere i pacchetti destinati agli utenti che si trovano nella sua zona di servizio. Si ipotizza che la BS abbia un buffer associato a ciascun utente, chiamato **buffer di ricezione**, nella cui coda vengono posti i pacchetti in attesa di essere trasmessi verso l'utente.

La gestione del canale di downlink presenta meno problemi rispetto a quella dell'uplink in quanto non richiede la predizione della lunghezza delle code né l'invio del flag SB. Infatti è la BS che effettua l'allocazione dei downlink slots ed essa conosce la lunghezza reale dei buffers di ricezione ed i tempi di attesa dei pacchetti in essi contenuti. La BS genera la parte relativa al downlink della $BC(i+1)$, per l'allocazione dei downlink slots della trama $i+2$, in base allo stato dei buffers di ricezione all'inizio della stessa trama $i+1$. La temporizzazione della procedura di allocazione, nel semplice caso di arrivo durante la trama i di un unico pacchetto nel buffer di ricezione dell'utente j -mo, è la seguente:

Trama i la BS riceve un pacchetto destinato alla MS j -ma, che si trova nella sua zona di servizio; il buffer di ricezione relativo a questo utente non contiene altri pacchetti;

Trama $i+1$ la BS, prima dello slot numero 31 di questa trama, calcola la $BC(i+1)$ in base allo stato dei buffers di ricezione all'inizio della trama. Sicuramente uno slot viene allocato alla MS j -ma, in quanto almeno uno slot viene sempre allocato alle MS il cui buffer di ricezione non è vuoto;

Trama $i+2$ il pacchetto viene trasmesso alla MS j -ma nello slot ad essa allocato.

Di conseguenza, il tempo minimo che un pacchetto deve attendere nel buffer di ricezione prima di essere trasmesso sul downlink è di poco superiore ad una trama, mentre si è visto che l'attesa minima per la trasmissione sull'uplink è di quattro trame. Si deve inoltre sottolineare che la generazione della $BC(i+1)$ avviene in momenti differenti per la parte di uplink e di downlink: quest'ultima, come appena detto, è effettuata durante la stessa trama $i+1$, mentre quella relativa all'uplink avviene durante la trama i .

L'algoritmo effettua, inizialmente, l'allocazione di uno slot per ciascun utente video o voce il cui associato buffer di ricezione contenga almeno un pacchetto (allocazione circolare). Ciascuno dei restanti slots viene allocato all'utente il cui primo pacchetto che non ha ancora ricevuto allocazione (**FirstPacket**) è "prioritario" rispetto a quelli degli altri utenti. Si è scelto di valutare la priorità dei pacchetti in base ai tempi di attesa nei buffers di ricezione: la priorità di un pacchetto è tanto più elevata quanto più è lunga la sua attesa nel buffer, misurata da **BSclock** (pari al numero di slots trascorsi da quando il pacchetto è giunto nel buffer di ricezione). Il diagramma di flusso dell'algoritmo di allocazione è mostrato nella figura II.5.

Si consideri l'allocazione dei time slots della trama $i+2$, quindi il calcolo della $BC(i+1)$, effettuato all'inizio della trama $i+1$ in base allo stato dei buffers di ricezione all'inizio di questa trama. Il primo passo consiste nel valutare la lunghezza delle code dei buffers di ricezione (**length**) e nel calcolare il numero di slots già allocati a ciascun utente nella trama attuale $i+1$ (**AlreadyAllocated**). I pacchetti che saranno trasmessi in questa trama

sono ancora presenti nei buffers e quindi, per ogni utente (**user** = 0,1,...,N-1), viene calcolato il numero reale di pacchetti che saranno ancora in attesa nella successiva trama $i+2$ (**RealLenght**). Tale numero, pari al numero di “richieste” dell’utente, viene calcolato sottraendo alla lunghezza della coda il numero di slots già allocati. Il numero totale di richieste (**Tot_request**) viene calcolato come la somma delle RealLenght relative ad utenti video e voce.

Se il totale dei pacchetti da trasmettere è inferiore o uguale al numero di slots disponibili (in generale pari a 30), allora l’allocazione viene fatta circolarmente fino al soddisfacimento di tutte le richieste, altrimenti l’allocazione si effettua in due passi:

- a) la BS alloca circolarmente uno slot a ciascun utente cui si deve trasmettere almeno un pacchetto ($\text{RealLenght}[\text{user}] > 0$);
- b) la BS alloca ogni slot successivo all’utente il cui primo pacchetto che deve ricevere allocazione, indicato da FirstPacket, è in attesa nel buffer di ricezione da più tempo (ha il campo BSclock più elevato); FirstPacket viene calcolato e poi incrementato di 1 ad ogni nuova allocazione.

Tuttavia l’algoritmo è approssimato, in quanto il numero di richieste (**Tot_request**) è valutato esattamente solo nel caso in cui non ci siano pacchetti persi nei buffers di ricezione durante la trama attuale e durante quella successiva. Nel caso in cui avvengano perdite, potrebbe essere errato il calcolo del FirstPacket e quindi la valutazione del tempo di attesa del primo pacchetto da trasmettere (che risulterebbe minore del tempo di attesa reale). Si sottolinea che il successivo pacchetto trasmesso è comunque quello corretto e l’imprecisione consiste in una errata

valutazione della priorità, che può risultare inferiore rispetto a quella realmente posseduta dall'utente.

Si sottolinea infine che per allocare gli slots in base alla priorità dei pacchetti, la BS non ha la necessità di analizzare la totalità dei pacchetti presenti nel suo buffer di ricezione, ma solo un pacchetto per ogni utente da essa servito (indicato da *FirstPacket*).

Per ciò che riguarda l'elemento innovativo di tale nuovo algoritmo di downlink, cioè lo sfruttamento della zona di Soft HO, si rimanda al capitolo III. Adesso si vuole solamente osservare che, un utente che si trovi in Soft HO, è in grado di ricevere l'allocazione dei downlink slots da entrambe le BS con cui è collegato e ciò, ovviamente, determina una minore percentuale di pacchetti persi ed una riduzione del tempo medio di attesa dei pacchetti stessi nel buffer di ricezione.

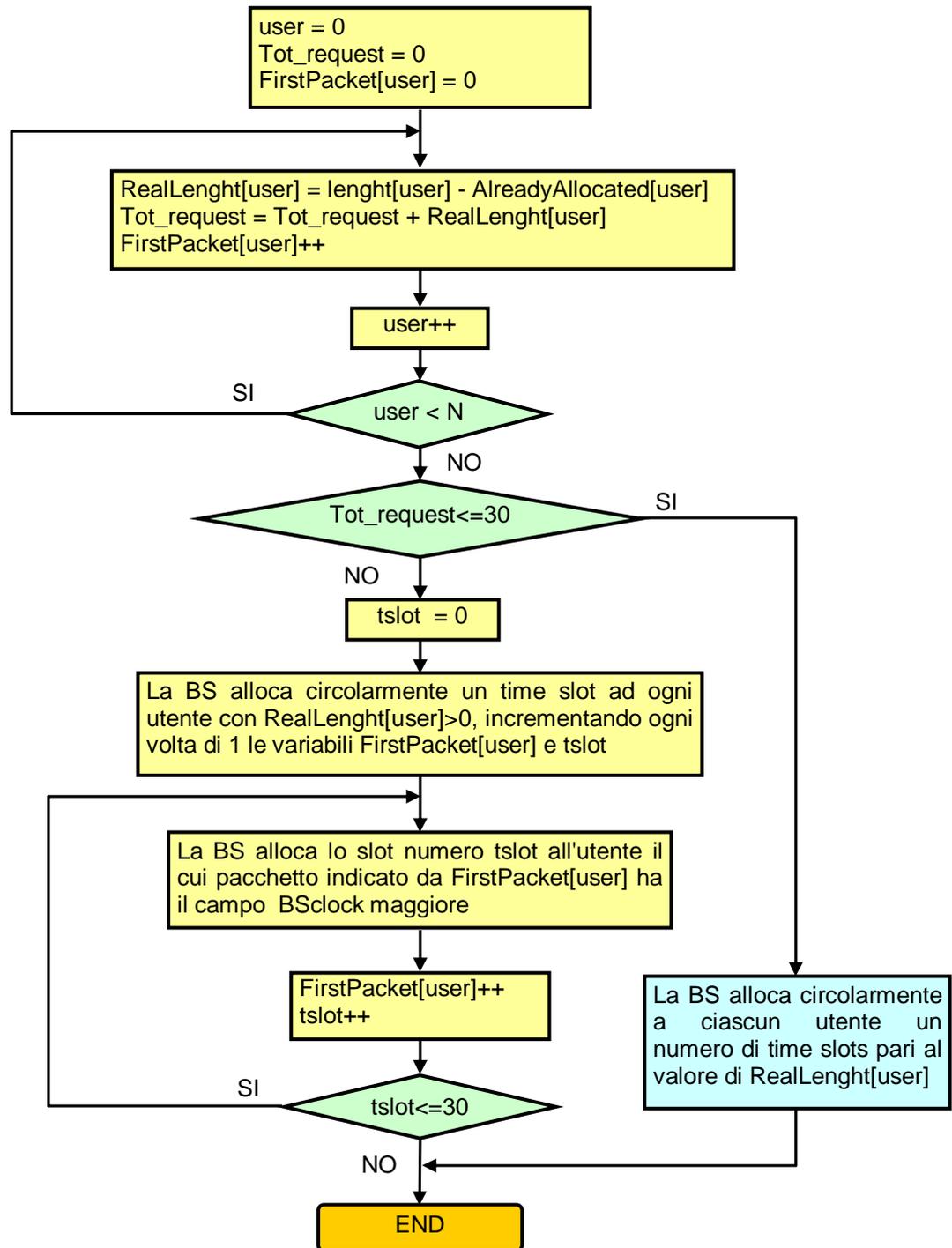


Figura II.5 Grafo di flusso semplificato dell’algoritmo di allocazione dei downlink slots per utenti video e voce.

II.5 Accesso mobile ad una sottoportante

Il primo passo di una stazione mobile (MS) che desidera comunicare con un altro utente è quello di accedere alla rete, cioè di realizzare un collegamento con la propria stazione radio base (BS). Si tratta, tra l'altro, del passo più importante in quanto è quello con cui un utente segnala alla rete che vuole avvalersi dei servizi da essa forniti. Le stazioni mobili si spostano rapidamente e quindi in un determinato momento, all'interno di una cella, può esservi un numero casuale di utenti già impegnato in una comunicazione o che stia tentando di connettersi alla rete. Proprio per la casualità del numero di utenti e dei loro rispettivi movimenti, risulta non semplice coordinarli nei loro tentativi di accedere alla rete.

Nel presente lavoro è stata ipotizzata la presenza di un singolo canale sul quale tutte le stazioni mobili appartenenti ad una cella, inviano le loro richieste di accesso. Si tratta, quindi, di un sistema con un accesso di tipo statistico (tipo **ALOHA**) cioè di un sistema in cui un numero indeterminato di utenti non coordinati si trova in eterna competizione per l'uso di un singolo canale condiviso. Tale canale è costituito dal time slot numero 33 di ciascuna trama (time slot di uplink denominato **Access Slot**) e quindi le richieste di accesso possono avvenire solamente nel corso di questo intervallo temporale (tipo **Slotted-ALOHA**). Se due o più utenti serviti dalla stessa BS inviano la loro richiesta nello stesso istante del time slot, avviene una collisione e le richieste di questi utenti non vanno a buon fine cioè non giungono alla loro BS servente. Qualora la richiesta di un utente mobile non abbia subito collisione, essa giunge correttamente alla BS (trama i) e può quindi essere valutata. Un segnale di riscontro per indicare l'avvenuta ricezione di tale richiesta, viene inviato dalla BS verso l'utente richiedente e ciò viene fatto nel corso del time slot numero 29 (time slot di downlink denominato **Carrier Slot**) della successiva trama

(trama $i+1$). In caso di collisione l'utente non riceve il riscontro e quindi, nel corso del time slot numero 33 della stessa trama (trama $i+1$), potrà inviare una nuova richiesta alla propria BS servente.

Per rendere meno probabile il verificarsi di una collisione, si è deciso di suddividere il time slot numero 33 (time slot durante il quale gli utenti possono inviare la propria richiesta) in un numero di minislots pari a 8. Ciascun utente che desidera effettuare una richiesta di sottoportante, decide in maniera del tutto randomica il numero di minislot sul quale inviare la propria richiesta e la collisione tra due richieste avviene solamente se esse vengono trasmesse durante lo stesso minislot.

Dal fatto che la scelta del numero di minislot sia casuale, si intuisce il motivo per cui tale suddivisione del time slot numero 33 sia in grado di ridurre la probabilità che si verifichino collisioni.

Supponiamo che durante la i -esima trama, un utente x decida di accedere al sistema per iniziare una comunicazione con l'utente y . La temporizzazione della procedura con cui l'utente mobile x segnala alla rete di voler comunicare con l'utente mobile y è la seguente:

Trama i l'utente x decide casualmente il numero di minislot sul quale inviare la propria richiesta di sottoportante. Supponiamo che tale utente abbia scelto il minislot numero j : nel corso di tale minislot dell'**Access Slot**, l'utente invia la sua richiesta alla propria BS servente;

Trama $i+1$ se nessun altro utente ha utilizzato il minislot numero j per trasmettere la propria richiesta, quella dell'utente numero x non ha subito collisione e quindi è stata correttamente decodificata dalla BS. Quest'ultima, pertanto, durante il **Carrier Slot** trasmette all'utente x un messaggio di

riscontro. Ricevuto il riscontro, l'utente capisce che la sua richiesta è giunta a destinazione e quindi si pone in uno stato di attesa, cioè in una coda di tipo **FIFO** (First In First Out). Qualora almeno un altro utente abbia inviato la propria richiesta nel minislot numero j , la richiesta dell'utente x ha subito collisione e quindi l'utente non riceve nessun messaggio di riscontro. Pertanto l'utente x durante l'**Access Slot** invia una nuova richiesta, utilizzando un minislot scelto di nuovo randomicamente;

Trama $i+2$ nel caso in cui la richiesta dell'utente x non abbia subito collisione, la BS che ha ricevuto la richiesta verifica la presenza di una sottoportante disponibile. In caso affermativo viene interrogata la BS alla quale appartiene l'utente y (cioè l'utente con cui l'utente x si vuole connettere) e, se anche quest'ultima possiede una sottoportante libera, le due sottoportanti vengono prenotate. In caso negativo la richiesta dell'utente x viene messa di nuovo in uno stato di attesa, cioè in una coda di tipo **FIFO** dalla quale uscirà non appena, giunto il suo turno, si libererà una sottoportante. Osserviamo che se l'attesa supera 3,6 secondi, la richiesta dell'utente x viene considerata fallita e quest'ultimo dovrà ripetere tutti i passi finora descritti;

Trama $i+3$ durante il **Carrier Slot** l'utente y viene informato dell'imminente tentativo di collegamento da parte dell'utente x ed i numeri delle due sottoportanti che sono state prenotate, vengono comunicati ai due utenti;

Trama $i+4$ gli utenti x ed y , a partire dal primo time slot, possono iniziare la loro comunicazione.

