

Capitolo 7

Il simulatore GPRS

In questo capitolo viene descritta la struttura del simulatore sviluppato per il sistema GPRS. La descrizione prevede la definizione del diagramma delle classi, utilizzato come base per lo sviluppo del software, e pone particolare attenzione ai modelli di livello MAC; tali modelli vengono utilizzati per spiegare le procedure dello standard [15] che sono state oggetto di studio in questa tesi di laurea.

7.1 Obiettivi del simulatore

Il livello MAC del sistema GPRS è il livello principale su cui si sono soffermate le attenzioni nella costruzione del simulatore. Tale scelta è stata dettata dal fatto che il MAC offre ai livelli superiori, come si è già visto al capitolo 3, i servizi di trasferimento dell'informazione attraverso il livello fisico dell'interfaccia radio e gestisce l'accesso multiplo a tale interfaccia in modo distribuito tra i vari utenti presenti all'interno della cella. I canali radio sono, inoltre, la risorsa più preziosa e più scarsa in quanto regolamentata da leggi che ne assegnano l'utilizzo a vari operatori in modo fisso, non consentendo la scalabilità necessaria all'evolvere di un sistema di telecomunicazione in continua crescita come quello della comunicazione mobile. Da questo punto di vista risulta evidente l'importanza di una gestione oculata di tale livello e l'introduzione di algoritmi che siano in grado di sopperire alla mancanza di risorse radio. L'introduzione dei nuovi servizi dati ha introdotto, in un sistema già carente di risorse, la necessità di una gestione condivisa del singolo canale di trasmissione a livello radio portando alla scelta della trasmissione a pacchetto come tecnica di trasporto. La scelta di algoritmi efficienti diventa dunque cruciale e la simulazione di tali algoritmi indispensabile per operatori che abbiano deciso di investire nei servizi di tipo GPRS. Gli obiettivi posti nella simulazione di questo livello sono quelli di progettare uno strumento

software in grado di emulare le caratteristiche salienti dello standard GPRS, rimarcando i pregi ed i difetti dello stesso; particolare attenzione è stata, inoltre, rivolta alla progettazione di un modello che fosse in grado di valutare le prestazioni degli algoritmi di *scheduling* che potranno essere introdotti per garantire le esigenze di QoS dei vari servizi. I parametri prestazionali che si sono tenuti maggiormente in considerazione nella costruzione di questo livello del simulatore sono stati:

- **Ritardo di accesso:** si è voluto giungere ad una stima del ritardo di accesso di un mobile sul PRACH al variare del carico nella cella ed al variare dell'allocazione dei blocchi PRACH all'interno di una multitrama. Un altro parametro importante che si è tenuto in considerazione è stato il tipo di allocazione decisa per i blocchi sulla base della distinzione tra fissa e dinamica definite al paragrafo 3.1.3.
- **Ritardo di trasferimento:** mediante questo parametro si è cercato di analizzare l'efficienza degli algoritmi di allocazione e di gestione delle risorse radio. Il ritardo di trasferimento a livello MAC è un parametro prestazionale importante per la gestione della QoS a livello di interfaccia radio e viene misurato fra l'arrivo di un pacchetto a livello MAC (in seguito alla chiamata di una primitiva di tipo MAC_DATA_req dal livello RLC) e la ricezione dello stesso nel corrispondente livello.
- **Throughput:** a livello MAC è l'indicatore che permette di effettuare il migliore paragone fra i diversi algoritmi di allocazione delle risorse e di schedulazione degli utenti.

Ognuno di questi parametri ha un impatto notevole sulle prestazioni dei livelli superiori della pila protocollare e, pertanto, i componenti caratteristici di questo livello che influiscono su tali parametri sono stati definiti in dettaglio.

7.2 Il livello MAC nella BTS

La BTS è l'elemento fondamentale di un sistema di comunicazione cellulare, in quanto costituisce la parte della rete che si interfaccia con i terminali mobili tramite il canale radio: saranno quindi presenti al suo interno tutti gli algoritmi e le strutture dati necessari per permettere una gestione oculata delle risorse. Il modello utilizzato per rendere possibile la realizzazione delle varie funzionalità del livello MAC all'interno della BTS, comprende i seguenti componenti:

- **Lista dei mobili sotto il controllo della specifica BTS.**

- **Allocatore delle risorse di sistema (RSC_allocator).**
- **Schedulatore delle trasmissioni (TX_allocator).**
- **PRACH_controller.**
- **PAGCH_controller.**

Per comprendere come questi elementi interagiscano tra di loro, è necessario analizzare la successione degli eventi che porta alla trasmissione dei blocchi radio. Quando giunge una richiesta di trasferimento dati effettuata dai livelli superiori sul MAC (mediante la primitiva MAC_DATA_req.), è necessario richiedere alla BTS le risorse necessarie. L'operazione di allocazione delle risorse viene effettuata dal blocco chiamato RSC_allocator, il quale, una volta analizzata la richiesta, cerca di soddisfarla se vi sono risorse sufficienti; i pacchetti dati che sono arrivati fino al livello MAC, e che sono stati messi in coda nei rispettivi buffer, sono ora in attesa della trasmissione. La trasmissione dei blocchi radio viene stabilita dal TX_allocator che determina, ad ogni passo di simulazione, quanti e quali dati saranno trasferiti. Un pacchetto, una volta trasmesso, arriva al buffer del MAC duale ed inizia la risalita all'interno della pila protocollare in ricezione. Il PRACH_controller ed il PAGCH_controller sono due moduli che sono stati inseriti per simulare la tratta in uplink, in quanto il primo gestisce le richieste di accesso alla rete sul canale PRACH, mentre il secondo viene utilizzato per la gestione delle risposte da parte della rete ai mobili sul canale PAGCH.

La lista dei mobili serviti dalla BTS comprende anche la pila duale del mobile stesso che permette la discesa e la risalita, dal lato rete, del flusso dati attraverso i vari livelli. Tale lista viene utilizzata per rendere possibile la comunicazione, secondo i protocolli standard, del mobile con la BTS a cui è collegato.

Vengono ora descritti in dettaglio i moduli sopra elencati, specificando la loro struttura ed il loro funzionamento.

- **RSC_allocator:** è l'elemento che permette la condivisione delle risorse all'interno di una BTS e l'assegnazione dei PDCH che saranno utilizzati per la trasmissione dei dati. Si occupa di accettare o rifiutare le richieste di connessione effettuate dai terminali mobili e permette di riconfigurare il *pool* di risorse assegnato ad un determinato mobile. Un RSC_allocator è costituito da un'insieme di algoritmi di allocazione e da una serie di matrici sulle quali tali algoritmi vanno ad operare. I primi sono:

- **Dyn_alloc:** è il blocco che gestisce l'assegnazione delle risorse secondo la modalità MAC *dynamic allocation*. Include quindi gli algoritmi necessari all'allocazione dei canali fisici in modo dinamico.
- **E_Dyn_alloc:** è il blocco che assegna le risorse secondo la modalità MAC *extended dynamic allocation*.
- **Fix_alloc:** questo blocco si occupa di condividere le risorse secondo la modalità MAC *fixed allocation*.

Le matrici che permettono di memorizzare quante e quali risorse radio sono state assegnate ad un determinato terminale mobile sono:

- **Dyn_matrix:** è una matrice costituita da n righe e 2 colonne. Le righe rappresentano gli n PDCH che si vogliono prendere in considerazione nella simulazione. Si è scelto di non considerare direttamente multipli di 8 PDCH (una portante), ma di avere la possibilità di gestirne un numero qualunque, questo perché si ottiene una maggiore flessibilità ed un minor spreco di memoria dell'elaboratore. Le 2 colonne rappresentano le due direzioni di trasmissione uplink e downlink. In ogni posizione della matrice viene memorizzata una lista che può contenere un massimo di 8 elementi, i quali rappresentano gli otto USF che identificano gli 8 terminali mobili che possono condividere lo stesso PDCH. In ogni nodo delle liste di questa matrice i blocchi Dyn_alloc ed E_Dyn_alloc memorizzeranno il puntatore alla coda di trasmissione del mobile a cui è stato assegnato un certo USF su un dato PDCH.
- **Fixed_matrix:** è una doppia (uplink/downlink) matrice di n righe e 12 colonne la cui funzionalità è simile a quella della matrice appena descritta. Come nel caso precedente le righe rappresentano gli n PDCH simulati, mentre le colonne rappresentano i 12 blocchi radio in cui viene divisa una multitrama di traffico (52 trame). Quando il Fix_alloc assegna una sequenza di blocchi ad un dato mobile verrà scritto nella matrice, in posizione opportuna, il puntatore alla coda di trasmissione di quel mobile. In questo modo la matrice viene utilizzata per memorizzare in quali blocchi della multitrama un mobile è stato abilitato a trasmettere e quindi si realizza in pratica una *allocation bitmap*.
- **PDCH_status:** è un vettore di dimensione n , dove n rappresenta sempre il numero di PDCH. In ogni posizione di questo vettore verrà memorizzato un identificativo per determinare se un PDCH è abilitato

per il traffico dati GPRS o per il traffico voce GSM; questo permette in momenti diversi, a seconda delle condizioni di carico della rete, di assegnare i vari canali fisici in modo flessibile ai dati o alla voce.

- **TX_allocator:** è la struttura che stabilisce quale mobile, tra tutti quelli a cui sono state assegnate le risorse dal RSC_allocator, dovrà trasmettere nella trama successiva, ad ogni blocco radio e per ogni PDCH. Il TX_allocator si occupa quindi della schedulazione vera e propria dei radio block tenendo in considerazione il fatto che, all'interno del sistema, possono coesistere contemporaneamente flussi dati con diverse modalità (*dynamic, extended dynamic, fixed*). Il TX_allocator è quindi in grado di gestire queste tre diverse modalità sia singolarmente che simultaneamente. All'interno di questa struttura sono presenti i tre diversi algoritmi di schedulazione ed una matrice di trasmissione sulla quale essi operano. Gli *scheduler* sono:
 - **Dyn_sched:** è lo schedulatore dinamico. Esso riceve in ingresso, per ogni PDCH, l'insieme dei mobili che sono stati abilitati (tramite l'USF) a trasmettere su quel dato canale fisico se non è già stato occupato da una *fixed allocation*; il Dyn_sched opera, su tale insieme, la scelta del mobile che effettivamente trasmetterà nel prossimo radio block sfruttando le informazioni ricavate dalla Dyn_matrix e dalla Fixed_matrix.
 - **E_Dyn_sched:** realizza la schedulazione dinamica estesa in modo analogo al precedente; questo algoritmo dovrà effettuare la scelta dei mobili che possono trasmettere, per ogni PDCH, secondo le modalità della *Extended dynamic allocation*.
 - **Fixed_sched:** realizza la schedulazione fissa. Questo algoritmo effettuerà le proprie scelte in base alle informazioni memorizzate nella Fixed_matrix. Si è ritenuto opportuno che questo tipo di schedulatore abbia la precedenza rispetto agli altri due, in quanto i flussi dati che richiedono un'allocation di tipo fisso necessitano obbligatoriamente delle risorse che sono state precedentemente assegnate dal Fix_alloc. Gli altri due tipi di scheduler agiscono su flussi di informazione che hanno requisiti meno stringenti e quindi possono sopportare l'eventuale temporanea carenza di risorse.

La matrice di trasmissione è la seguente:

- **Tx_matrix:** è costituita da n righe quanti sono i PDCH abilitati e m

colonne che rappresentano le trame. Il numero di colonne può essere variato a seconda che gli algoritmi di allocazione necessitino di mantenere memoria degli eventi passati. Si potrebbe quindi utilizzare, secondo le esigenze, un solo blocco radio (4 trame), un'intera multitrama (52 trame) o ancora un numero di trame intermedio ai precedenti. Ad ogni trama (o ad ogni blocco se si considerano sincroni i blocchi su tutti i PDCH) i tre schedulatori, secondo le proprie modalità, andranno a scrivere una colonna della matrice inserendo, nella posizione opportuna, il puntatore alla coda di trasmissione. Una volta schedulata tale trama, un'apposita procedura si occuperà della trasmissione dei radio block. Questa procedura di volta in volta leggerà una colonna della matrice e, PDCH dopo PDCH, andrà ad effettuare la trasmissione del blocco radio proveniente dalla coda individuata dal puntatore che è stato memorizzato.

- **PRACH_controller:** è l'elemento del MAC di una BTS che si occupa della gestione delle richieste di accesso al PRACH effettuate dai terminali mobili. E' costituito principalmente da un coda di mobili che hanno iniziato la procedura di accesso alla rete e che attendono di sapere dalla BTS se la loro richiesta è andata a buon fine. Quando un mobile, sotto il controllo di una certa BTS (e quindi presente nella lista dei mobili della BTS stessa), inizia la procedura di accesso, viene inserito nella lista del controller e viene considerato come un terminale nello stato di WAITING. Durante i blocchi radio dedicati al PRACH (individuati grazie ad una precedente allocazione nella Fixed_matrix), il controller esamina, per ogni trama, tutte le richieste che gli sono pervenute e tra queste effettua la scelta di quelle che avranno successo. Per le richieste andate a buon fine vi sarà poi, secondo opportune tempistiche, la richiesta di assegnazione delle risorse al RSC_allocator. Per i mobili la cui richiesta non ha avuto risposta o non è stata soddisfatta, i rispettivi livelli MAC agiranno in base agli algoritmi descritti nello standard [15].
- **PAGCH_controller:** è il modulo che controlla le tempistiche di risposta della BTS sul PAGCH, in seguito alle richieste di accesso alla rete effettuate dai mobili per mezzo di una trasmissione sul PRACH. Per la prima fase dello sviluppo del simulatore, questo modulo si preoccupa semplicemente di calcolare l'occorrenza del prossimo blocco radio, che

sarà in grado di ospitare il PAGCH, all'interno della multitrama GPRS. Il valore calcolato permetterà, quindi, ai mobili di ricevere la risposta della rete all'interno del primo blocco PAGCH disponibile. E' possibile sviluppare tale modulo in modo tale che venga schedato ad ogni trama e che gestisca in modo ancor più realistico i tempi di risposta della rete ai mobili, tenendo conto della possibilità che in un blocco è possibile trasmettere soltanto una risposta.

Il compito del livello MAC della pila protocollare è quello di permettere la condivisione delle risorse radio disponibili nel sistema tra tutti gli utenti, sia per quanto riguarda la direzione in uplink che per quella in downlink. Come si può notare dalla figura 7.2, la BTS comprende un insieme di pile protocollari che corrispondono alle pile duali di quelle all'interno dei terminali mobili che si trovano sotto il controllo di una data BTS. Facendo l'ipotesi di avere una comunicazione in downlink, all'interno delle pile protocollari saranno presenti livelli MAC di tipo GPRS_MAC_BTS_TX che tramite le rispettive pile GPRS_BTS_STACK_TX, permetteranno di gestire le comunicazioni con i mobili in downlink. Nel caso di trasmissioni in uplink i mobili saranno dotati di pile GPRS_MS_STACK_TX, mentre nella rete saranno presenti le corrispettive pile GPRS_BTS_STACK_RX.