Risulta a questo punto chiaro che il protocollo prevede che passino almeno tre trame dalla generazione di una richiesta (trama i) all'ottenimento di una sottoportante (trama $i+3$) e almeno quattro trame dalla generazione di una richiesta (trama i) all'inizio della comunicazione (trama $i+4$).

Risulta altresì chiaro che, nel presente lavoro, non si è analizzata la fase di set-up della comunicazione, cioè si è fatta coincidere l'assegnazione di due sottoportanti ad una coppia di utenti con l'inizio della loro comunicazione senza neppure accennare alla gestione della chiamata.

Ciascuna BS effettua le assegnazioni delle sottoportanti trama per trama, in base al numero di sottoportanti di cui dispone e alle posizioni in coda raggiunte dalle richieste degli utenti (per ulteriori precisazioni si rimanda al capitolo III).

L'algoritmo appena esposto, con cui gli utenti mobili tentano di accedere al sistema, è descritto dal grafo di flusso semplificato mostrato in figura II.6.

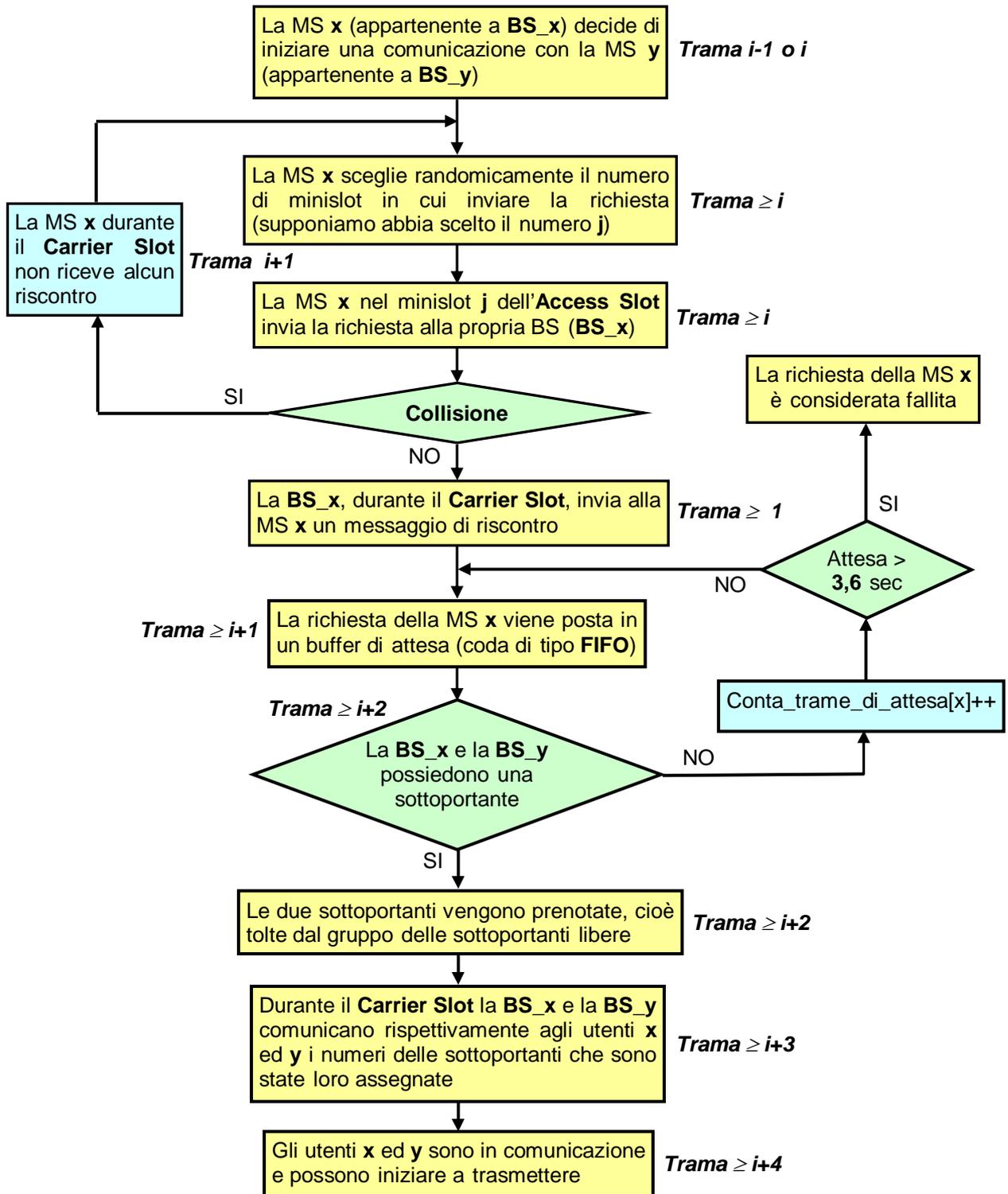


Figura II.6 Grafo di flusso semplificato dell'algoritmo di assegnazione di una coppia di sottoportanti.

Capitolo III

Procedura di Soft Hand Over

Questo capitolo descrive la procedura di handover utilizzata nel sistema studiato. Il primo paragrafo riassume le differenze tra un algoritmo di Hard HO e un algoritmo di Soft HO. Il secondo paragrafo descrive l'algoritmo di Soft HO adottato nel presente lavoro. Il terzo paragrafo descrive la nuova procedura mediante cui è possibile sfruttare il Soft HO nell'assegnazione del canale di downlink. Il quarto paragrafo riepiloga l'intera procedura di Hand Over.

III.1 Introduzione

Nel presente capitolo si propone un nuovo algoritmo in grado di sfruttare la presenza del Soft Hand Over anche per le assegnazioni del canale di downlink. Ciò con l'obiettivo di migliorare le prestazioni ottenute nel lavoro [1], in cui il Soft HO è sfruttato solo in uplink.

Nel sistema considerato, esiste solo la possibilità di HO intercella e quindi la procedura di HO deve gestire esclusivamente il cambio di cella degli utenti. La procedura di HO utilizzata è di tipo **Forward** e **Mobile-Controlled** e quindi essa viene attivata attraverso un canale della BS di destinazione. Inoltre la scelta di effettuare un HO è sotto il completo controllo della MS, la quale basa la sua decisione sulle misurazioni da lei stessa effettuate e su quelle inviate dalla BS servente.

Quando un utente in HO entra in una nuova cella, il **Mobility Manager** (MM) gli fornisce la mappa di frequenze del cluster a cui

appartiene, consentendo a tale utente di conoscere le frequenze utilizzate nelle celle adiacenti. La conoscenza di tali frequenze è necessaria all'utente per effettuare la successiva richiesta di HO.

Una procedura di tipo Hard, contrariamente a quanto fatto da una procedura di tipo Soft, prevede che un utente in HO rilasci la sottoportante utilizzata nella BS di origine prima di inoltrare la richiesta di HO verso la BS di destinazione. Solo dopo aver ricevuto l'identificativo della nuova sottoportante, che lo abilita a trasmettere nella cella di destinazione, l'utente potrà riprendere la trasmissione dei pacchetti, che avverrà sul nuovo collegamento. In una procedura di tipo Soft come quella considerata nel presente lavoro, invece, l'utente in HO non rilascia la sottoportante utilizzata nella BS di origine fino a quando il livello di qualità del collegamento con tale BS non è sceso sotto una prefissata soglia.

Per un utente in HO, quindi, esiste un intervallo di tempo in cui tale utente possiede due collegamenti. Nasce pertanto l'idea di sfruttare la presenza di tale doppio collegamento, cioè di far sì che durante il suddetto intervallo entrambe le BS con cui l'utente è collegato possano provvedere alle assegnazioni dei time slots sia di uplink sia di downlink. Ciò, ovviamente, consente agli utenti in Soft HO di avere a disposizione un canale maggiore e dà luogo ad una minor perdita di pacchetti oltre che ad una riduzione del ritardo medio totale.

III.2 Soft Hand Over

In un algoritmo di HO di tipo Soft, un utente che esce da una BS non rilascia il collegamento con tale BS prima di trasmettere la richiesta di HO alla BS di destinazione. Infatti l'utente in HO continua a mantenere il vecchio collegamento fino a quando il livello del segnale ricevuto dalla BS di origine non scende al di sotto di una determinata soglia. Durante un Soft HO, quindi, un utente possiede due collegamenti e cioè uno con la BS di origine e l'altro con quella di destinazione. Per poter realizzare un Soft HO è ovviamente necessaria la presenza di un'area di sovrapposizione tra celle adiacenti e ciò è attuabile solamente incrementando la potenza trasmessa delle stazioni fisse.

Un utente in Soft HO trasmette lo stesso flag di segnalazione SB verso entrambe le BS con cui è collegato. Tutte e due le BS, quindi, hanno la possibilità di assegnare i time slots di uplink all'utente in Soft HO e questi time slots vengono poi usati da tale utente per trasmettere in sequenza i pacchetti contenuti nel proprio buffer.

Pertanto, durante l'intervallo di tempo in cui si trovano in Soft HO (*tempo di Soft HO*), le MS possono trasmettere pacchetti verso entrambe le BS con cui sono collegate. Osserviamo che il doppio collegamento è utilizzato per trasmettere pacchetti diversi, in modo da avere effettivamente a disposizione un canale più ampio.

Il nuovo algoritmo, descritto nel paragrafo III.3, consente ad un utente in Soft HO di ricevere i pacchetti da entrambe le BS con cui è collegato.

Una MS effettua una richiesta di HO trasmettendo alla BS di destinazione (*NewBS*) un apposito flag, chiamato **HB (Handover Bit)**. La richiesta di HO viene effettuata quando, nel punto della cella in cui si trova l'utente, la qualità del segnale della NewBS supera quella della BS di

origine (*OldBS*). Questa situazione si ha in corrispondenza dell'istante t_1 (livello di segnale L_1) mostrato in figura III.1, nella quale è raffigurato un andamento qualitativo dei segnali ricevuti dall'utente.

La MS decide di rilasciare il vecchio collegamento in corrispondenza dell'istante t_2 cioè quando, nel punto della cella in cui essa si trova, il segnale della *OldBS* scende al di sotto di una ulteriore soglia, indicata nella figura con L_2 ($< L_1$). Il tempo di Soft HO risulta quindi uguale a $(t_2 - t_1)$.

Osserviamo che il livello di qualità dei canali di uplink e downlink è noto alla MS dall'analisi dei pacchetti ricevuti, mentre quello dei canali di downlink dei collegamenti con le BS adiacenti è noto alla MS attraverso la ricezione di segnali broadcast trasmessi da queste. Ogni utente, quindi, conosce il livello di qualità dei propri collegamenti attivi con le BS.

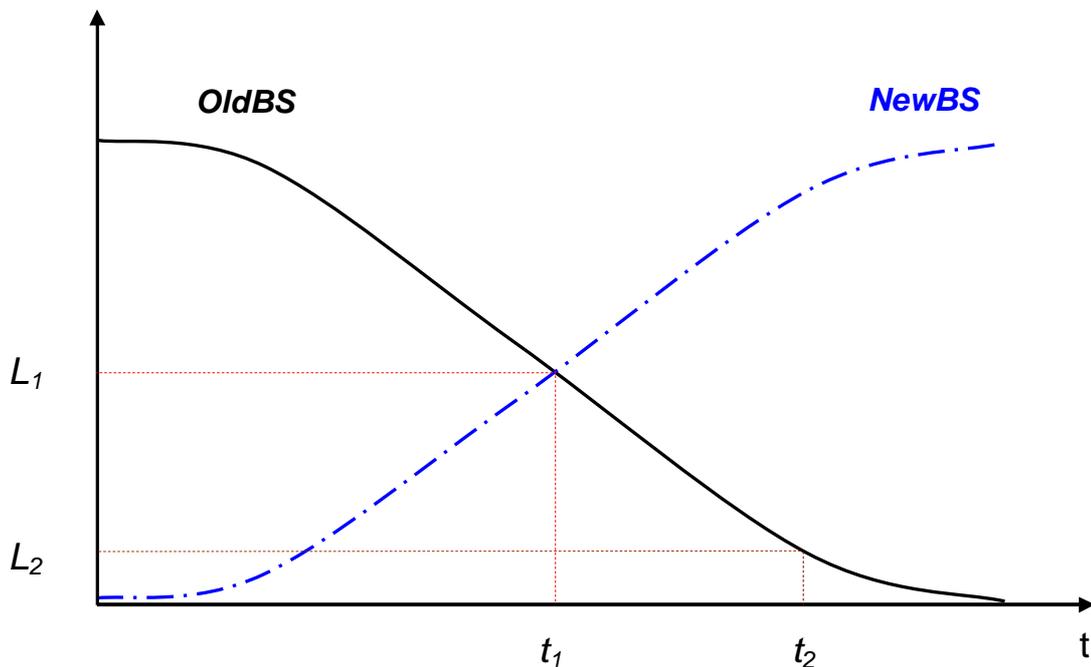


Figura III.1 Livello dei segnali ricevuti da una MS in handover dalla *OldBS* verso la *NewBS*.

Nel simulatore sono considerati tre possibili livelli di qualità per un collegamento, corrispondenti alle seguenti situazioni fisiche: il collegamento con una BS è di qualità 1 quando, nella posizione in cui si trova l'utente, il segnale della BS è superiore ad L_1 (cioè è maggiore di quello delle BS adiacenti), è di qualità 2 quando il segnale è decrescente e compreso tra L_2 e L_1 (cioè quando l'utente è in Soft HO) ed è infine di qualità 3 quando il segnale è minore di L_2 . Si suppone che le MS uscenti da una cella continuino il movimento nella stessa direzione, cioè si avvicinino alla NewBS e si allontanino dalla OldBS, fino al rilascio del collegamento con quest'ultima. Pertanto a ciascun livello di qualità è associabile uno stato ed il passaggio da uno stato all'altro è mostrato in figura III.2. Il tempo di permanenza di un utente nello stato i -mo (associato al livello di qualità i , con $i = 1,2$) si è supposto avere distribuzione esponenziale negativa con opportuno tempo medio.