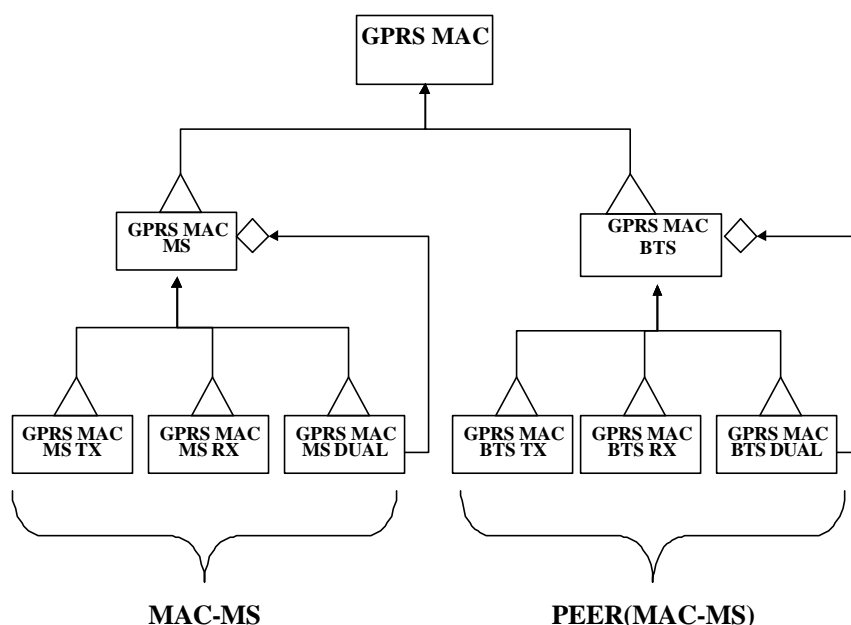


Figura 7.1: Gerarchia delle classi MAC-GPRS

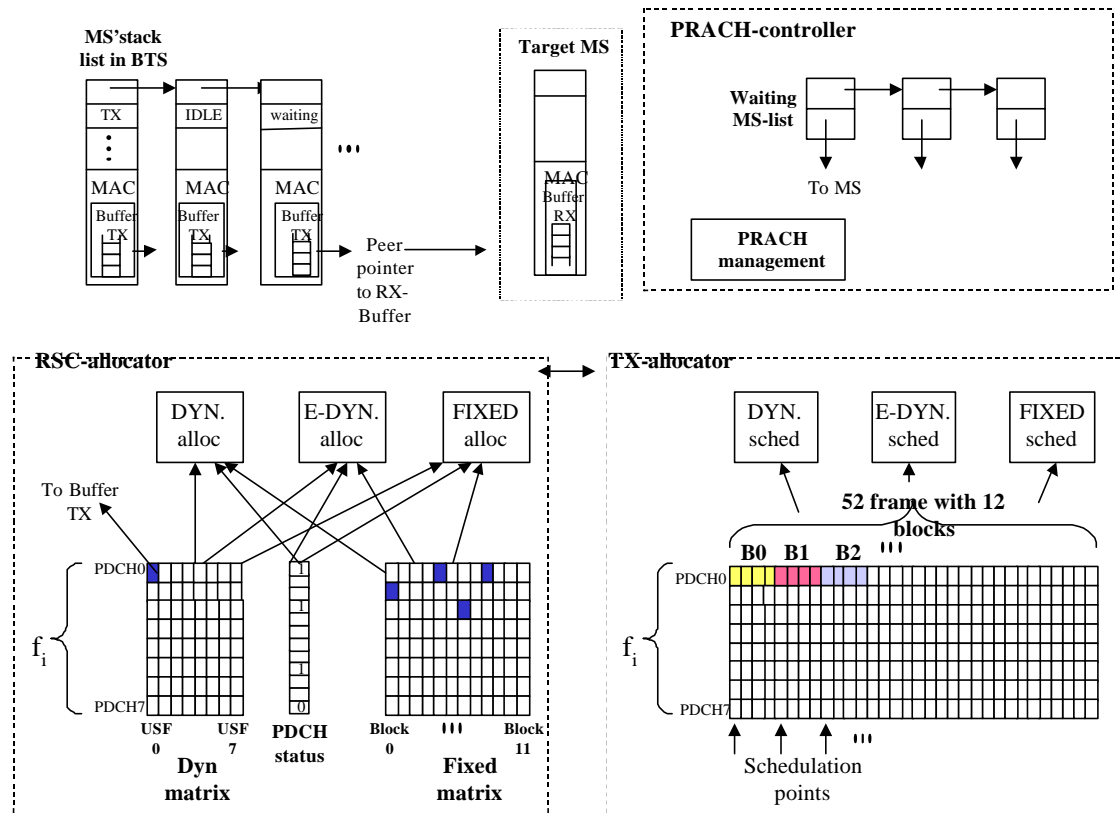


Figura 7.2: Struttura della BTS

- **La classe GPRS_MAC_BTS:** è la classe dalla quale ereditano tutti i livelli di tipo MAC che saranno utilizzati all'interno della BTS.
- **La classe GPRS_MAC_BTS_TX:** deriva ed eredita i metodi ed attributi da GPRS_MAC_BTS; è la classe che modella il MAC in trasmissione dal lato BTS, realizzando quindi la trasmissione dei blocchi radio in downlink.
- **La classe GPRS_MAC_BTS_RX:** deriva ed eredita i metodi ed attributi da GPRS_MAC_BTS; è la classe che modella il MAC in ricezione dal lato BTS, realizzando quindi la ricezione dei blocchi in uplink.
- **La classe GPRS_MAC_BTS_DUAL:** deriva ed eredita i metodi ed attributi da GPRS_MAC_BTS; permette di modellare il MAC lato BTS che gestisce sia la trasmissione che la ricezione.

La creazione di livelli MAC che siano in grado di gestire solo la direzione in uplink o quella in downlink è essenzialmente dovuta al fatto che, in questo modo, è possibile realizzare simulazioni che siano mirate allo studio delle prestazioni di sistema su una sola delle due direzioni senza dover obbligatoriamente, ed inutilmente, includere anche l'altra metà dei moduli di controllo del livello MAC.

7.2.1 Modello MAC-BTS in trasmissione

Il modello del livello MAC in trasmissione, all'interno della BTS, è indicato nella figura 7.3; i moduli principali contenuti in questo modello sono:

- **MAC-Buffer:** esso rappresenta, come avviene per il MAC del mobile in trasmissione, il buffer di memorizzazione dei blocchi che devono essere inviati sul canale radio; i blocchi memorizzati sono quindi in attesa di essere schedulati dalla BTS.
- **Gestore inserimento header:** questo modulo provvede, ogni volta che viene ricevuto un pacchetto dal livello RLC superiore, all'inserimento dell'intestazione di livello MAC in cui vengono memorizzati i dati utili per la raccolta delle statistiche effettuata in ricezione.

La differenza principale tra il MAC in trasmissione nel mobile e quello all'interno della BTS è che, nel secondo caso, non è necessario utilizzare gli algoritmi che controllano la trasmissione dei dati sul canale condiviso PRACH; il MAC in trasmissione della BTS si occupa soltanto del trasferimento dei dati in downlink, mentre il PRACH è un canale utilizzato dagli utenti in uplink per accedere alla rete.

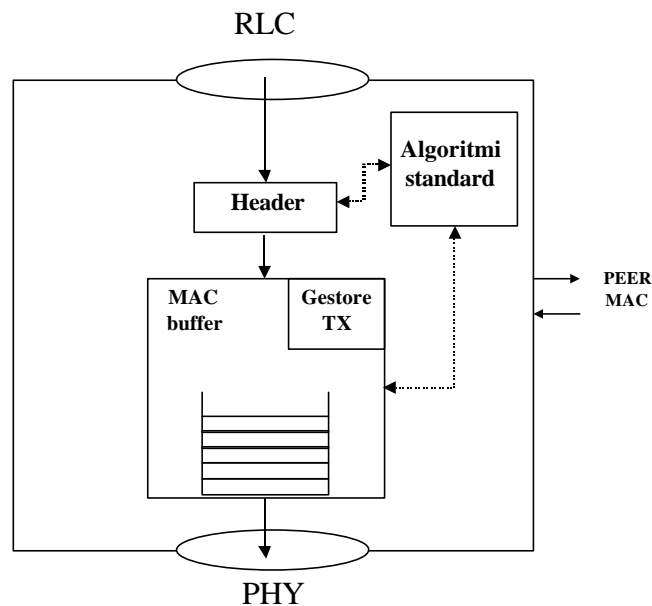


Figura 7.3: Modello MAC, lato BTS in trasmissione

7.2.2 Modello MAC-BTS in ricezione

Il modello del livello MAC in ricezione, all'interno della BTS, è indicato nella figura 7.4; i moduli principali sono:

- **MAC-Buffer:** come avviene per il modello del MAC del mobile in ricezione, esso rappresenta il buffer di memorizzazione dei blocchi che sono stati inviati sul canale e ricevuti dalla BTS; i blocchi memorizzati in questo buffer sono quindi in attesa di essere estratti ed analizzati
- **Analizzatore di pacchetto:** è l'unità funzionale che si occupa della rimozione dell'header nella risalita della PDU all'interno della pila protocollare. I compiti canonici di tale entità vengono sostituiti, nel simulatore, dagli elementi utili alla raccolta delle statistiche proprie di livello MAC.

Questo tipo di MAC, nella BTS in ricezione, è molto simile a quello corrispondente del mobile; anche in questo caso, infatti, il compito principale del livello è quello di estrarre i pacchetti che sono stati inseriti nel buffer, eliminare l'intestazione ed aggiornare le statistiche che interessano esaminando i dati memorizzati nell'header dei pacchetti.