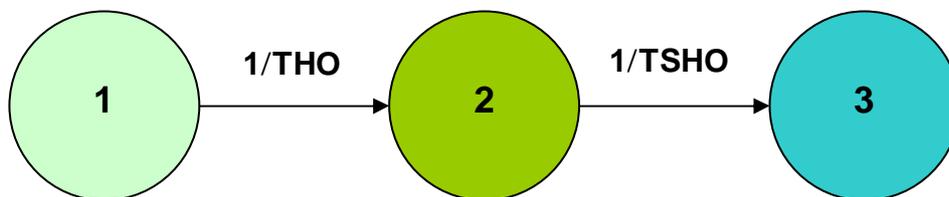


Figura III.2 Transizioni tra gli stati associati ai possibili livelli di qualità di un collegamento MS-BS.

L'appartenenza di un utente allo stato 1 rappresenta il fatto che esso è servito da una sola BS e non è in HO. L'ingresso nello stato 2 corrisponde all'inizio della fase di Soft HO, mentre quello nello stato 3

corrisponde al termine della suddetta fase cioè al rilascio della vecchia sottoportante ed alla terminazione del collegamento con la vecchia BS. Si osservi che il tempo di permanenza nello stato 3 è costante e pari al tempo necessario all'utente ad effettuare il suddetto rilascio.

Molto importanti sono i parametri *Time of HO* (**THO**) e *Time of Soft HO* (**TSHO**) che sono, rispettivamente, il tempo medio di permanenza nello stato 1 e quello di permanenza nello stato 2. I tempi di permanenza in questi due stati sono distribuiti con legge esponenziale negativa:

$$f_1(t) = \frac{1}{\text{THO}} e^{-t/\text{THO}} \quad (3.1)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{\text{TSHO}} e^{-t/\text{TSHO}} \quad (3.2)$$

In particolare il THO è il valore medio dell'intervallo di tempo per cui un generico collegamento è di qualità 1, cioè è il tempo in cui il segnale che l'utente riceve dalla propria BS servente è superiore alla soglia L_1 . Pertanto esso è l'intervallo medio di tempo tra due successive richieste di HO effettuate da una MS. Tale parametro, come è facile intuire, è strettamente legato al grado di mobilità degli utenti: un aumento di tale grado di mobilità provoca, infatti, una diminuzione di THO.

In figura III.3 è mostrata la schematizzazione di due celle adiacenti. Si definisce *cella base* della BS_j la regione all'interno della quale una MS si trova più vicina a tale BS piuttosto che alle altre (in figura è la cella i -ma esagonale). Si definisce invece *cella estesa* l'area entro cui il segnale della BS_j è superiore alla soglia minima fissata (soglia L_2), cioè è tale da mantenere attivo il collegamento (cella i -ma circolare in figura).

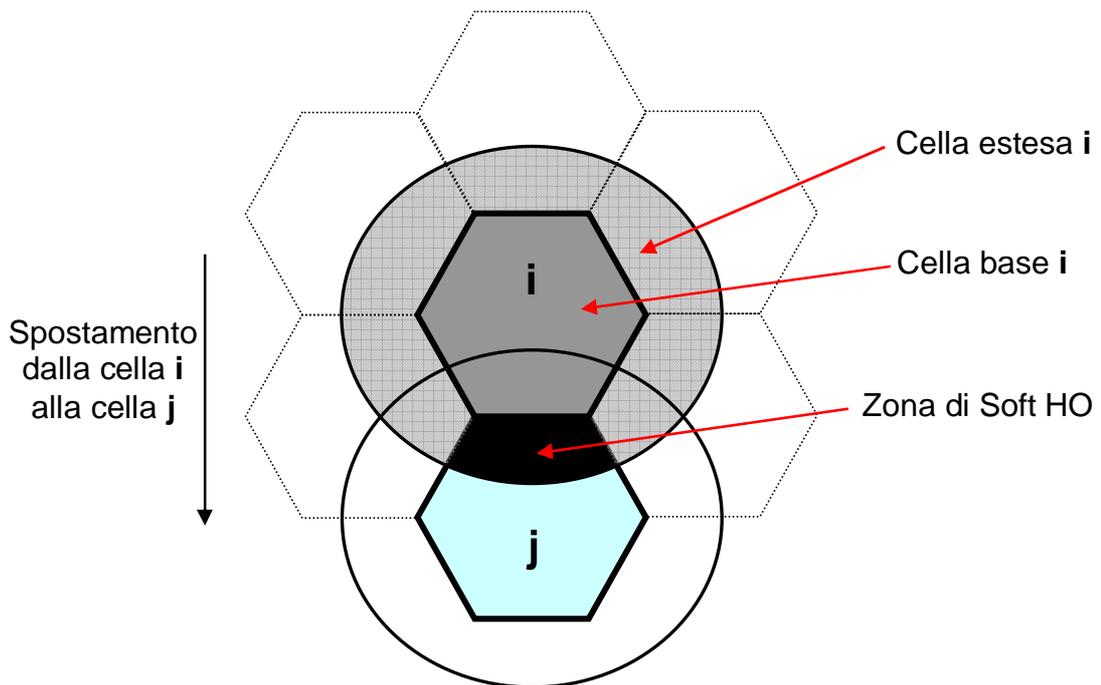


Figura III.3 *Cella base e cella estesa per la BS_i e la BS_j (la regione annerita è la zona di Soft HO).*

Si supponga che un utente si trovi nella cella base *i*-ma (OldBS) e si stia muovendo verso la cella *j*-ma (NewBS). La richiesta di HO, cioè l'invio del flag HB alla cella *j*-ma, non viene effettuata quando l'utente entra nella cella estesa della NewBS, ma viene effettuata solo quando il nuovo segnale è ricevuto più intensamente di quello vecchio.

Con riferimento alla figura III.3, ricordando che THO è stato definito come il tempo medio tra due successive richieste di HO effettuate da un utente e osservando che tali richieste vengono fatte quando esso esce dalla cella base da cui è servito, risulta evidente che THO è pari al tempo medio di permanenza del generico utente all'interno di una cella base. Il parametro TSHO, invece, è stato definito come il tempo medio per cui il

collegamento con la OldBS è di qualità 2. Pertanto, riferendoci nuovamente allo spostamento dell'utente dalla BS i -ma a quella j -ma mostrato in figura III.3, il TSHO equivale al tempo medio di soggiorno della generica MS nella zona di Soft HO e quindi al tempo durante il quale la MS dispone di due collegamenti.

Osserviamo che il THO è influenzato dal TSHO. Infatti è come se venisse imposto un tempo minimo di permanenza nella cella base pari al tempo per cui l'utente si trova nella zona di Soft HO (TSHO). Cioè un utente in HO sosterrà complessivamente un tempo tanto maggiore nella NewBS quanto maggiore è il tempo di Soft HO, in quanto durante questo tempo esso si trova già all'interno della nuova cella base.

Il rapporto TSHO/THO dipende dal rapporto tra l'area della zona di Soft HO e l'area della cella base e quindi è un parametro di progetto. In sede di analisi delle simulazioni si vedrà come le prestazioni del sistema sono influenzate dalla variazione di tale rapporto e dal differente grado di mobilità degli utenti, rappresentato da variazioni del THO.

III.3 Uso del Soft HO nel downlink

Riassumiamo rapidamente alcuni risultati ottenuti nel lavoro [1]. In tale lavoro è stata utilizzata una procedura di HO di tipo Soft e ciò, rispetto al caso di Hard HO, ha introdotto dei miglioramenti. Tuttavia tali miglioramenti riguardano esclusivamente la trasmissione di uplink in quanto per l'assegnazione dei time slots di downlink ad un utente in HO non viene in alcun modo sfruttata l'area di sovrapposizione esistente tra celle adiacenti. Infatti quando un utente è in Soft HO, cioè possiede due

sottoportanti di segnalazione, esso non ha la possibilità di ricevere i pacchetti da entrambe le BS. In altri termini, durante un Soft HO, un utente può ricevere i pacchetti sul nuovo collegamento soltanto dopo che la vecchia BS ha trasmesso tutti i pacchetti presenti nel suo buffer di ricezione oppure dopo che il vecchio collegamento è stato rilasciato. Pertanto un utente in HO non sfrutta, relativamente al canale di downlink, il fatto di possedere due collegamenti e ciò influenza pesantemente le prestazioni complessive. I risultati finali del lavoro [1], infatti, hanno mostrato che con un valore limite di percentuale media di pacchetti persi (*packet dropping target*) dell'1%, è possibile gestire, in ciascuna cella, un massimo di 7 utenti in movimento. In altre parole, anche se con l'introduzione del Soft HO la trasmissione sull'uplink avviene in modo più efficiente, è comunque il downlink a peggiorare le prestazioni complessive del sistema. La nuova procedura di Soft HO proposta nel presente lavoro, si pone l'obiettivo di uniformare il più possibile il traffico gestito dalle BS e di sfruttare, anche relativamente alle assegnazioni dei time slots di downlink, l'esistenza di un doppio collegamento durante il Soft HO. Ciò, a parità di percentuale media di pacchetti persi, dovrebbe portare ad un incremento del numero massimo di utenti mobili che una cella è in grado di gestire e ad una diminuzione del ritardo medio globale subito dai pacchetti.

Descriviamo adesso l'algoritmo che consente ad una MS in Soft HO di sfruttare i due collegamenti di cui dispone per le assegnazioni dei downlink slots. Esso consiste di più parti ed il seguito del paragrafo è dedicato alla loro analisi.

III.3.1 Inizializzazione di un utente in Soft HO

Non appena una MS x in fase di Hand Over entra in una zona di Soft HO essa, oltre al collegamento con la BS da cui sta uscendo (OldBS) viene dotata di un collegamento con la BS in cui sta entrando (NewBS). Durante il periodo di Soft HO, quindi, l'utente possiede due sottoportanti di segnalazione. Quando ciò accade, la OldBS crea una copia del buffer di ricezione in essa contenuto e associato alla MS x e la invia, attraverso un collegamento su fibra ottica, alla NewBS. Da questo istante e per l'intera durata del Soft HO, i buffer di ricezione delle due BS (relativi alla MS x) conterranno gli stessi pacchetti. La OldBS non viene disabilitata ad assegnare alla MS x i time slots di downlink, mentre la NewBS viene abilitata ad eseguire tale operazione. Pertanto, durante il corso del Soft HO, l'utente in questione potrà ricevere le assegnazioni dei downlink slots da entrambe le BS e quindi avrà una probabilità maggiore di ricevere i pacchetti. Quanto appena detto è riepilogato nel grafo di flusso di figura III.4.

Osserviamo che nel presente lavoro non si è studiata la tecnica con cui una BS crea la copia di un pacchetto. Ciò risulta comunque possibile grazie alla natura digitale del pacchetto ed inoltre richiede un tempo trascurabile dato il limitato numero di bits informativi che occorre duplicare (424).

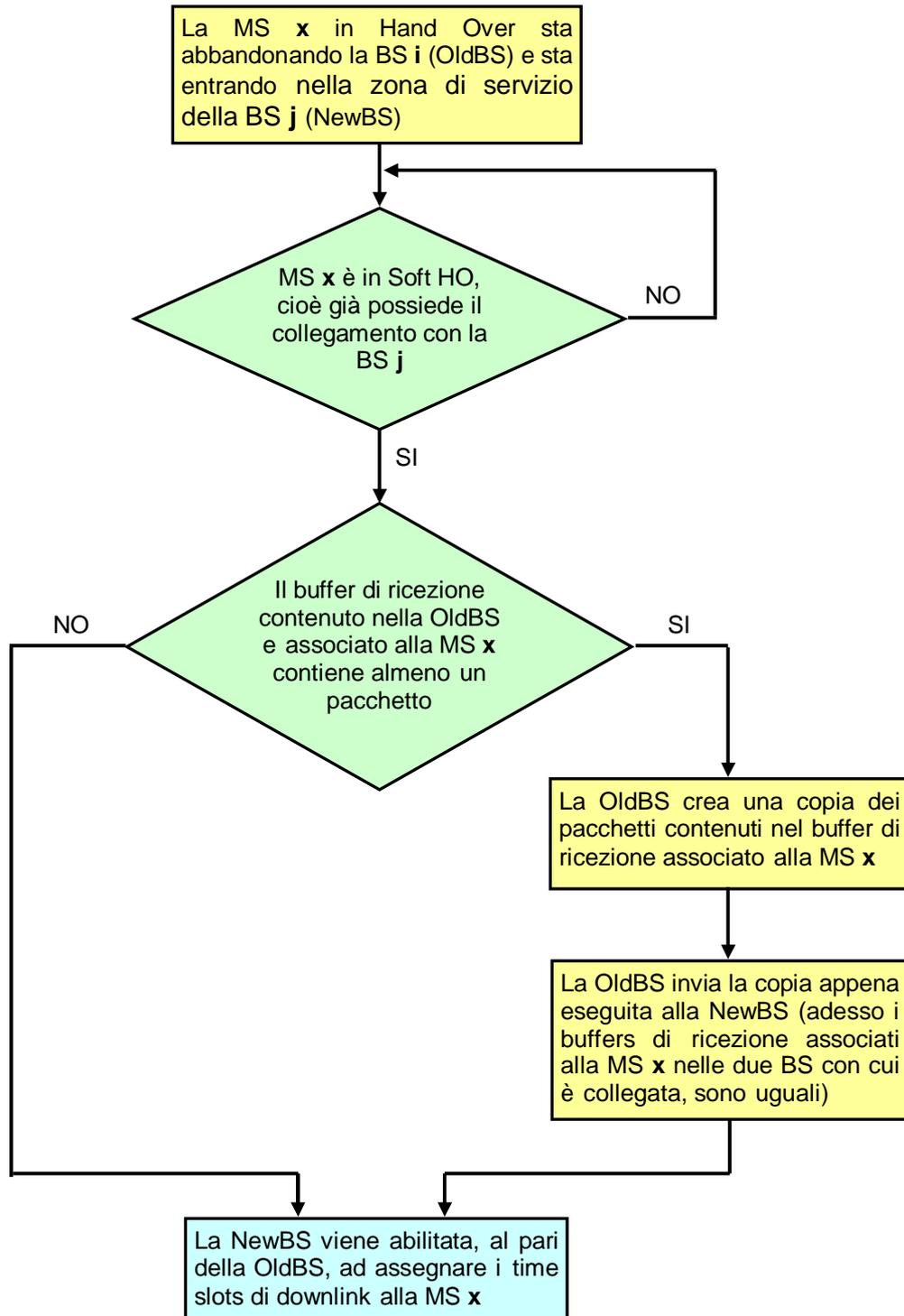


Figura III.4 Grafo di flusso semplificato della fase di inizializzazione di un utente in Soft HO.

III.3.2 Trasmissione verso una MS in Soft HO

Supponiamo che ad una MS (MS y) sia assegnato un certo uplink slot. Durante tale time slot la MS y invia alla propria BS servente (BS i) un pacchetto destinato alla MS x (pacchetto p). Non appena il pacchetto giunge alla BS i essa, attraverso un collegamento su fibra ottica, lo invia alla BS da cui la MS x è servita (BS j).

Si suppone che la MS x sia in Soft HO cioè che, oltre al collegamento con la BS j (NewBS), posseda anche un collegamento con la BS I (OldBS). In tal caso la BS j , che ha già ricevuto il pacchetto p , crea una copia di tale pacchetto e la invia all'altra BS con cui la MS x è collegata (BS I). Ricevuto il pacchetto, la BS I provvede ad inserirlo in coda al buffer di ricezione associato alla MS x . Tutto ciò è descritto dal grafo di flusso di figura III.5.

Supponiamo adesso che, durante il downlink slot assegnato alla MS x , la BS I (OldBS) invii a tale MS un pacchetto p . Contemporaneamente a tale invio, la BS I comunica alla BS j (NewBS) alcuni dati relativi al pacchetto appena inviato (informazioni che identificano univocamente il pacchetto).

Ricevute queste informazioni, la BS j identifica il pacchetto e controlla se esso è contenuto nel suo buffer di ricezione associato alla MS x .

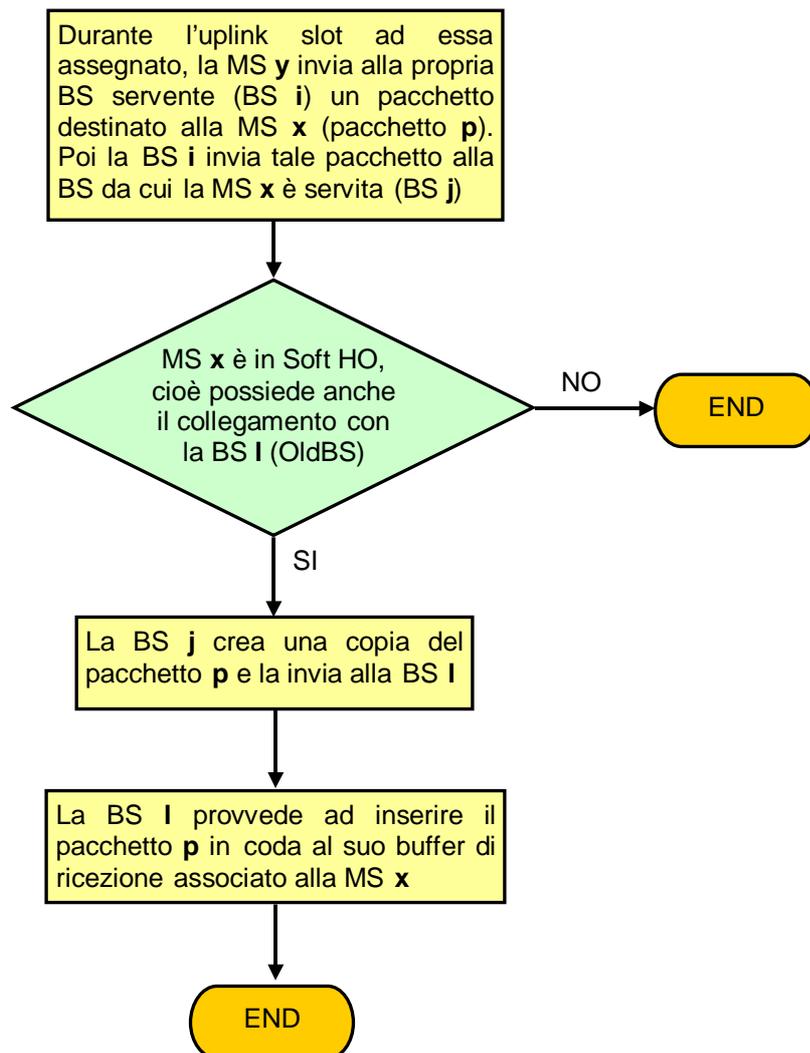


Figura III.5 Grafo di flusso semplificato della trasmissione di un pacchetto verso una MS in Soft HO (uplink).

Qualora il pacchetto p fosse contenuto anche nel buffer della BS j , tale BS provvede ad eliminarlo. Ciò è mostrato in figura III.6 e serve ad evitare che la MS x riceva due volte uno stesso pacchetto e a garantire l'assenza di pacchetti "fuori sequenza".

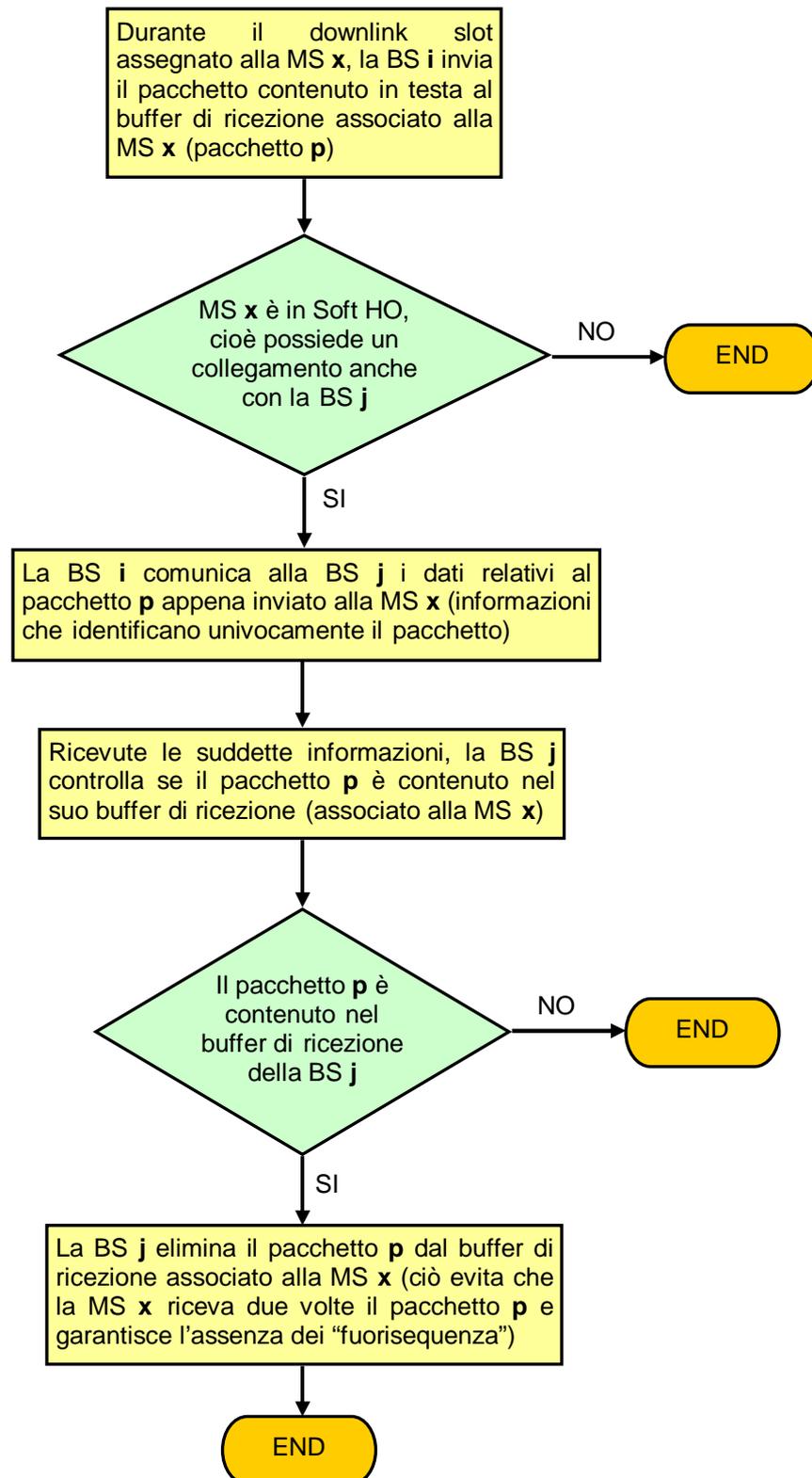


Figura III.6 Grafo di flusso semplificato della trasmissione di un pacchetto verso una MS in Soft HO (downlink).

III.3.3 Eliminazione delle celle perse

Se una cella non giunge a destinazione entro 30 ms dalla sua generazione, viene considerata persa e quindi deve essere eliminata da tutti i buffers che la contengono.

Supponiamo che nel buffer di ricezione posto nella BS *i* e associato alla MS *x* sia presente un pacchetto il cui tempo di vita superi i 30 ms. In tal caso la BS *i* elimina questo pacchetto dal proprio buffer, in modo che esso non sia successivamente inviato alla MS *x*. Il pacchetto appena eliminato dalla BS *i* viene considerato perso e quindi viene incrementata di uno la variabile “**Lost_packet**” ad indicare che è stato perso un ulteriore pacchetto.

Qualora la MS *x* sia in Soft HO cioè posseda un collegamento anche con la BS *j*, la BS *i* invia alla BS *j* alcune informazioni che identificano univocamente la cella appena eliminata. Ricevute queste informazioni, la BS *j* verifica se nel suo buffer di ricezione sia presente il pacchetto in questione e, nel caso dovesse trovarlo, provvede alla sua eliminazione. In tal caso, però, non viene incrementata la variabile “**Lost_packet**” in quanto la perdita del pacchetto in esame è già stata conteggiata e sarebbe un errore conteggiarla di nuovo. Quanto detto è riassunto nel grafo di flusso mostrato in figura III.7.

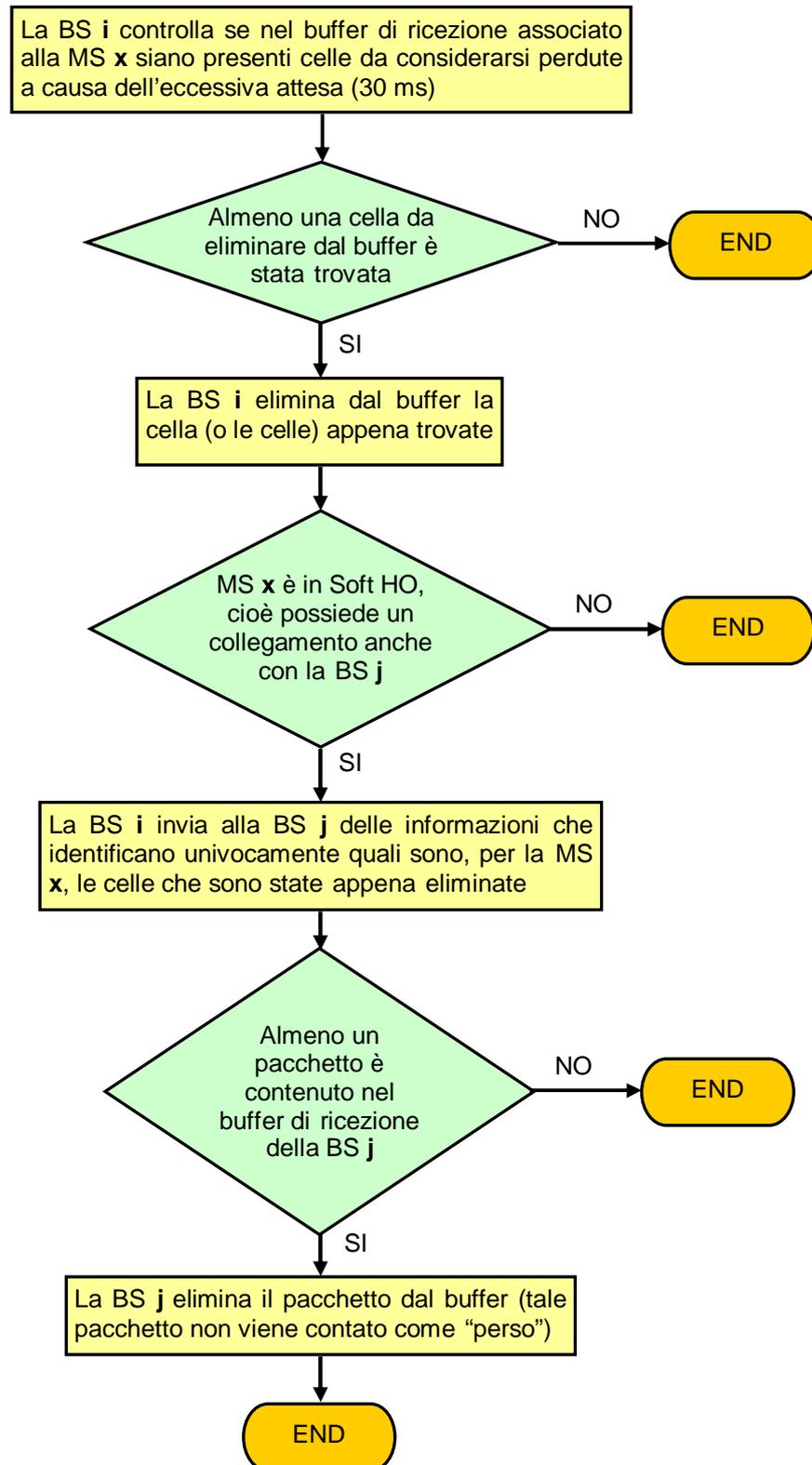


Figura III.7 Grafo di flusso semplificato della eliminazione delle celle perse dirette verso una MS in Soft HO.

III.3.4 Sequenzialità delle celle

Una MS in Soft HO riceve i pacchetti da entrambe le BS con cui è collegata. Ribadiamo che non esiste la possibilità che tale MS riceva i pacchetti non in sequenza, in quanto l'algoritmo adottato prevede che una BS, non appena ha inviato una cella verso l'utente in Soft HO, comunica all'altra BS l'avvenuta trasmissione del pacchetto consentendo ad essa di eliminare dal suo buffer tale pacchetto.

Si osservi inoltre che l'eliminazione della cella dal buffer di ricezione dell'altra BS, impedisce che quest'ultima possa inviare all'utente una cella che esso ha già ricevuto cioè rende impossibile che una MS in Soft HO riceva due volte uno stesso pacchetto informativo.

III.4 Algoritmo di Hand Over

Come già anticipato, per iniziare un Hand Over un utente trasmette alla NewBS il flag *HB* per comunicare l'HO entrante. Mediante questa unica informazione di segnalazione la NewBS è in grado di determinare la BS di provenienza e l'identificativo dell'utente, che sono informazioni necessarie per poter acquisire il profilo di utente dalla OldBS.