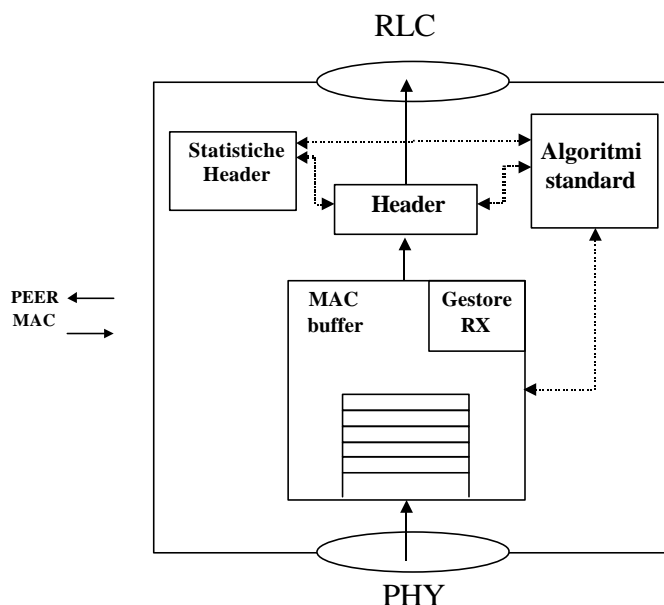


Figura 74: Modello MAC, lato BTS in ricezione

7.3 Il livello MAC nel MS

Il livello MAC del MS, nel sistema GPRS, è lo *slave* della comunicazione tra il mobile e la stazione radio-base e tale relazione è stata mantenuta anche in fase di realizzazione pratica del simulatore. L'implementazione di tale livello è, dunque, snella e priva di algoritmi di gestione delle risorse in quanto tale intelligenza è demandata agli algoritmi presenti all'interno della BTS. Compito del livello MAC nel mobile è dunque la gestione degli algoritmi definiti nello standard [15] in modo tale da conformarsi alle decisioni prese dalla BTS. La gerarchia di classi per la definizione del livello MAC segue il modello già presentato in figura 7.1 ed è composto dalle seguenti classi:

- **La classe GPRS_MAC:** è una classe astratta che definisce l'interfaccia comune per tale livello all'interno del simulatore. Racchiude gli elementi caratteristici del livello MAC lato BTS e lato MS in modo tale da uniformare i due livelli dal punto di vista delle procedure di gestione. Sia il livello MAC del mobile che quello della BTS dovranno ridefinire i metodi virtuali propri di questa classe del simulatore
- **La classe GPRS_MAC_MS:** è la classe progenitrice di tutti i livelli MAC che possono essere realizzati per un mobile di tipo GPRS e definisce

l'interfaccia comune a cui attenersi per la gestione delle procedure di tale livello secondo lo standard definito in [15].

- **La classe GPRS_MAC_MS_TX:** derivando da GPRS_MAC_MS eredita le procedure standard del MAC ridefinendo quelle utili alla gestione di un MAC in trasmissione. A questo livello vengono implementate le procedure vere e proprie che modellano il comportamento del protocollo standard in trasmissione.
- **La classe GPRS_MAC_MS_RX:** contiene gli algoritmi standard per la simulazione di un livello MAC in ricezione.
- **La classe GPRS_MAC_MS_DUAL:** derivando da GPRS_MAC_MS eredita la definizione dei metodi standard del MAC ridefinendo una interfaccia utile alla gestione di un MAC in grado di operare contemporaneamente in entrambe le modalità. L'ereditarietà e l'inclusione secondo quanto definito dal *pattern composite* [40] permettono la scalabilità necessaria alla fusione delle due tipologie di classi viste in precedenza.

La scelta di tale struttura è stata dettata dalla volontà di rendere il simulatore il più modulare possibile rispetto alle prove che si intendevano realizzare. Sfruttando la definizione di tre possibili classi di livello MAC ci si è dotati della possibilità di costruire mobili che siano in grado di operare solo in trasmissione o in ricezione senza precludersi la costruzione di mobili che operino in entrambe le modalità. La scelta di quale tipologia adottare dipende dal tipo di simulazione che si vuole effettuare. Nelle valutazioni delle prestazioni di accesso al PRACH, che precedono la trasmissione del mobile in uplink, sarebbe stato inutile prevedere una gestione contemporanea delle pile protocollari in quanto l'attenzione della simulazione è posta nel misurare il tempo di accesso al variare del carico presente nel sistema o dell'allocazione dei blocchi PRACH. Discorso analogo vale per la gestione degli utenti impegnati in comunicazioni in downlink dove il *throughput* del sistema, ad esempio, dipende dal tipo di allocazione dei canali e dei blocchi che si intende effettuare e non dalle informazioni di controllo che devono essere trasferite nella direzione opposta. L'esigenza di un MAC che dispone della gestione contemporanea degli algoritmi in entrambe le direzioni risulta, invece, importante quando l'attenzione della simulazione si sposta sulla valutazione dell'efficienza dell'allocazione dei canali, nel caso in cui un mobile sia impegnato simultaneamente in entrambi i tipi di comunicazione, e su quanto la

presenza di un tipo di comunicazione si ripercuota sull'altro. La modularità presente nel simulatore consente la costruzione di un mobile in base ai parametri caratteristici che si vogliono analizzare.

7.3.1 Modello MAC-MS in trasmissione

Il modello MAC della mobile station che si è deciso di adottare è indicato nella seguente figura:

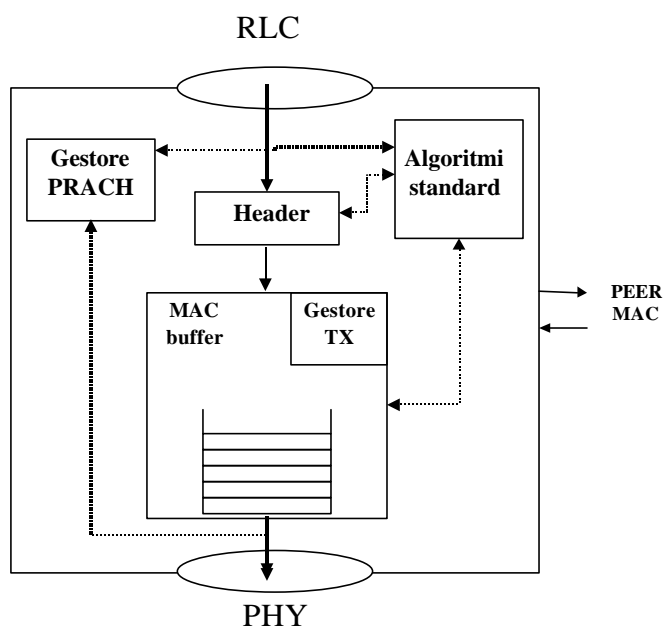


Figura 75: Modello MAC, lato MS in trasmissione

Gli elementi comuni ad ogni livello della pila protocollare non vengono ulteriormente analizzati in quanto già trattati nella spiegazione del modello di tale elemento; verrà, ora, analizzato l'utilizzo che viene fatto di tali elementi in questo specifico contesto.

Gli elementi fondamentali che costituiscono il modello MAC in trasmissione sono:

- **MAC-Buffer:** rappresenta il buffer di memorizzazione dei blocchi in trasmissione; i blocchi in attesa di essere trasmessi sull'interfaccia radio vengono memorizzati in questo buffer fino alla schedulazione da parte della BTS. La creazione di questa classe consente di memorizzare statistiche utili alla valutazione della memoria che si rende necessaria in fase di trasmissione dati in uplink e di avere un modulo predisposto alla sola

trasmissione dei blocchi radio nel caso si intendano validare algoritmi di trasmissione diversi mantenendo immutati gli algoritmi definiti dagli standard.

- **Gestore di accesso al PRACH:** è l'unità funzionale che modella la parte di protocollo standard responsabile dell'accesso alla BTS sfruttando il canale di segnalazione comune denominato PRACH. Il modello di tale unità è estremamente dettagliato in quanto è l'elemento che consente l'accesso alla rete in modalità distribuita tra i vari utenti. La descrizione del funzionamento di tale modulo è rimandata al paragrafo 7.3 dove vengono chiariti gli algoritmi standard implementati nel corso dello sviluppo del simulatore.

Per tutti i tipi di allocazione previsti la sequenza di gestione di un pacchetto mantiene, comunque, un percorso comune. Il pacchetto arriva dal livello RLC e viene analizzato dal modulo di gestione di livello MAC del MS. Il livello MAC crea il proprio header di livello con le informazioni utili alla gestione delle statistiche ed alla ricostruzione del pacchetto in fase di ricezione. Il pacchetto, una volta aggiunto dell'header di livello, viene inserito nel buffer di trasmissione e viene messo in attesa di essere schedato da parte del TX-allocator.

7.3.2 Modello MAC-MS in ricezione

Il modello MAC della mobile station, in ricezione, che si è deciso di adottare nella costruzione del simulatore è indicato in figura 7.6. Gli elementi fondamentali che costituiscono tale modello sono:

- **MAC-BUFFER:** è l'elemento funzionale delegato della ricezione dei pacchetti provenienti dal corrispondente livello nella BTS. La presenza di un buffer è stata dettata dalla volontà di avere un elemento in grado di memorizzare i radio block provenienti dal livello fisico e di passarli al livello superiore secondo le proprie tempistiche.
- **Analizzatore di pacchetto:** è l'unità funzionale che si occupa della rimozione dell'header nella risalita della PDU nella pila protocollare. I compiti canonici di tale entità vengono sostituiti, all'interno del simulatore, dagli elementi utili alla raccolta delle statistiche proprie di livello MAC.