Secondo la tecnica descritta in [3], ogni utente trasmette il proprio flag di segnalazione su una sottoportante distinta, cioè su un sottocanale OFDM dedicato (slot di segnalazione). Lo slot di segnalazione viene temporalmente suddiviso in un numero di *minislots* pari al numero di celle componenti il cluster (7 nel sistema considerato). Ciascun minislot, escluso il numero 0, è univocamente associato ad una BS e ciò consente

di individuare senza ambiguità la BS da cui proviene la segnalazione trasmessa dall'utente. Pertanto la MS utilizza il minislot 0 se deve trasmettere alla propria BS servente la segnalazione per l'accesso alla risorsa (flag SB); se invece la MS deve trasmettere il flag di HO alla NewBS (flag HB), essa utilizza il minislot associato alla NewBS. Quindi, la BS che riceve il flag di HO potrà individuare la BS di provenienza dell'utente osservando in quale minislot si trova il flag. Ad ogni HO varierà naturalmente l'associazione tra minislots e celle, seguendo un fissato criterio di orientamento delle celle adiacenti a quella servente, relativamente a quest'ultima. Nell'ambito del minislot è la moltiplicazione in frequenza che consente alla BS di individuare l'utente che trasmette il flag. Per tale trasmissione la MS deve utilizzare la sottoportante i -ma nella banda della NewBS se è associato alla sottoportante i -ma nella OldBS (si ricorda che celle diverse dello stesso cluster utilizzano bande differenti). La NewBS, una volta identificata la cella di provenienza dal minislot utilizzato, può facilmente riconoscere l'utente entrante, essendo quello che nella OldBS è associato all'identificativo della sottoportante su cui è stato ricevuto il flag (ad esempio la sottoportante i -ma).

Si sottolinea che il sistema di segnalazione di HO entrante appena descritto non presenta la possibilità di conflitti tra le diverse richieste. Naturalmente, può accadere che la richiesta non possa essere soddisfatta a causa della mancanza di sottoportanti libere nella cella in cui l'utente in HO sta entrando e ciò causa la caduta della comunicazione.

Lo status di una sottoportante di segnalazione può essere: "*libera*", "*non libera*" e "*prima libera*". La NewBS, se possiede almeno una sottoportante non utilizzata, assegna all'utente in HO quella definita come "*prima libera*". Quando un utente rilascia la sottoportante (spontaneamente o a causa del fallimento di un HO), è questa che diventa la "*prima libera*". In tal modo la BS non deve effettuare la ricerca di una

sottoportante libera ad ogni richiesta di HO, ma la effettua preventivamente e ciò consente di velocizzare le assegnazioni.

Il modo in cui la NewBS comunica all'utente in HO l'identificativo della sua nuova sottoportante prevede la presenza di una struttura a **multitrama**, con trasmissione al termine di ogni multitrama di una Broadcast Cell avente lo scopo di gestire l'associazione tra utenti in HO e sottoportanti, chiamata *Broadcast Cell per la Gestione delle Sottoportanti (BCGS)*.

Durante l'intera durata di una multitrama le associazioni tra utenti attivi e sottoportanti sono fisse; nel corso dello slot numero 30 dell'ultima trama, la BS trasmette la BCGS contenente, per ogni sottoportante disponibile nella cella, l'identificativo dell'utente che la utilizzerà nella multitrama successiva. Se la BS ha ricevuto una richiesta di HO nel corso della multitrama, o intende effettuare una variazione nelle assegnazioni delle sottoportanti a causa di comunicazioni terminate, tale BCGS trasporterà nuova informazione, altrimenti essa sarà uguale a quella trasmessa al termine della multitrama precedente.

Per quanto riguarda le trame che un utente in HO deve attendere a causa della periodicità con cui vengono effettuate le nuove assegnazioni, si è supposto che la NewBS riceva il profilo dell'utente dalla OldBS due trame dopo che la MS ha trasmesso il flag *HB* e che, prima del trentesimo slot della trama successiva, la BS sia in grado di generare la BCGS contenente la nuova assegnazione; questa verrà quindi trasmessa almeno tre trame dopo che è stato inviato il flag. La BCGS trasmessa al termine della multitrama considerata soddisfa le richieste effettuate entro la trama numero 7; quelle delle ultime tre trame saranno soddisfatte dalla BCGS successiva. L'utente potrà utilizzare la nuova sottoportante a partire dalla prima trama della multitrama seguente, con un'attesa, dall'istante in cui ha trasmesso il flag, di un numero di trame variabile da 4 a 13 (1.6÷5.2 ms).

Descriviamo adesso il nuovo algoritmo di Soft Hand Over proposto nel presente lavoro:

Passo 0

La MS, quando il livello di qualità del collegamento con la OldBS diventa 2, pone ad 1 il flag *HB*.

Passo 1

La MS trasmette il flag di HO alla NewBS nel minislot e sulla sottoportante che le competono. La NewBS riceve il flag, individuando la BS di provenienza e la sottoportante utilizzata ed inoltra la richiesta del profilo di utente.

Passo 2

La NewBS riceve il profilo richiesto, che viene quindi mantenuto da entrambe le BS. Essa calcola la BCGS, associando all'utente che sta effettuando HO l'identificativo della sottoportante "prima libera". Qualora la NewBS non posseda alcuna sottoportante disponibile, l'HO è considerato fallito e la comunicazione dell'utente richiedente cade definitivamente.

Passo 3

Qualora l'HO non sia fallito, nel corso dell'ultima trama della multitrama la BCGS prima creata viene trasmessa dalla NewBS.

L'*Home Location Register* (HLR) relativo all'utente in HO viene modificato con l'identificativo della NewBS.

La MS può ancora trasmettere il flag di segnalazione *SB* solamente verso la vecchia BS.

Passo 4

La MS in HO riceve la BCGS e quindi l'identificativo della sottoportante assegnatagli dalla NewBS (prima trama della multitrama). A partire da questa trama la MS trasmette il flag di segnalazione *SB* verso entrambe le BS, sulle sottoportanti a sua disposizione e, inoltre, è in grado di ricevere i pacchetti da entrambe le BS con cui è collegata. Essendo stato precedentemente modificato l'HLR, i nuovi pacchetti diretti all'utente vengono instradati nel buffer di ricezione della NewBS. Essa, di volta in volta, crea una copia di tali pacchetti e la invia al buffer di ricezione della OldBS (in questa fase i buffers di ricezione delle due BS contengono, relativamente all'utente in HO, gli stessi pacchetti).

Passo 5

La MS viene informata della nuova configurazione delle frequenze che dovrà utilizzare durante la permanenza all'interno della nuova cella. Essa è servita da entrambe le BS fino a quando la qualità del collegamento con la OldBS rimane 2; infatti può trasmettere i pacchetti sui due collegamenti, ed anche la ricezione avviene su entrambi i collegamenti.

Quando il collegamento con la OldBS diventa di qualità 3, la MS rilascia la vecchia sottoportante.

Passo 6

La MS è servita esclusivamente dalla NewBS.

Si osservi che, differentemente da quanto previsto nel lavoro [1], esiste la possibilità che un HO fallisca dando luogo alla caduta della comunicazione. A fronte di tale possibilità, c'è però la garanzia che nessun pacchetto possa essere perso a causa di HO e ciò è dovuto al fatto che i

pacchetti diretti verso un utente in Soft HO, vengono instradati verso entrambe le BS con cui esso è collegato.

Comunque, nel tentativo di ridurre la probabilità di fallimento di un HO, si è deciso di riservare un certo numero **N** di sottoportanti di ciascuna cella proprio agli utenti in HO. All'aumentare della mobilità degli utenti diminuisce il THO e ciò causa un incremento del numero di richieste di HO. Tale incremento, come sarà evidenziato nel prossimo capitolo, tende a ridurre l'effetto che le **N** sottoportanti riservate hanno sulla diminuzione dei fallimenti di HO.

Capitolo IV

Risultati delle simulazioni

Il presente capitolo mostra i risultati ottenuti simulando il comportamento del sistema radiomobile descritto nei precedenti capitoli. Il primo paragrafo descrive i modelli utilizzati per la generazione del traffico da parte degli utenti video e voce. Il secondo paragrafo descrive i parametri del canale e di mobilità considerati. Il terzo paragrafo analizza i risultati ottenuti in presenza di utenti esclusivamente di tipo video. Il quarto paragrafo illustra gli effetti prodotti dall'aggiunta di utenti di tipo voce.

IV.1 Modelli utilizzati per gli utenti

In questo paragrafo vengono sintetizzate le principali caratteristiche dei modelli per gli utenti video e voce utilizzati nelle simulazioni. Tali modelli sono stati proposti in [2,11] ed impiegati anche in [1]. In questo studio si sono mantenuti gli stessi modelli per poter confrontare i risultati.

Nel presente lavoro si sono effettuate simulazioni del comportamento del sistema in ambiente multimediale, considerando solamente la presenza di utenti di tipo video e voce. Le sorgenti dati, infatti, presentano requisiti di ritardo molto meno stringenti rispetto a sorgenti video e voce, e quindi non sono state oggetto di simulazione.

IV.1.1 Modello per utenti di tipo video

La generazione di pacchetti informativi da parte delle sorgenti video è simulata utilizzando un modello di Markov. Tale modello risulta adatto per riprodurre caratteristiche come picchi di generazione e assicura una migliore riproduzione della correlazione a lungo termine al costo di una perdita nella risoluzione con cui vengono rappresentate le caratteristiche a breve termine. Il modello adottato simula il comportamento del codificatore **ITU H.263** ed è costituito da una catena composta da 20 stati. Il tempo di soggiorno nel generico stato della catena si suppone essere costante e pari alla durata di un *video-frame* (33 ms); le transizioni sono possibili tra tutti gli stati e le probabilità di transizione sono definite in una opportuna matrice.

Nel presente lavoro le simulazioni relative ad utenti video si sono effettuate utilizzando esclusivamente la sequenza "Suzie" a 3 *Mbps* che è codificata secondo lo standard H.263 e rappresenta il caso peggiore. In questo filmato è mostrata una donna che parla al telefono; inizialmente si osserva solo un limitato movimento delle labbra, poi la donna si ferma e, bruscamente, volta la testa. Dal punto di vista del modello, questo filmato corrisponde a restare per numerosi video-frames in stati a bassa generazione, per poi passare repentinamente agli stati ad elevata generazione. Il valore medio del bit rate è molto vicino a 3 *Mbps* ed il valore di picco risulta di 4.35 *Mbps* [2]. Il tipo di generazione di questa sequenza rappresenta una situazione piuttosto realistica di comunicazione tra utenti e risulta problematica per lo schema di accesso perché la generazione è vicina al valore di picco per alcuni video-frames consecutivi.

IV.1.2 Modello per utenti di tipo voce

Gli utenti di tipo voce sono caratterizzati da un bit rate molto ridotto al più pari a 64 *kbps* nel PCM non codificato. Nelle simulazioni si è scelto di utilizzare il **22.8 *kbps* GSM codec**, che è in grado di generare il payload di una cella-ATM (384 *bits*) in un tempo medio di 16.8 *ms* ($384/22800 = 16.8$).

Le sorgenti voce sono state modellate mediante una catena di Markov a due stati: 1) “talking-state” e 2) “silence-state”, rispettivamente associati alle fasi caratteristiche del segnale vocale, *talkspurt* e *silence-gap*; nel “talking-state” i bits sono generati a velocità costante, mentre nel “silence-state” non viene generato alcun bit. Il tempo di soggiorno in ciascuno stato è supposto avere distribuzione esponenziale negativa con valore medio rispettivamente pari a $t_1 = 1.0$ s e $t_2 = 1.35$ s.

IV.2 Parametri del sistema

I requisiti di ritardo e di perdita di pacchetto delle sorgenti voce e video interattive sono molto stringenti. Il ritardo massimo subito dai pacchetti deve essere tale da garantire la non percezione del ritardo stesso ed il valore limite di perdita di pacchetto (*packet dropping target*) deve assicurare una accettabile qualità della comunicazione. Nelle simulazioni si è posto il ritardo massimo pari a **30 *ms*** (superato il quale i pacchetti vengono considerati persi e quindi eliminati) ed il *packet dropping target* pari all'**1%**. Le prestazioni del sistema si sono valutate in

termini di percentuale media di pacchetti persi e di ritardo medio subito dai pacchetti.

Osserviamo che il canale analizzato nel presente studio non è quello di MEDIAN. Infatti in MEDIAN lo channel rate determina una trama di durata pari a $180 \mu s$ ed, essendo necessaria la simulazione di almeno 80 s di comunicazione reale per ottenere risultati statisticamente validi, utilizzando tale trama sarebbe richiesto un eccessivo tempo di calcolo. Quindi, si è scelto uno channel rate utile di $68 Mbps$; poiché le trame sono composte da 64 time slots e la cella-ATM è di $424 bits$, si ottiene una durata di trama di $400 \mu s$ ($424 \cdot 64 / 68 \cdot 10^6 = 400 \mu s$). Nella tabella IV.a sono elencati i valori di tutti i parametri del canale utilizzato nelle simulazioni, confrontati con quelli di MEDIAN.

PARAMETRO	VALORE	MEDIAN
Frame Duration	$400 \mu s$	$180 \mu s$
Slot per Frame	64	64
Slot Duration	$6.25 \mu s$	$3 \mu s$
Minislot Duration	$893 ns$	$428 ns$
Net Packet Size	$424 bits$	$424 bits$
Global ATM Channel Rate	$68 Mbps$	$150 Mbps$
Gross Packet Size	$1024 bits$	$568 bits$
Global Channel Rate	$163 Mbps$	$189 Mbps$
User Information Payload	$384 bits$	$384 bits$
User Information Global Channel Rate	$61.44 Mbps$	$128 Mbps$
ATM Channel Rate	1.0625	$2.355 Mbps$
User Payload Channel Rate	$0.96 Mbps$	$2.133 Mbps$

Tabella IV.a Parametri del canale utilizzato per le simulazioni confrontati con quelli di MEDIAN.

Precisiamo che si sono simulati 3 minuti di comunicazione reale corrispondenti a 450000 trame e che ciascun risultato è stato ottenuto dalla media di più simulazioni dello stesso tipo.

Si è supposto che tutti gli utenti attivi presenti nel sistema abbiano le stesse caratteristiche di mobilità e, come già anticipato nel Cap.III, i parametri introdotti per caratterizzare la mobilità del generico utente sono il THO ed il TSHO. Si è analizzato il comportamento del sistema per differenti valori del rapporto TSHO/THO, che è un parametro di progetto dal quale dipende l'area di sovrapposizione tra le celle adiacenti. Fissato questo rapporto, il valore di THO è scelto in modo da soddisfare la seguente relazione:

$$\mathbf{THO + TSHO = \frac{1}{PHO}} \quad (4.1)$$

dove **PHO** è definito come la probabilità che l'utente i -mo durante la trama j -ma ponga ad uno il flag di HO ("Probabilità di HO"); l'inverso di questo parametro può essere considerato pari al numero medio di trame di permanenza di un utente all'interno di una cella. Se considerassimo $\mathbf{THO = 1/PHO}$ non sarebbe corretto, in quanto il TSHO non è trascurabile rispetto al THO e quindi influenza il tempo di soggiorno nella cella. L'impiego della (4.1) rende praticamente costante il numero di HO realizzati nelle simulazioni.