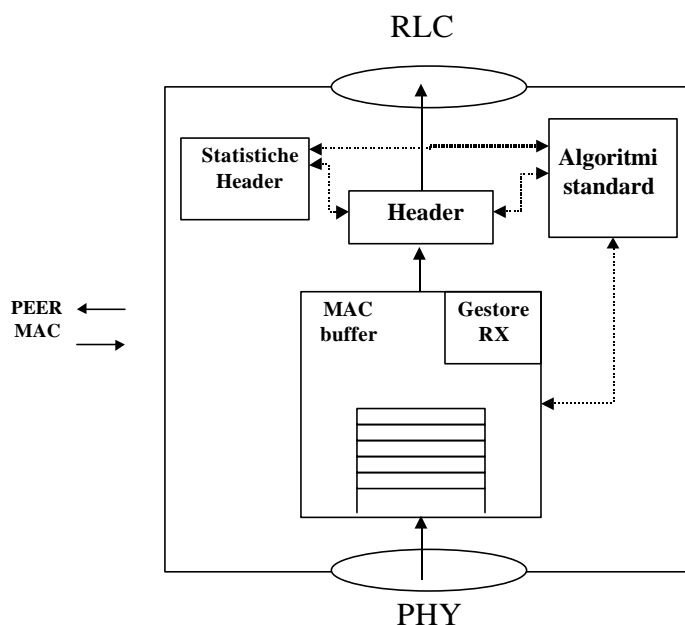


Figura 7.6: Modello MAC, lato MS in ricezione

7.4 Definizione degli algoritmi

Nello sviluppo dei moduli del simulatore, per il livello MAC di GPRS, sono stati implementati gli algoritmi standard che hanno l'impatto maggiore rispetto agli obiettivi primari che il simulatore stesso si prefigge. La scelta dei modelli, ed il loro dettaglio, è stata influenzata dai parametri che si vogliono estrarre e dall'analisi di quanto l'accuratezza di questo livello si ripercuota su quelli superiori. Vista l'importanza dell'interfaccia radio in questo sistema di comunicazione, si è deciso di trattare con grande attenzione le procedure di accesso e di condivisione di tale interfaccia in modo tale da poter analizzare come le diverse scelte possibili a questo livello siano correlate alla qualità del servizio che si intende garantire all'utente finale. Le procedure standard implementate per il livello MAC di GPRS sono analizzate nei successivi paragrafi.

7.4.1 Packet Access Procedure

La *Packet Access Procedure* è la procedura di accesso standard sul PCCCH definita in [15]; dal momento che nello standard sono previsti due tipi diversi di accesso (ad una o due fasi, come già analizzato nel paragrafo 3.3) e dato che

l'accesso a due fasi può essere considerato, in prima analisi, come un'estensione di quello ad una fase, si è deciso di gestire direttamente l'accesso a due fasi. Questa scelta consente di analizzare le peculiarità di questo tipo di accesso e permette una facile scalabilità nel caso in cui ci si voglia soffermare soltanto sull'accesso ad una fase.

La *Packet Access Procedure* ha inizio in seguito ad una richiesta di tipo `MAC_DATA-req` da parte dei livelli superiori sul MAC. Tale richiesta ha come parametro di ingresso la priorità radio che si vuole ottenere nell'instaurazione del collegamento; il MS, in seguito, deve avvertire la BTS che un nuovo mobile sta tentando di effettuare un accesso sul PRACH ed è in attesa di essere schedulato; la BTS, in base all'analisi delle caratteristiche del mobile, determina il PRACH_controller che è adibito a gestire la richiesta e lo comunica al mobile stesso in modo tale da permettere la comunicazione diretta fra tali moduli. Questa scelta modella il comportamento standard definito all'interno di una BTS ed all'interno di un MS dove la trasmissione dei parametri di sistema permette al mobile di risalire ai canali di controllo attraverso cui può iniziare la procedura di accesso. Una volta che il PRACH_controller è stato scelto, il mobile viene aggiunto alla lista degli utenti in attesa di accesso alla rete, all'interno del PRACH_controller stesso. La presenza di questa lista è importante in quanto le occorrenze del PRACH non sono fisse all'interno di una multitrama e sarebbe, dunque, impossibile gestire tali richieste inserendo soltanto eventi in calendario.

Dal lato del mobile, la procedura di gestione dell'accesso ha avuto inizio secondo le indicazioni del protocollo standard, dunque azzerando o attivando i timer opportuni ed estraendo le variabili casuali necessarie all'accesso secondo quanto definito dal controllo di persistenza; il mobile è, ora, in attesa delle occorrenze del PRACH per poter verificare se è in grado di trasmettere nella trama corrente. L'analisi di un USF marcato come libero, e quindi adibito al PRACH, o le occorrenze fisse di tale canale vengono modellate tramite la schedulazione del PRACH_controller da parte del TX-scheduler. Ogni qual volta è presente un'occorrenza del PRACH in una trama, il controllo passa dal TX-scheduler al PRACH_controller responsabile di gestire il canale associato. Il PRACH_controller, a questo punto, analizza la lista dei mobili in attesa di accesso al PRACH e verifica se questi sono in grado di trasmettere nella trama corrente; tale scelta viene presa basandosi su di un'implementazione rigorosa della procedura di *Access Persistence Control* eseguita dal mobile sul PRACH e definita al capitolo 3.3.2. Il PRACH_controller memorizza i MS che hanno

fatto richiesta in una particolare trama e decide, con politiche dipendenti dal modello che si vorrà adottare, se un utente ha avuto successo nella Packet Channel Request trasmessa alla BTS. La politica utilizzata all'interno del simulatore è basata su di un modello di cattura definito nel documento ETSI SMG2 GPRS Ad-Hoc Tdoc 29/96 [1]. In tale documento vengono fissate delle soglie di probabilità di accesso in seguito a trasmissioni contemporanee sul PRACH.

In particolare se n è il numero di *access burst* trasmessi durante lo stesso *burst period* su di un singolo canale allora la probabilità p di successo nella trasmissione riferita al singolo *burst* risulta essere pari a:

Probabilità di successo nell'accesso al PRACH						
n	1	2	3	4	5	>5
p	1.00	0.67	0.48	0.40	0.35	0.00

Tabella 7.1: Probabilità di successo sul PRACH

A titolo di esempio, se vi sono 3 richieste nella stessa trama allora la probabilità che una di queste sia correttamente ricevuta dalla BTS è pari a 0.48; le altre due richieste non vengono sicuramente soddisfatte.

Una richiesta di accesso arrivata con successo al PRACH_controller viene passata al RSC_allocator che è il responsabile, nel modello, dell'assegnazione dei canali; il RSC_allocator, una volta analizzata la richiesta del mobile, inserisce in calendario una Packet Uplink Assignment diretta verso il mobile stesso; la modalità di inserimento di questa informazione di segnalazione dipende dal livello di dettaglio con cui si vuole simulare questa risposta; nella versione attuale del simulatore si è previsto che questa informazione di controllo sia inserita nel calendario degli eventi e schedata alla prima occorrenza del PAGCH. La struttura del simulatore è, comunque, tale da permettere una simulazione accurata dei canali di controllo come il PAGCH, nel caso in cui tale livello di dettaglio si renda necessario in futuro; per tale tipo di gestione occorrerebbe soltanto utilizzare il modulo PAGCH_controller in modo analogo al PRACH_controller. Il PAGCH_controller utilizzato nelle simulazioni ha il compito di memorizzare l'informazione relativa alla disposizione dei blocchi PAGCH sui canali di controllo e di informare il RSC_allocator sulla differenza temporale fra la trama che si sta schedando e la prossima occorrenza di tale canale di segnalazione. Il modello, da un lato,

non appesantisce la simulazione con una gestione rigorosa dell'informazione di controllo trasmessa sul PAGCH e, dall'altro, evita di trascurare l'intervallo temporale presente fra la trama in cui viene inviata la Packet Channel Request e le occorrenze del canale PAGCH. Risulta, dunque, possibile analizzare come il numero e la disposizione delle trame PAGCH influenzi il tempo di accesso di un mobile alla rete e quali sono le disposizioni migliori fra le occorrenze dei canali PAGCH e PRACH.