Per garantire il completamento di una procedura di HO prima del successivo HO, si è imposto che un utente debba rimanere nella zona di Soft HO per un tempo almeno pari a 15 trame.

Osserviamo che nelle simulazioni gli utenti mobili non sono sempre "attivi" in quanto è previsto che una comunicazione possa terminare. Infatti una coppia di utenti può cessare la comunicazione sia spontaneamente

sia per il fallimento di un HO. Per semplicità si è simulato il comportamento di due celle ed inoltre si sono ipotizzati trascurabili i ritardi di trasferimento dell'informazione tra le BS, essendo i collegamenti tra esse in fibra ottica.

IV.3 Risultati per utenti di tipo video

Lo studio del sistema [1], in cui la presenza del Soft HO è sfruttata esclusivamente per l'assegnazione del canale di uplink, ha condotto al seguente risultato: con un packet dropping target dell'1% il sistema è in grado di gestire al massimo 7 utenti video per BS (sequenze "Suzie" a 3 Mbps). In questo paragrafo si confronterà il suddetto risultato con quello ottenuto mediante il nuovo sistema proposto, descritto nei capitoli precedenti.

Inizialmente si considera il seguente rapporto tra i parametri di mobilità Time of Soft HandOver (TSHO) e Time of HandOver (THO):

$$\frac{\mathbf{TSHO}}{\mathbf{THO}} = \frac{1}{4} \quad (4.2)$$

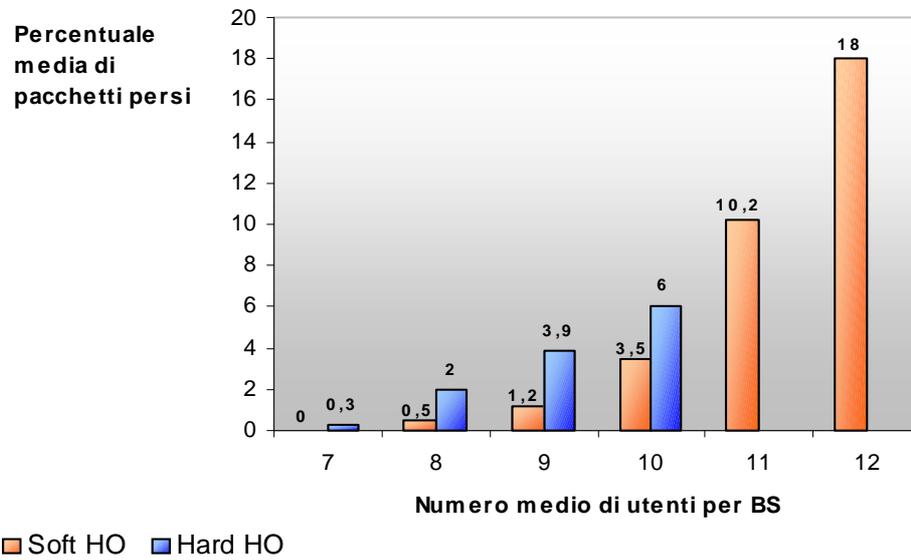
La (4.2) equivale ad ipotizzare che, mediamente, ogni utente disponga del collegamento con due BS per un tempo pari ad un quarto del tempo per cui possiede un unico collegamento.

I primi risultati che vengono riportati sono relativi al caso in cui $\mathbf{THO} = 5334$ e $\mathbf{TSHO} = 1333$ trame, cioè al caso in cui $\mathbf{PHO} = 1.5 \cdot 10^{-4}$. Questa

è la condizione di mobilità più bassa tra quelle considerate e, come sarà evidenziato in seguito, costituisce il caso peggiore.

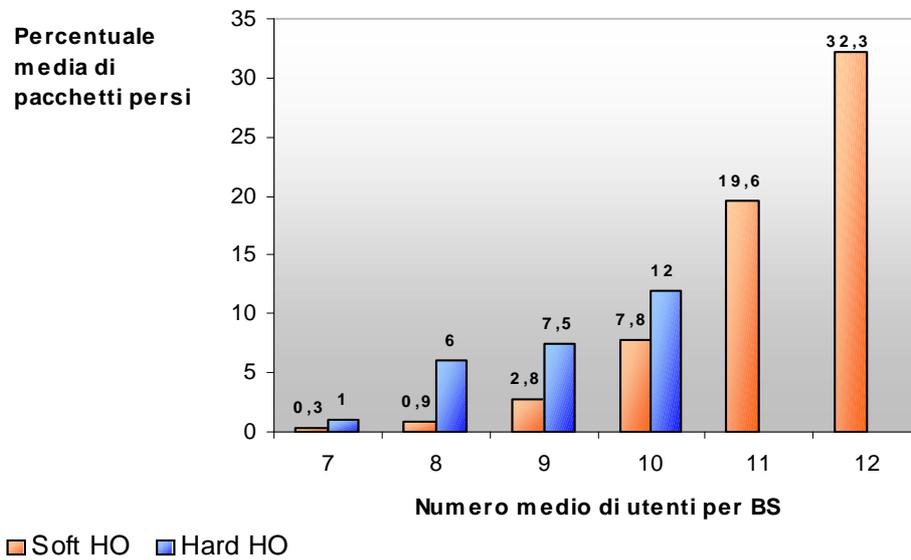
Gli istogrammi mostrati in figura IV.1 illustrano i valori della percentuale media di pacchetti persi al variare del numero medio di utenti video per cella; in particolare nella parte (a) sono riportati i risultati relativi al solo canale di uplink, mentre nella parte (b) quelli relativi alla totalità del collegamento ottenuti con il nuovo algoritmo di Soft HO, che prevede lo sfruttamento della zona di sovrapposizione anche per le assegnazioni del canale di downlink.

PRIMA DELLA TRASMISSIONE SUL CANALE DI UPLINK



(a)

INTERO COLLEGAMENTO



(b)

Figura IV.1 Percentuale media di pacchetti persi.

Considerando la figura IV.1.b, si osserva che il numero massimo di utenti contemporaneamente attivi che il sistema con Soft HO riesce a gestire con un packet dropping target di poco inferiore all'1%, è pari ad 8 utenti per BS. Adottando un algoritmo di tipo Hard, invece, il suddetto numero massimo scende a 7. Il miglioramento ottenuto è abbastanza significativo dal momento che, nel caso di 8 utenti per BS, il numero medio di pacchetti persi sull'intero collegamento passa circa dal 6% (Hard HO) allo 0.9% (Soft HO).

In figura IV.2 è mostrato il confronto, relativo all'intero collegamento, tra i risultati ottenuti nel lavoro [1] (Soft HO sfruttato solo in uplink) e quelli ottenuti nel presente studio (Soft HO sfruttato anche in downlink).

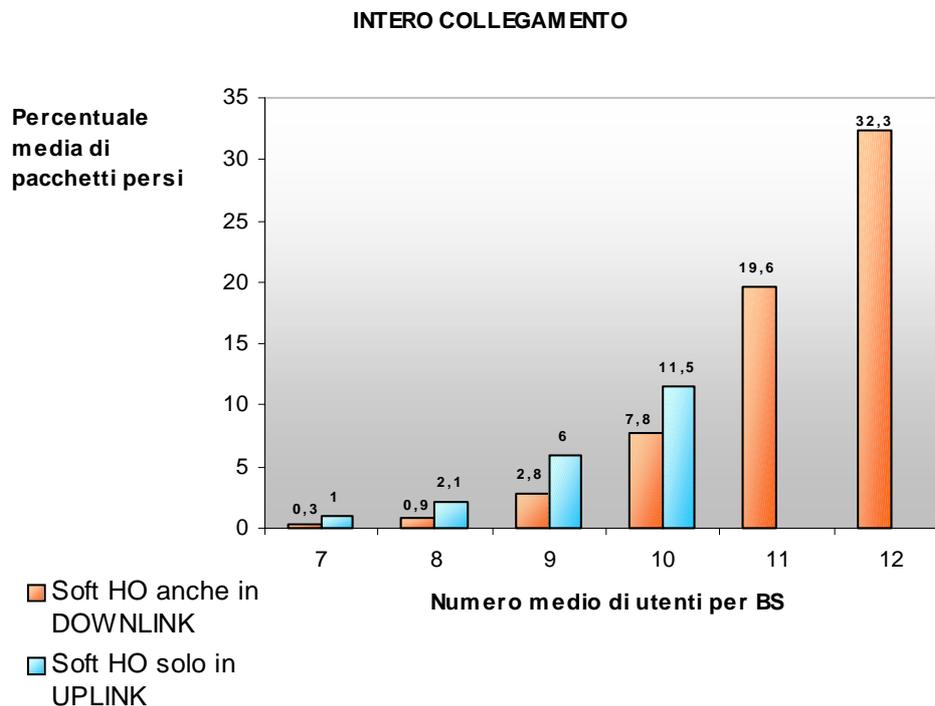


Figura IV.2 Percentuale media di pacchetti persi.

Osserviamo che con 10 utenti per cella, il packet dropping relativo al caso in cui il Soft HO è utilizzato solo in uplink risulta di poco inferiore a quello relativo al caso di Hard HO (11.5%). Nel caso in cui, invece, il Soft HO è utilizzato sia in uplink sia in downlink, il packet dropping risulta pari al 7.8%.

Si conclude, quindi, che l'introduzione della possibilità di sfruttare il Soft HO anche per le assegnazioni dei downlink slots, ha reso più omogenee le perdite di pacchetti sui due canali, cioè ha ridotto notevolmente l'influenza che le perdite sul downlink avevano sull'intero collegamento.

Inoltre sono anche state eliminate le eventuali perdite di pacchetto per HO in quanto, per un utente in Soft HO, entrambe le BS contengono i pacchetti ad esso destinati e quindi, una volta perduto il collegamento con la OldBS, i pacchetti eventualmente rimasti nel suo buffer di ricezione non saranno persi ma saranno inviati dalla NewBS.

La figura IV.3 mostra, al variare del numero medio di utenti per cella, alcuni valori del ritardo medio di trasferimento di uplink e totale.

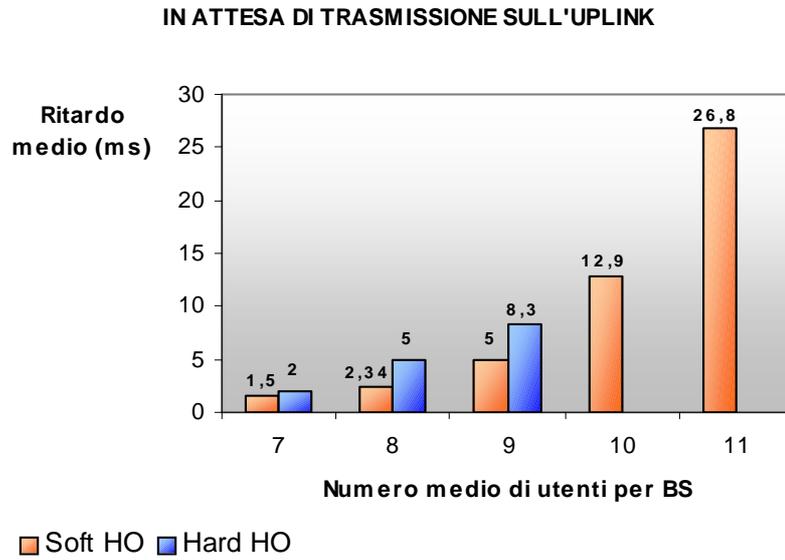
Precisiamo che nel calcolo del ritardo medio subito dai pacchetti sono stati considerati esclusivamente i pacchetti arrivati alla stazione di destinazione (la BS per l'uplink e la MS di destinazione per il collegamento totale) entro il ritardo massimo accettabile, pari a 30 ms.

Osservando la figura IV.3.b, relativa al collegamento complessivo, si nota che con 7 utenti per BS il ritardo medio che si ha nel caso di Soft HO, è circa uguale a quello ottenuto con Hard HO. Tuttavia all'aumentare del numero medio di utenti per BS, contrariamente a quanto accade in [1], risulta che il ritardo presente nel caso di Soft HO tende a diventare inferiore a quello ottenuto nel caso di Hard HO. Ciò è dovuto al fatto che, all'aumentare del numero medio di utenti in una cella, tende a divenire maggiore il numero di utenti che contemporaneamente può trovarsi in Soft

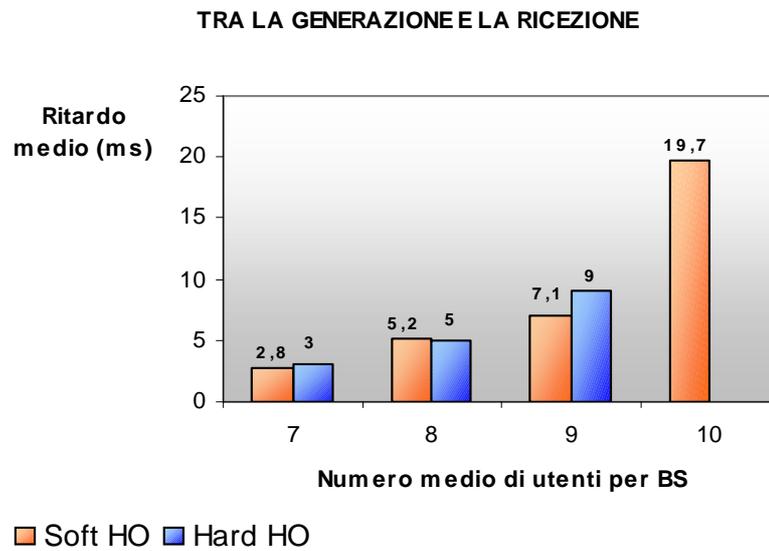
HO e quindi tende ad avere sempre più peso la presenza del Soft HO sia in uplink sia in downlink.

In definitiva risulta che, in presenza di Soft HO, sia il ritardo di uplink (figura IV.3.a) sia quello complessivo (figura IV.3.b) tendono ad aumentare al crescere del numero medio di utenti attivi nel sistema, ma già con 9 utenti per BS si mantengono inferiori rispetto al caso di Hard HO.

Si noti che in figura IV.3.b non viene considerato il ritardo medio relativo a 11 utenti per BS, in quanto esso è superiore al limite accettabile (30 ms).



(a)



(b)

Figura IV.3 Ritardo medio subito dai pacchetti.

In figura IV.4 è mostrato il confronto tra il ritardo medio totale che si ha sfruttando il Soft HO solo in uplink e quello ottenuto utilizzando il Soft HO anche in downlink.

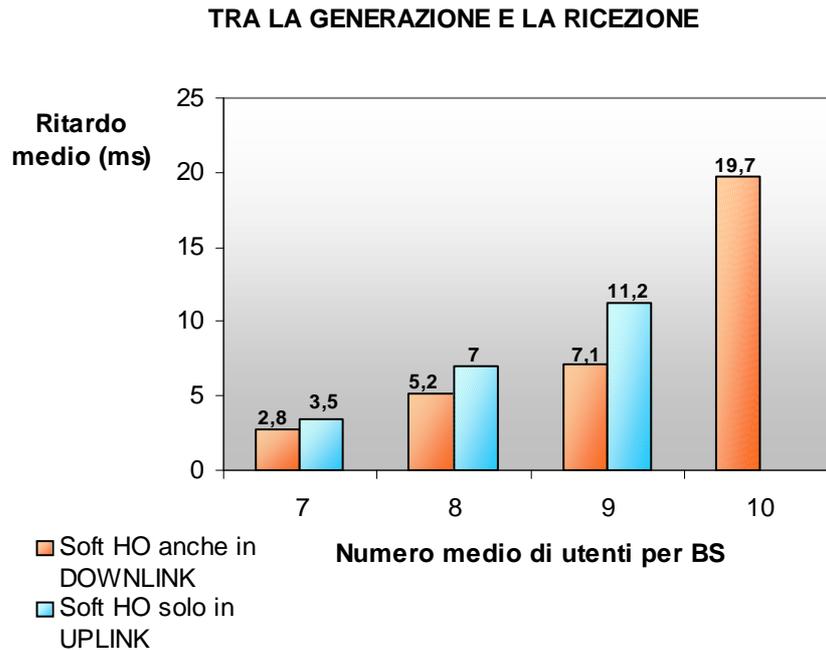


Figura IV.4 Ritardo medio subito dai pacchetti.

Come già anticipato, si osserva un apprezzabile miglioramento e ciò è dovuto al fatto che i pacchetti destinati ad una MS in Soft HO, debbono mediamente sostare nei buffers di ricezione delle BS un tempo inferiore a quello previsto in [1]. Infatti un utente in Soft HO dispone di un canale di downlink più ampio di quello utilizzabile da un utente non in Soft HO e ciò, ovviamente, ne velocizza la trasmissione verso l'utente.

In [1] il mancato sfruttamento del Soft HO per le assegnazioni del canale di downlink, costituisce il “collo di bottiglia” del sistema sia in termini di packet dropping sia in termini di ritardo medio subito dai pacchetti. Nel presente lavoro tale limite è stato superato e ciò è dimostrato dal fatto che, relativamente all'intero collegamento, con 8 utenti per BS si ottiene un packet dropping inferiore all'1% ed un ritardo medio di 5.2 ms. Nel caso di Hard HO il sistema complessivo è in grado di gestire un massimo di 14 utenti mobili di tipo video con un packet dropping target dell'1%, mentre grazie all'utilizzazione del Soft HO anche in downlink tale limite è giunto a 16.

Pertanto si conclude che l'introduzione dell'uso del Soft HO anche in downlink, ha determinato un significativo miglioramento delle prestazioni in quanto ha incrementato l'efficienza di utilizzazione del canale di downlink.

IV.3.1 Fallimenti di Hand Over

Diversamente da quanto accade in [1], nel presente lavoro è possibile che una richiesta di Hand Over fallisca e l'immediata conseguenza di tale fallimento è la caduta della comunicazione. Ciò, ovviamente, è dovuto al fatto che un utente entrante in una cella può trovare occupate tutte le sottoportanti di cui essa dispone.

Con lo scopo di ridurre la probabilità di fallimento di un HO, si è deciso di riservare agli utenti in HO un determinato numero **N** di sottoportanti disponibili in una BS.

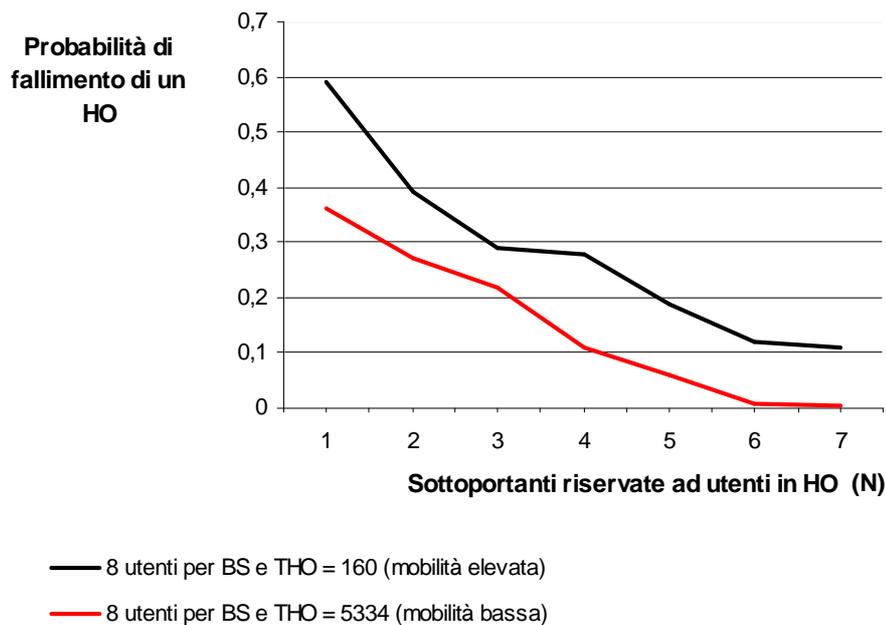


Figura IV.5 Probabilità di fallimento di HO al variare del numero di sottoportanti riservate ad utenti in HO.

Quando un utente non attivo effettua una richiesta di sottoportante, essa non viene soddisfatta fino a quando nella BS a cui è giunta la richiesta non siano presenti almeno N sottoportanti libere. In figura IV.5 è graficato, nei casi di bassa ed elevata mobilità, l'andamento della probabilità di fallimento di un HO al variare del numero N di sottoportanti riservate. Si è preso in considerazione il caso in cui in una cella siano presenti mediamente 8 utenti attivi in movimento. Osservando la figura IV.5 si nota come, effettivamente, al crescere del numero N di sottoportanti riservate scenda la probabilità che un HO fallisca. Nel caso di bassa mobilità, ad esempio, già con $N = 6$ si ottiene una probabilità di fallimento molto vicina allo zero. Si noti, inoltre, che nel caso di mobilità più elevata i valori delle probabilità sono più grandi e ciò è dovuto alla maggior frequenza delle richieste di HO.

IV.3.2 Variazione del grado di mobilità'

Finora si è considerato un particolare grado di mobilità degli utenti, cioè si è analizzato esclusivamente il caso in cui un utente effettua mediamente un HO ogni 6667 trame ($THO = 5334$ e $TSHO = 1333$, cioè $PHO=1.5 \cdot 10^{-4}$). Come già detto, tale situazione corrisponde alla mobilità più bassa che si è considerata e costituisce il caso meno favorevole. Le caratteristiche di mobilità sono sempre ipotizzate uguali per tutti gli utenti e costanti per tutta la durata della simulazione. Le variazioni del grado di mobilità si sono realizzate variando PHO , cioè variando i valori dei parametri $TSHO$ e THO . A parità di caratteristiche del cluster, il grado di

mobilità risulta legato alla velocità di spostamento degli utenti all'interno del cluster stesso.

La figura IV.6 evidenzia che all'aumentare della velocità di spostamento degli utenti, cioè al crescere del numero di HO effettuati, il packet dropping relativo all'intero collegamento diminuisce apprezzabilmente. Nella suddetta figura sono riportati i risultati ottenuti in tre situazioni di mobilità crescente: la prima, già considerata in figura IV.1.b, è relativa a $PHO=1.5 \cdot 10^{-4}$, la seconda è relativa a $PHO=1.5 \cdot 10^{-3}$ e la terza è relativa a $PHO=5 \cdot 10^{-3}$. Questi valori corrispondono, rispettivamente, ad un numero medio di HO effettuati dal generico utente pari ad uno ogni 6667, 667 e 200 trame e sono stati scelti per consentire un confronto più preciso con i risultati ottenuti in [1]. Valori di mobilità più elevati non sono stati presi in considerazione perché altrimenti sarebbe stato quasi trascurabile l'influenza del Soft HO.

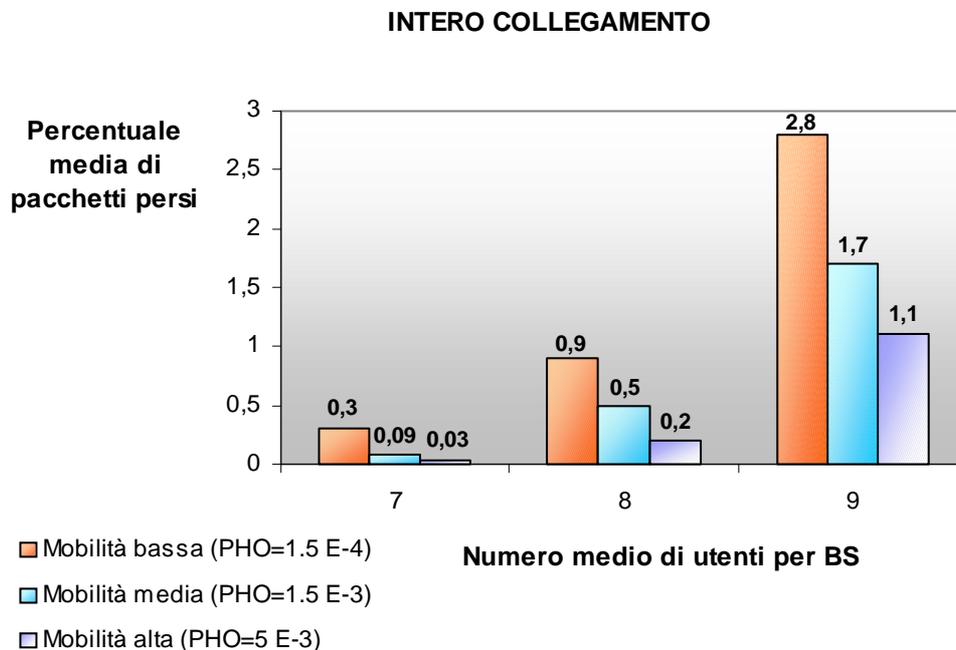


Figura IV.6 Percentuale media di pacchetti persi sull'intero collegamento al variare del grado di mobilità (PHO).

Come si osserva in figura IV.6, l'andamento del packet dropping in funzione del grado di mobilità è lo stesso che si era trovato in [1], utilizzando la presenza del Soft HO solamente per le assegnazioni del canale di uplink. Tuttavia i valori assoluti di perdita risultano sensibilmente inferiori con l'uso del Soft HO anche in downlink. In figura IV.7 è riportato l'andamento del ritardo medio totale il quale è lo stesso che si era ottenuto in [1] anche se, così come avviene per le perdite di pacchetti, i valori ottenuti con l'aggiunta del Soft HO nel downlink sono inferiori.

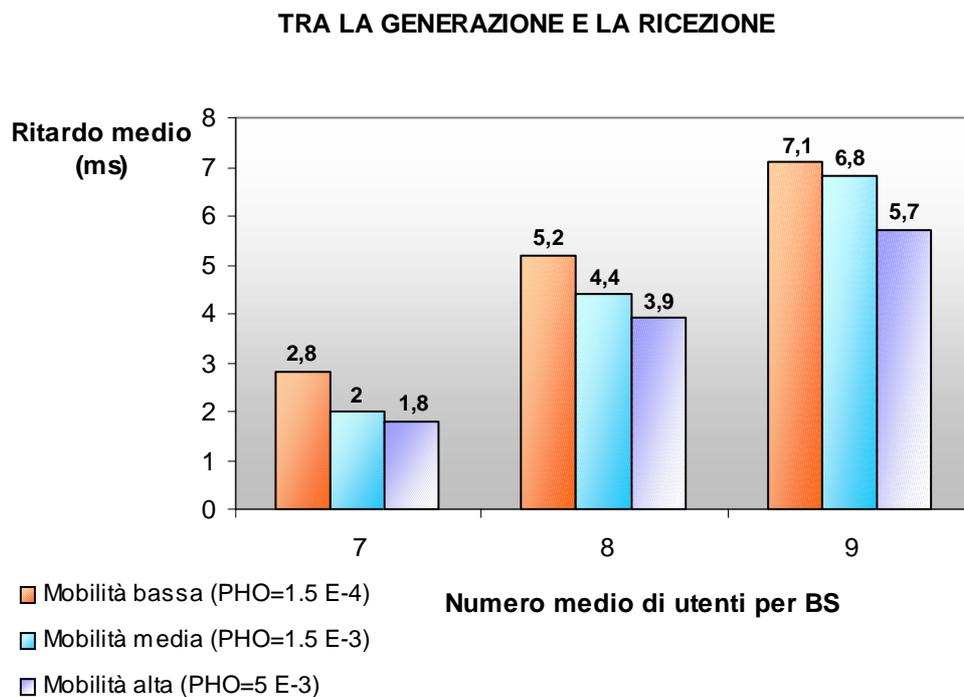


Figura IV.7 Ritardo medio totale subito dai pacchetti al variare del grado di mobilità.

Pertanto risulta che al crescere della mobilità le prestazioni del sistema migliorano, cioè tendono ad avvicinarsi a quelle ottenute in assenza di mobilità (caso ideale). Ciò conferma l'importante risultato trovato in [1], secondo il quale all'aumentare del grado di mobilità degli utenti diminuisce la probabilità che si verifichino situazioni di forte squilibrio del numero di utenti presenti nelle due celle del sistema.

Si noti infine come al crescere della mobilità, pur migliorando le prestazioni, tendano però a diminuire gli effetti del Soft HO sulla percentuale di pacchetti persi. Tale diminuzione è dovuta al fatto che, maggiore è la velocità con cui si muovono gli utenti e minore è, mediamente, l'intervallo di tempo in cui un utente possiede due collegamenti (tempo di Soft HO).

IV.3.3 Variazione dell'area di sovrapposizione tra le celle

I risultati finora mostrati sono stati ottenuti supponendo che, mediamente, ogni utente disponga di due sottoportanti di segnalazione per un tempo pari ad un quarto del tempo per cui possiede un unico collegamento ($TSHO/THO=1/4$). Ricordiamo che i parametri TSHO e THO sono pari, rispettivamente, al tempo medio per cui un utente si trova in una zona di Soft HO (quindi possiede due collegamenti di uplink e downlink attivi) ed al tempo medio per cui esso si trova in una cella base (dispone di un solo collegamento). Variare il rapporto tra i due parametri, mantenendo fissato il valore della loro somma ($1/PHO$), equivale a considerare variazioni del rapporto tra l'area della regione di Soft HO e quella della cella base, a parità di numero medio di HO effettuati. Pertanto, un aumento di $TSHO/THO$ corrisponde ad un incremento dell'area di

sovrapposizione tra le celle. Adesso considereremo anche i casi in cui il rapporto tra TSHO e THO vale rispettivamente 1/10 ed 1/2.