Il mobile, ricevuta la Packet Uplink Assignment nel blocco riservato al PAGCH, inserisce in calendario una Packet Resource Request diretta all'RSC_allocator secondo il protocollo standard, ovvero attendendo un tempo pari a quello segnalato nel campo *Single Block Allocation* della stessa informazione di controllo; il mobile, contestualmente a questa richiesta, termina i tentativi di accesso al PRACH, comunica al PRACH_controller che lo ha in gestione di avere terminato le richieste di accesso ed aggiorna le statistiche relative ai tempi di accesso ed al numero di tentativi effettuati. La procedura di accesso si conclude con la trasmissione, dalla rete al mobile, di una nuova Packet Uplink Assignment (in risposta alla Packet Resource Request) che ha il compito di fornire una *Allocation Bitmap* indicante le risorse concesse al mobile. La gestione di tale trasmissione segue la stessa procedura indicata per la prima Packet Uplink Assignment trasmessa dalla rete al mobile. La *Allocation Bitmap* memorizza informazioni quali il tipo di accesso concesso al mobile in uplink (fisso, dinamico, dinamico esteso), i PDCH in cui questo è in grado di trasmettere, ecc. La procedura di accesso termina con la comunicazione ai livelli superiori dell'avvenuta connessione come definito dal protocollo standard.

La precedente descrizione si basa sull'ipotesi di allocazione immediata delle risorse per il mobile da parte dell'RSC_allocator; nel caso in cui questa circostanza non sia verificata è stata prevista la possibilità per la rete di inviare una Packet Access Queueing Notification o una Packet Access Reject verso il mobile. La Packet Access Reject provoca una conclusione anomala della procedura di accesso, con un conseguente aggiornamento delle statistiche relative a tale tipo di evento, ed è gestita da un modulo opportuno in modo tale da essere facilmente sostituito nel caso si vogliano implementare diversi tipi di politiche di rilascio delle risorse del sistema. La versione corrente del simulatore invia una Packet Access Reject nel caso in cui non vi siano risorse disponibili per la nuova richiesta ma è possibile anche inserire un qualsiasi tipo di algoritmo che consenta un rilascio prematuro delle risorse assegnate ad altri

utenti in modo tale da favorire traffici a diversa priorità o appartenenti a mobili con caratteristiche diverse.

In alternativa alla risposta negativa fornita da una Packet Access Reject, si è previsto che la rete possa inviare un messaggio di tipo Packet Queuing Notification in modo tale da evitare che il mobile continui a tentare accessi sul PRACH, consentendo di diminuire il traffico su tale canale fino alla scadenza dei timer opportuni lato MS. Il criterio di scelta è dipendente dalle scelte della BTS e non è stato standardizzato dall'ETSI.

7.4.2 Instaurazione di un TBF iniziata dalla rete

L'instaurazione di un TBF iniziata dalla rete segue le direttive definite al paragrafo 7.2 in [15]. Nel modello la richiesta viene effettuata dal livello RLC mediante una MAC-DATA_req avente come parametro la priorità del flusso che deve essere instaurato. Il livello MAC genera una richiesta di tipo Packet Channel Request verso il RSC_allocator, ovvero verso l'elemento funzionale che ha il compito di verificare la presenza di canali liberi sia in uplink che in downlink e di allocarli ai mobili che ne fanno richiesta. Il RSC_allocator, dopo avere determinato il tipo di allocazione necessaria a soddisfare la richiesta di QoS del TBF, deve verificare la presenza di tali risorse attraverso l'allocatore opportuno. La scelta della tipologia di allocazione e la quantità di risorse da allocare ad un TBF è una scelta dipendente dal gestore del servizio; lo standard lascia la massima libertà su questo punto nel rispetto dei vincoli di QoS definiti in [16] e di allocazione dei time slot definiti in [13]. Nella prime prove effettuate al simulatore si sono sfruttate le stesse metodologie di allocazione e di gestione delle risorse utilizzate per l'uplink senza, però, il vincolo sul numero di utenti che possono condividere lo stesso PDCH. Il numero di utenti multiplati sullo stesso canale può risultare maggiore agli otto definiti per l'uplink anche se si è deciso di non varcare tale soglia per mantenere un comportamento omogeneo nei due sensi della comunicazione. Il tentativo di allocazione delle risorse si conclude con una Packet Downlink Assignment o con una Packet Access Reject sulla pila protocollare definita all'interno della BTS. Se l'allocazione ha esito positivo, la BTS (o meglio la pila protocollare duale a quella del mobile all'interno della BTS) trasmette, in downlink, la Packet Uplink Assignment con l'indicazione dei PDCH allocati al mobile.

Nelle simulazioni non si è tenuto in considerazione il *paging* verso la mobile station per determinare la BTS sotto il cui controllo si trova il mobile; questa informazione è stata trascurata supponendola nota ed una richiesta di

comunicazione arriva direttamente alla BTS che ha in carico il mobile. A questo punto il mobile è stato avvertito della richiesta di comunicazione in downlink ed il trasferimento dei dati può iniziare secondo gli algoritmi definiti dal protocollo standard, come verrà indicato nei prossimi paragrafi.

7.4.3 Trasferimento dati in uplink

Il trasferimento in uplink degli RLC data block è stato implementato secondo i protocolli standard definiti in [15]. Le modalità di trasferimento per la trasmissione in uplink sono già state definite al cap. 3.3.4 ed in questo paragrafo ne viene analizzato soltanto il modello implementato per le simulazioni.

Il simulatore è stato sviluppato con l'obiettivo primario di analizzare nel dettaglio l'allocazione delle risorse agli utenti al variare del tipo di richiesta e della qualità del servizio che la rete è tenuta a mantenere secondo quanto definito in [16]; tenendo presente questa considerazione, si è deciso di analizzare nel dettaglio i tre tipi di allocazione previsti dallo standard ovvero l'allocazione dinamica, dinamica estesa e fissa. Questa scelta, come si è già visto analizzando il modello della BTS, ha portato alla creazione dei tre moduli di gestione chiamati rispettivamente Dyn_alloc, E_dyn_alloc e Fixed_alloc. La modularità utilizzata in questa parte del simulatore consente di analizzare nel dettaglio le tre metodologie di allocazione e di confrontarne pregi e difetti al variare delle caratteristiche di traffico; un ulteriore sviluppo nell'utilizzo di questo simulatore potrebbe essere l'identificare algoritmi di scelta di allocazione opportuni una volta ricavati i campi di utilizzo in cui i tre schemi offrono le prestazioni migliori. Il trasferimento dei dati in uplink segue, per tutti i tipi di allocazione previsti, una stessa sequenza logica di passi:

- **Definizione della modalità di trasferimento ed assegnazione delle risorse da parte dell'RSC_allocator:** in questa fase viene scelto il tipo di allocazione che la rete fornisce al mobile ed a cui il mobile si dovrà attenere nella gestione dei propri algoritmi; una volta scelta la metodologia, vengono decise le risorse da assegnare ai mobili per la comunicazione basandosi su opportuni algoritmi; la procedura termina con l'invio della *Allocation Bitmap* al mobile tramite un messaggio di segnalazione di tipo Packet Uplink Assignment.
- **Schedulazione delle trame:** una volta che al mobile sono state assegnate le risorse, gli schedulatori presenti all'interno del TX_allocator determinano, mediante i propri algoritmi, i mobili abilitati a trasmettere su tutti i PDCH

GPRS in una trama per un periodo di tempo pari ad un blocco radio (quattro trame consecutive sullo stesso PDCH). In questa fase emerge l'utilizzo a pacchetto dell'interfaccia radio e devono essere definiti gli opportuni algoritmi di schedulazione che consentono la multiplazione degli utenti in modo tale da attenersi alle specifiche definite in [13].

- **Gestione delle trasmissioni e delle ricezioni:** in questa fase si implementa il comportamento del protocollo standard in seguito alla trasmissione di un blocco dati lato mobile ed in seguito alla ricezione dello stesso blocco lato BTS (e viceversa).

Una volta introdotta questa sequenza logica, viene ora analizzato in maggiore dettaglio il comportamento del simulatore per i tre tipi di allocazione facendo riferimento ai passi appena evidenziati.