La figura IV.8, relativamente al caso peggiore di mobilità ($PHO=1.5 \cdot 10^{-4}$), mostra i valori della percentuale media di pacchetti persi ottenuti con i tre valori del rapporto TSHO/THO considerati (1/10, 1/4 e 1/2), in presenza di 7,8 e 9 utenti per BS. Si nota che, all'aumentare dell'area di sovrapposizione tra le celle (cioè al crescere del rapporto TSHO/THO), il packet dropping diminuisce e ciò conferma che, maggiore è il periodo di tempo per cui l'utente può disporre di due collegamenti, migliore è l'efficienza di gestione della risorsa complessiva del sistema. Dalla figura IV.8 emerge che nel caso in cui TSHO/THO=1/2, il sistema è in grado di gestire un numero medio di utenti per BS pari a 9, con un packet dropping inferiore all'1%.

L'andamento del ritardo medio subito dai pacchetti, per il quale non si riporta alcun grafico, conferma il miglioramento delle prestazioni all'aumentare dell'area di sovrapposizione.

Un'elevata area di sovrapposizione tra le celle è realizzabile nel caso si voglia implementare il sistema in ambienti con caratteristiche particolari, in cui un'area priva di separazioni è coperta da un insieme di BS (si può pensare ad un grande ambiente, ad esempio di una fabbrica, in cui ci si sposta per effettuare opportune misurazioni video ad elevata precisione da trasmettere ad un'unità centrale posta in un altro luogo).

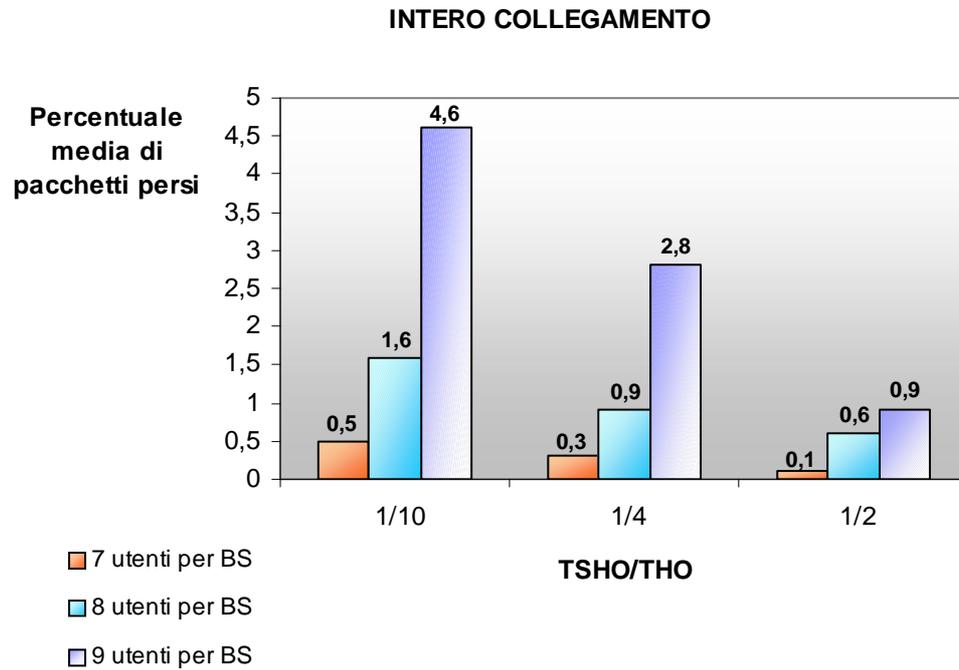


Figura IV.8 Percentuale media di pacchetti persi al variare dell'area di sovrapposizione tra le celle (TSHO/THO).

Si può concludere che, contrariamente a quanto accade in [1], nel presente lavoro le variazioni dell'area di sovrapposizione tra le celle influenzano sia le assegnazioni del canale di uplink sia quelle del canale di downlink. Più l'area di sovrapposizione è grande e più efficientemente vengono sfruttate le risorse complessive del sistema.

IV.4 Risultati per utenti di tipo video e voce

Nel presente paragrafo si vuole brevemente analizzare la situazione di traffico misto cioè la situazione in cui, oltre ad un fissato numero di utenti di tipo video, sia presente nel sistema un determinato numero di utenti di tipo voce. Ricordando che il generico utente di tipo voce considerato presenta un bit rate di 22.8 kbps e che esso genera una cella-ATM in un tempo medio di 16.8 ms ($384/22.8 \cdot 10^3 = 16.8$), risulta che tale utente quando si trova nel talking-state richiede mediamente un time slot ogni 42 trame ($16.8 \text{ ms}/400 \mu\text{s} = 42$). Ne consegue, pertanto, che il traffico offerto dagli utenti voce risulta molto minore rispetto a quello offerto dagli utenti video ed è questo il motivo per cui, nel presente lavoro, l'attenzione è stata rivolta quasi interamente agli utenti video. I risultati mostrati si riferiscono alle seguenti condizioni di mobilità: $\text{PHO} = 1.5 \cdot 10^{-4}$ e $\text{TSHO/THO} = 1/4$. La figura IV.9 mostra, relativamente all'intero collegamento, i valori del packet dropping medio degli utenti video (caso di 7 e 8 utenti video per BS) in presenza di un numero crescente di utenti voce.

Si osservi che, all'aumentare del numero di utenti di tipo voce, i valori del packet dropping relativi agli utenti di tipo video non sono sempre crescenti. Tale fenomeno si è manifestato anche in precedenti studi e dovrebbe essere causato dalle particolari caratteristiche della sequenza Suzie, che rendono piuttosto variabile il traffico offerto al sistema al variare delle simulazioni.

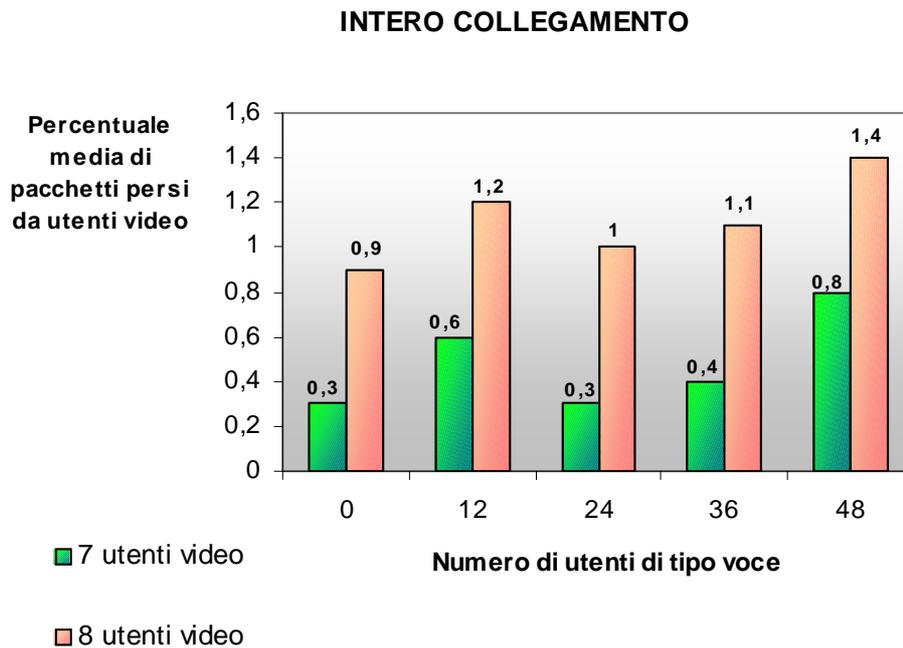


Figura IV.9 Percentuale media di pacchetti persi da utenti video in funzione del numero di utenti voce presenti.

A conferma di quanto osservato in [1], la figura IV.9 evidenzia che l'introduzione di utenti voce non causa un significativo incremento del packet dropping relativo agli utenti video. Infatti nel caso in cui, oltre a 16 utenti di tipo video, siano presenti nel sistema 48 utenti di tipo voce risulta che la percentuale media di pacchetti persi sull'intero collegamento è pari all'1.4% (in assenza di utenti voce tale valore è pari allo 0.9%). Con un packet dropping target dell'1%, il sistema risulta in grado di gestire la contemporanea presenza di 8 utenti video e 24 utenti voce.

Capitolo V

Conclusioni

Il presente lavoro studia l'effetto del Soft Hand Over sull'accesso alla risorsa di canale condivisa. L'ambiente considerato è di tipo cellulare e gli utenti mobili presentano un bit rate elevato (3 *Mbps*) e stringenti requisiti di ritardo (30 *ms*). L'attenzione è stata principalmente rivolta all'analisi, mediante simulazioni, del comportamento degli schemi di accesso multiplo alla risorsa condivisa (time slot di uplink e downlink) quando si adotta un algoritmo di Soft Hand Over. Inoltre si è data agli utenti la possibilità di terminare spontaneamente una comunicazione e si è resa necessaria la presenza di un opportuno schema di accesso alla risorsa "insieme delle sottoportanti", cioè di un algoritmo di assegnazione delle sottoportanti di segnalazione, in modo che ciascuna sottoportante presente in una cella potesse essere liberata e riassegnata più volte nel corso di una simulazione.

I risultati delle simulazioni mostrano un andamento decrescente del packet dropping medio all'aumentare della velocità di spostamento degli utenti ed evidenziano che, nel caso peggiore di mobilità, se si sfrutta la presenza di una procedura di HO di tipo Soft sia in uplink sia in downlink, la percentuale media di pacchetti persi sull'intero collegamento per eccessiva attesa risulta notevolmente minore rispetto a quella riscontrata nel caso in cui il Soft HO è sfruttato solamente nelle assegnazioni di

uplink. Infatti con il Soft HO impiegato sia in uplink sia in downlink e con 16 utenti contemporaneamente attivi nel sistema, la percentuale media di pacchetti persi sull'intero collegamento risulta addirittura inferiore all'1% mentre con Hard HO è del 6% e con il Soft HO sfruttato solo in uplink è del 2.1%. Inoltre il valore di perdita diminuisce ancora se si aumenta l'area della regione in cui l'utente dispone di due collegamenti (zona di Soft HO).

L'introduzione della procedura di Soft HO rende meno probabile che gli utenti in movimento si concentrino in una sola cella in quanto rende più uniforme il traffico offerto alle BS. Il Soft HO è particolarmente indicato con uno strato MAC del tipo considerato, che ha la caratteristica di adattarsi molto rapidamente a variazioni del traffico (fino a quando permangono entro un certo limite) variando il numero di slots assegnati.

Si conclude, quindi, che l'introduzione nel sistema della possibilità di sfruttare anche nelle assegnazioni del canale di downlink la presenza di un doppio collegamento (Soft HO), ha senza dubbio apportato al sistema stesso apprezzabili miglioramenti sia in termini di pacchetti persi sia in termini di ritardi di trasmissione.

Capitolo VI

Lista degli acronimi utilizzati

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BC	Broadcast Cell
BCGS	Broadcast Cell per la Gestione delle Sottoportanti
BER	Bit Error Rate
BP	Buffer Prediction
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
D-TDMA	Dynamic TDMA
EP	Estimated Priority
FDMA	Frequency Division Multiple Access
HB	Handover Bit
HO	HandOver
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MAHO	Mobile-Assisted HandOver
MCHO	Mobile-Controlled HandOver
MM	Mobility Manager
MS	Mobile Station
NCHO	Network-Controlled HandOver
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAMA	Priority Assignment Multiple Access
PHO	Probabilità di HandOver
PS	Portable Station
QS	Queue Signalling
S-ALOHA	Slotted ALOHA
SA	Slots Assegnati
SB	Signalling Bit
SNR	Signal Noise Ratio
TDD	Time Division Duplexing

TDMA
THO
TSHO
WLAN

Time Division Multiple Access
Time of HandOver
Time of Soft HandOver
Wireless Local Area Network

Bibliografia

- [1] G. Lupo, "Effetto del grado di mobilità sull'accesso alla risorsa condivisa per utenti a larga banda in una Indoor Wireless LAN", *Tesi di Laurea, Università di Roma "La Sapienza"*, Feb. 1999.
- [2] M. Del Buono, "Sistemi di Accesso Multiplo per Reti Wireless Indoor", *Tesi di Laurea, Università di Roma "La Sapienza"*, Apr. 1997.
- [3] F. Malena, "Allocazione dinamica delle risorse con una nuova procedura di Handover per le applicazioni nei sistemi a larga banda", *Tesi di Laurea, Università di Roma "La Sapienza"*, Feb. 1998.
- [4] C. Ciotti e J. Borowski, "The AC006 MEDIAN Project-Overview and State of the Art", in *Proc. of the 2nd ACTS Mobile Communication Summit*, Granada, Spain, Nov. 1996.
- [5] F. Delli Priscoli, "Medium Access Control for the MEDIAN System", in *Proc. of the 2nd ACTS Mobile Communication Summit*, Granada, Spain, Nov. 1996.
- [6] F. Delli Priscoli, "Demonstrator Architecture (MAC and Interworking Layers)", *Technical Note*, Laboratorio ACTS, Dip. INFOCOM, Università di Roma "La Sapienza", June 1998.
- [7] W. T. Webb e L. Hanzo, *Modern Quadrature Amplitude Modulation*, Cap. 15, Pentech Press & IEEE Press, 1994.

- [8] V. O. K. Li e X. Qiu, "Personal Communication Systems (PCS)", *IEEE Proc. vol. 83 No. 9*, pag. 1210-1243, Sept. 1995.
- [9] R. Kurupillai, M. Dontamsetti e J. Cosentino, "*Tecnologie Wireless*", McGraw-Hill, Oct. 1999.
- [10] D. Ferramola, "Realizzazione di un sistema OFDM con segnalazione di accesso in tecnica OFDMA", *Tesi di Laurea, Università di Roma "La Sapienza"*, Dic. 1998.
- [11] D. J. Goodman e S. X. Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access", *IEEE Tr. on Veh. Tec., Vol. 40, No 1*, pag. 170-176, Feb. 1991.
- [12] M. Dècina e A. Roveri, *Code e traffico nelle reti di comunicazione*, la Goliardica editrice, 1979.
- [13] F. Malena, M. Del Buono e M.G. Di Benedetto, "Dynamic resource allocation with a novel handover procedure for application in a broadband system", in *Proc. of the 3^d ACTS Mobile Communication Summit*, Rhodes, Greece, June 1998.