- **Allocazione dinamica:** il RSC_allocator dopo avere determinato che il mobile necessita di una allocazione dinamica dei canali, in base ai propri algoritmi di gestione ed alle informazioni che gli sono pervenute tramite la Packet Resource Request, deve allocare le risorse al TBF che sta per essere instaurato. La scelta dei canali avviene secondo moduli di gestione intercambiabili (i tre allocatori) in modo da garantire la necessaria scalabilità nel caso in cui si voglia verificare l'efficienza del modulo a parità di condizioni al contorno. Il modello di allocazione prevede che venga inviata al mobile un Allocation Bitmap che include gli identificativi dei PDCH in cui tale mobile si può aspettare una occorrenza del proprio USF per la trasmissione in uplink. La realizzazione prevede la presenza di una Dyn_matrix (definita nel modello della BTS) che permette, PDCH per PDCH, di memorizzare i mobili che sono stati allocati su di un particolare canale. Il numero massimo di mobili che possono condividere lo stesso PDCH è stato fissato pari ad otto per attenersi alle specifiche standard sul numero di USF disponibili su di un particolare canale; è stata, inoltre, implementata la possibilità che ad un mobile vengano allocati fino ad otto PDCH in contemporanea per potere simulare in dettaglio la *Multislot Configuration Capability* secondo le configurazioni definite in [13]. Il modello scelto è estremamente fedele allo standard, dove l'allocazione delle risorse avviene in fase di instaurazione della chiamata e viene mantenuto fino a quando non viene inviata una nuova Packet Uplink Assignment o un qualunque altro messaggio di segnalazione che porta ad una modifica dei canali disponibili; l'allocazione diventa, dunque, un'operazione scorrelata

dall'effettiva schedulazione delle trame sui vari PDCH operata dal TX_allocator, che deciderà quale mobile potrà trasmettere nella trama successiva (o meglio nel blocco successivo come si vedrà in seguito) in base all'allocazione definita dall'RSC_allocator ed in base ai propri algoritmi di gestione. Una volta definita l'allocazione dei canali, la BTS trasmetterà al mobile l'*Allocation Bitmap* tramite un messaggio di Packet Uplink Assignment.

La seconda fase consiste nella schedulazione delle trame da parte del TX_allocator per la modalità dinamica; il TX_allocator, frame per frame, richiede ai tre tipi di schedulatori di ricavare mediante i propri algoritmi quali sono i mobili abilitati a trasmettere sui vari PDCH. Il Dyn_sched (lo schedulatore definito per la modalità dinamica) richiede al RSC_allocator la lista dei mobili abilitati a trasmettere su di un certo PDCH e, attraverso questa informazione, determina l'utente che potrà effettivamente trasmettere. La decisione è presa in base ad algoritmi di gestione interni al modulo di schedulazione dinamica e potrà essere basata sia su informazioni di gestione della BTS nel suo complesso, sia in base alle informazioni memorizzate nell'RSC_allocator sia, infine, su parametri propri dei livelli trasmissivi delle pile protocollari dei mobili. Da questo punto di vista risulta evidente come la suddivisione dei compiti fra un allocatore delle risorse ed uno schedulatore sia una scelta che, da un lato, permette una modularità di gestione importante nella costruzione di un simulatore e, dall'altro, non limita in alcun modo gli algoritmi visto che i due moduli possono scambiarsi tutte le informazioni necessarie ad una gestione contemporanea delle risorse. Visto che, in GPRS, un mobile abilitato a trasmettere mantiene il possesso del PDCH che gli è stato assegnato per quattro trame successive nello stesso blocco radio, il modello di assegnazione dei canali prevede che lo schedulatore riservi le risorse corrispondenti nella Tx_matrix. La scelta del mobile abilitato a trasmettere viene, dunque, effettuata una volta all'inizio di un blocco radio, mentre la schedulazione della trasmissione è mantenuta trama per trama. Una volta determinato il possessore del successivo blocco radio, lo schedulatore "segna" il suo identificativo nella Tx_matrix per quattro trame consecutive e poi gestisce il prossimo PDCH.

L'ultima fase consiste nella trasmissione della trama radio, da parte del mobile abilitato a trasmettere, secondo il protocollo standard definito in [15]. Dal momento che la trasmissione di un mobile, in GPRS, è definita

per blocchi radio corrispondenti a quattro trame consecutive, si sono dotati i mobili della capacità di ricavare il numero di trama relativo all'interno del blocco. Questa scelta permette di effettuare la trasmissione del blocco dati una volta raggiunta la quarta trama relativa, evitando un ulteriore frazionamento dell'unità di informazione (la M-PDU) in trasmissione ed una ricombinazione in fase di ricezione. Il comportamento del protocollo è, comunque, mantenuto aderente allo standard che prevede l'analisi delle informazioni pervenute dal livello fisico ed il passaggio dei dati al livello superiore soltanto nel momento in cui l'intero blocco radio è stato ricostruito in fase di ricezione. Il mobile prescelto per la trasmissione viene, dunque, abilitato a trasmettere simulando l'invio dell'USF opportuno grazie all'identificativo memorizzato nella Tx_matrix ed il blocco radio viene estratto dalla coda in trasmissione ed inserito nella coda duale in ricezione. Le azioni seguenti la trasmissione lato MS e la successiva ricezione lato BTS seguono fedelmente il comportamento del protocollo standard definito al cap 3.3.4 e non vengono qui riportate.

- **Allocazione dinamica estesa:** all'interno del simulatore sono stati inseriti un opportuno modulo di allocazione dinamica estesa delle risorse radio nel RSC-allocator ed il relativo schedatore nel TX-allocator. Non sono stati implementati i relativi algoritmi di gestione ma, visto che il modello di allocazione dinamico esteso segue fedelmente il modello descritto per la modalità dinamica, non sarà necessaria l'introduzione di nuovi elementi funzionali all'interno della BTS; la scelta fra l'allocazione dinamica e quella estesa è lasciata agli operatori e non è definita negli standard quindi, all'interno del modulo di selezione, si dovrà definire un opportuno algoritmo di selezione in grado di prendere tale decisione. Le differenze rilevanti sono da ricercarsi a livello di algoritmi di gestione e non di modello strutturale dell'allocator. Tutti i passi descritti per l'allocator dinamico risultano, dunque, validi anche per quello dinamico esteso mentre le differenze risiedono negli algoritmi di allocazione dei canali ed in quelli di schedulazione dei mobili sui vari PDCH. Gli algoritmi che si intendono utilizzare devono fornire una'allocazione di canali aderente al modello standard definito in [13] ed una schedulazione aderente a quanto definito in [15]. L'allocazione di tipo dinamico esteso è di tipo opzionale per la rete e nel modello attuale all'interno del simulatore questo si riflette anche a livello di schedulazione delle trame; nella versione attuale del simulatore si cerca di servire i mobili in modo esteso soltanto se gli schedatori

dinamico e fisso (come si vedrà nel successivo paragrafo) hanno lasciato delle risorse disponibili per questo tipo di allocazione. La scelta della priorità relative con cui gestire i vari schedulatori è un parametro che potrà essere modificato una volta appurata l'efficienza di questo tipo di gestione dei canali ed una volta analizzato il contesto di traffico e di qualità del servizio che meglio si adattano ad essere gestiti in modo dinamico esteso.

- **Allocazione fissa:** il RSC_allocator dopo avere determinato che il mobile necessita di un'allocazione fissa dei canali deve scegliere, in base ai propri algoritmi di gestione ed alle informazioni che gli sono pervenute tramite la Packet Resource Request, quali risorse allocare al TBF che sta per essere instaurato. Il modello che si è utilizzato per simulare il comportamento di un'allocazione fissa delle risorse radio sfrutta una matrice (chiamata Fixed_matrix) per memorizzare la corrispondenza fra il blocco radio ed il mobile beneficiario dell'allocazione. La Fixed_matrix memorizza su ogni PDCH i blocchi adibiti in modo fisso alla trasmissione dei dati di utente ed all'allocazione fissa dei canali logici di livello MAC secondo quanto definito in [15]; in tale matrice, quindi, sono memorizzate anche le allocazioni fisse dei canali di segnalazione (ad es. il PRACH) in modo tale da avere una visione d'insieme delle risorse radio assegnate in modo statico ad un particolare modulo per una serie consecutiva di multiframe; sia un canale di segnalazione che un blocco utente possono essere visti come una risorsa radio allocata nella Fixed_matrix. L'allocatore fisso (Fixed_alloc) determina il numero di blocchi radio che devono essere assegnati alla trasmissione di un mobile, la loro disposizione all'interno della multiframe, ed i PDCH su cui allocare tali risorse. Una volta determinati tali blocchi, i campi corrispondenti nella Fixed_matrix vengono utilizzati per puntare all'oggetto che dovrà essere gestito in quella particolare occorrenza di trama. Gli algoritmi di allocazione sono, anche in questo caso, modulari in modo tale da garantire la massima espandibilità del sistema. La modalità di allocazione che si è presa in considerazione è stata del tipo *open-ended* mentre quella *close-ended* è stata trascurata perché ritenuta non significativa visti i risultati che si volevano ottenere. L'RSC_allocator, una volta determinati i blocchi radio assegnati al TBF, trasmette una Packet Uplink Assignment al mobile nella prima occorrenza di PAGCH fornendo l'*Allocation Bitmap*; l'*Allocation Bitmap* memorizza l'informazione relativa al tipo di allocazione prescelta (fixed-allocation) ed il dettaglio dei blocchi assegnati al mobile per i PDCH della sua *time slot allocation*. L'allocatore

fisso è l'elemento essenziale di tutto il trasferimento dati in modalità fissa poiché incorpora sia la gestione dell'allocazione dei canali che, contemporaneamente, la loro implicita schedulazione visto che nessuna possibilità di scelta è lasciata allo schedulatore.

La schedulazione dei PDCH segue le procedure descritte per la schedulazione dinamica; il TX-allocator, all'inizio di ogni blocco, ordina allo schedulatore fisso di determinare i mobili aventi il diritto di trasmettere sui vari PDCH che sono adibiti al GPRS. Il Fixed_sched (ovvero il modulo che implementa lo schedulatore fisso) chiede al RSC_allocator l'entità che ha il diritto di gestione delle seguenti quattro trame radio e ne scrive l'identificativo all'interno della Tx_matrix. Il compito svolto da questo tipo di schedulatore è, dunque, molto semplice e consta soltanto della richiesta all'RSC_allocator e della seguente scrittura dell'identificativo senza possibilità di decisione autonoma. La presenza di questo blocco è, tuttavia, molto importante a livello sistemistico in quanto è in grado di trattare contemporaneamente mobili in trasmissione, in ricezione, e canali di controllo; il Fixed_sched chiede l'identificativo del possessore del blocco e mappa mobili in trasmissione e canali di controllo sulla Tx_matrix in modo tale da garantire la massima espandibilità del sistema. Ad esempio il canale di controllo PRACH ed un mobile in trasmissione possono essere memorizzati entrambi sulla Tx_matrix e la loro diversificazione avviene soltanto nella fase di trasmissione vera e propria ad opera dei moduli opportuni (il PRACH_controller da una parte ed il TX-buffer dall'altra). Il Fixed_sched è dunque un elemento passivo all'interno del sistema e proprio per questo è l'elemento più facilmente espandibile; se, ad esempio, si vorrà estendere il sistema per ottenere una simulazione dettagliata di nuovi canali di controllo (PAGCH, ecc.) sarà sufficiente utilizzare il modulo responsabile all'interno della BTS come fatto per il PRACH_controller ed inserirlo nell'allocazione fissa della Fixed_matrix senza modificare in alcun modo il Fixed_sched. La schedulazione delle trame è identica al modulo dell'allocazione dinamica così come è identico il comportamento del mobile in seguito ad una concessione di trasmissione. Le differenze risiedono nelle conseguenze che la trasmissione produce nella pila protocollare e tali differenze vengono implementate secondo il protocollo standard definito in [15]. La descrizione di tali procedure segue il modello descritto al cap 3.3.4. e viene, dunque, omessa.

L'analisi delle modalità di allocazione delle risorse in uplink e la conseguente

trasmissione dei blocchi MAC che è appena stata riportata non deve portare a pensare che la gestione dei tre moduli sia mantenuta separata; la scelta della modalità di allocazione dei canali ai mobili è stata, volutamente, non standardizzata da parte dell' ETSI in modo tale da permettere una grande libertà di gestione agli operatori; L'allocazione dei canali ai mobili segue una gerarchia di priorità conseguente ai tipi di allocazione permessi; la schedulazione di tipo fisso mantiene una priorità maggiore rispetto a quella dinamica in quanto i blocchi allocati dallo schedulatore fisso devono risultare occupati a quello dinamico. Un eventuale politica di gestione che prediliga l'allocazione di mobili con assegnazione dinamica dovrebbe fare in modo di gestire l'invio di opportuni messaggi di segnalazione dalla rete al mobile con allocazione fissa per informarlo che vi è stato un cambiamento nell'assegnazione dei propri canali. La decisione opposta, invece, non provoca alcuna segnalazione in quanto l'utente stesso non conosce con precisione i blocchi in cui è abilitato a trasmettere su di un PDCH poiché questi vengono specificati soltanto attraverso la trasmissione dell'USF; bisogna, in questo caso, garantire che il numero di utenti allocati in modalità dinamica sul PDCH sia pari al massimo a sette (numero di USF disponibili meno uno) in modo tale da evitare che un utente di tipo dinamico riconosca l'USF, che inevitabilmente viene trasmesso all'inizio di un blocco, come proprio e decida di trasmettere causando un conflitto sull'interfaccia radio.

7.4.4 Trasferimento dati in DOWNLINK

Il comportamento del protocollo standard per la comunicazione in downlink, come già visto al capitolo 3.3.5, risulta estremamente più semplice paragonato al corrispettivo in uplink. Questa semplicità si riflette anche nell'implementazione degli algoritmi di gestione all'interno del simulatore che risultano molto scarni ed essenziali. L'RSC_allocator, in seguito ad una richiesta di tipo Packet Channel Request, ritorna una *Allocation Bitmap* che viene trasferita al mobile mediante una Packet Downlink Assignment secondo gli algoritmi standard. L'invio della *Allocation Bitmap* è preceduto dalla memorizzazione degli identificativi dei mobili all'interno di strutture dati analoghe alle matrici che sono state definite per l'uplink. Nelle matrici vengono memorizzati i puntatori ai livelli trasmissivi delle pile protocollari e, in particolare, viene memorizzato il Mac-Buffer in trasmissione presente all'interno della BTS. La gestione della schedulazione delle trame segue il modello definito per l'uplink dove, blocco per blocco, si definisce il possessore

delle successive quattro trame radio. La schedulazione effettiva avviene trama per trama ma soltanto nell'ultima un blocco dati viene trasferito dal livello MAC in trasmissione a quello in ricezione, sfruttando i MAC-Buffer presenti all'interno dei due livelli. La gestione degli algoritmi di schedulazione è, per il momento, trasferita agli stessi blocchi strutturali definiti per l'uplink ma si può prevedere che, vista la centralizzazione delle risorse presente in una comunicazione in downlink, tale gestione verrà affidata a moduli specializzati in tale tipo di schedulazione. In downlink, infatti, la rete possiede informazioni più dettagliate sul traffico che sta caratterizzando il TBF come, ad esempio, lo stato di riempimento delle code o la quantità di dati in arrivo dal SGSN; tali informazioni potrebbero, in linea di principio, essere utilizzate per la creazione di algoritmi di gestione *ad-hoc* delle risorse, la cui implementazione è uno dei principali punti di concorrenza fra gli operatori del settore. Il livello MAC presente in ricezione all'interno del MS non deve fare altro che mettersi in attesa delle informazioni provenienti dal livello duale presente all'interno del MAC della BTS; il blocco dati, una volta giunto a destinazione, viene analizzato e, dopo aver aggiornato le statistiche, viene passato al livello RLC. Questa struttura viene mantenuta per tutta la durata della comunicazione fino ad un'indicazione, da parte del livello RLC superiore, di una TBF_release del flusso dati in downlink o della *countdown procedure* che viene utilizzata per terminare in modo normale il TBF. Il MAC lato MS mantiene la possibilità di rilascio del TBF nel caso in cui non riceva blocchi dati per un tempo superiore a quello definito per il timer T3190; la scadenza di questo timer, che viene fatto ripartire ad ogni blocco dati ricevuto, provoca una Abnormal release delle risorse lato MS.

7.4.5 Handover intra-SGSN

Il modello di mobilità definito nel simulatore è stato oggetto di discussione all'interno del paragrafo 6.3 e, ora, si vogliono descrivere le conseguenze che tale evento provoca all'interno del livello MAC. In seguito alla decisione di handover, presa dal modulo opportuno all'interno del MS, il MAC deve seguire una serie di procedure che dipendono dallo stato in cui si trova il mobile. All'arrivo di una segnalazione di handover si deve, in ogni caso, eseguire una Abnormal_release del TBF eventualmente instaurato per essere conformi a quanto definito in [15]; le differenze di gestione di un handover possono essere così riassunte in base allo stato del mobile:

- **WAITING:** in questo stato il mobile è in attesa di accesso alla BTS e si

trova memorizzato nella lista del PRACH-controller. Un handover provoca, dunque, un messaggio di rilascio al PRACH-controller in modo tale da evitare fenomeni di inconsistenza all'interno del simulatore.

- **WORKING:** un mobile in stato working ha delle risorse allocate per mezzo del RSC-allocator e deve effettuare una segnalazione di tipo TBF_release verso il proprio corrispettivo nella BTS.

In ogni caso, comunque, il MAC deve svuotare i propri buffer di trasmissione e di ricezione e deve disabilitare tutti i timer attivi nel sistema. Nel caso fosse stata attiva una trasmissione dati in uplink il mobile dovrà prevedere l'instaurazione di un nuovo TBF secondo quanto definito al capitolo 7.4.1.

La procedura termina con l'indicazione ai livelli superiori dell'avvenuto rilascio che porterà il mobile nello stato di IDLE.