

# Capitolo 3

## I livelli sull'interfaccia $U_M$

In questo capitolo vengono descritti i livelli della pila protocollare del sistema GPRS che sono responsabili della comunicazione fra il mobile e la *Base Station Subsystem*. L'interfaccia di riferimento che è stata analizzata in dettaglio in questo lavoro di tesi è indicata con la sigla  $U_m$  in fig. 2.1.

### 3.1 Le interazioni fra i livelli

Lo scopo di questo paragrafo è di fornire una descrizione delle funzioni di livello RLC/MAC (*Radio Link Control/Medium Access Control*) e delle sue interazioni con gli altri livelli; la descrizione dettagliata delle procedure interne sarà oggetto dei prossimi paragrafi.

La struttura della connessione del livello RLC/MAC con gli altri elementi del sistema è indicata in figura 3.1.

Come si può vedere il livello RLC/MAC è uno dei blocchi che compongono, nell'architettura GSM/GPRS, il livello definito come *RR-Sublayer*. Questo blocco comprende sia le funzionalità di gestione tipiche del sistema GSM che di quello GPRS; la gestione dei due sistemi può essere riunita a livello del blocco definito *RR-Management*. Il *RR-Sublayer* è definito in GSM 04.07 [11] mentre le interazioni GSM/GPRS in GSM 04.08 [12].

Per l'introduzione dei servizi GPRS è, dunque, necessaria una modifica dell'architettura protocollare interna definita per il sistema GSM. Tale modifica influenza, a livello di *RR-sublayer*, il blocco identificato con la sigla *RR-Management* che deve evolvere dai compiti di gestione dei canali GSM verso quelli di un ambiente in cui convivono le esigenze dei canali a commutazione di circuito e di pacchetto.

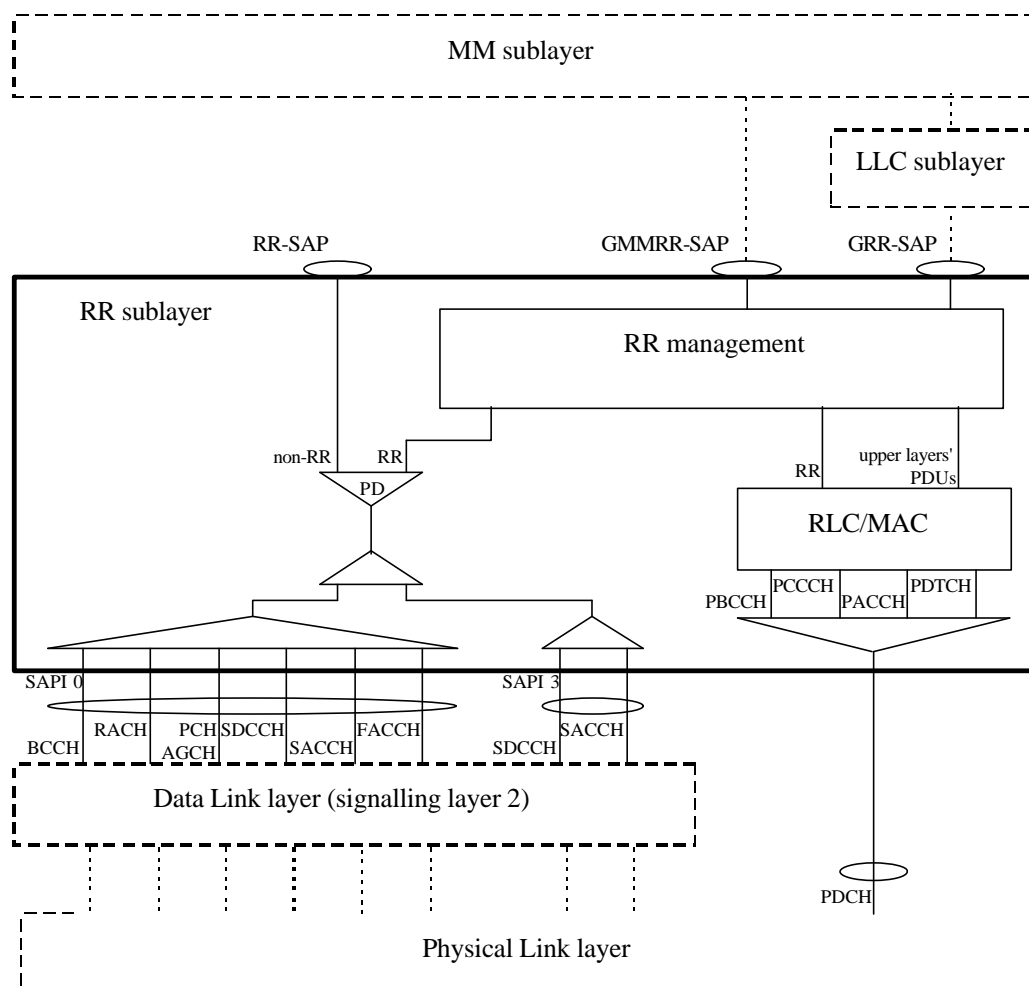


Figura 3.1: Interazione RR-sublayer con RLC/MAC

### 3.1.1 RR-Management

Il blocco di RR-Management è l'entità responsabile della gestione dei canali di segnalazione GSM e tale funzionalità è stata estesa per permettere la gestione dei corrispettivi canali in ambito GPRS. Il RR-Management, dunque, implementa le funzionalità di gestione della segnalazione nel caso in cui si decida di utilizzare i canali di segnalazione GSM per trasportare la segnalazione GPRS. L'insieme dei canali in ingresso al Data Link layer sono relativi al traffico dati e di controllo del sistema GSM e non vengono trattati in questa sede.

Il blocco RLC/MAC è connesso al GRR/SAP, analizzato nel paragrafo di descrizione del LLC, in modo tale da convogliare l'informazione verso i canali

di livello fisico. Il blocco di RR-Management costituisce un'intermediazione fra questi due livelli in modo tale da garantire la gestione dei canali di controllo nel caso in cui si voglia evitare al livello RLC/MAC tale incombenza. Questa scelta riflette il percorso che si è deciso di intraprendere per il processo di standardizzazione del sistema GPRS. I canali di controllo GPRS, in analogia con quello che succede per i canali dati, non vengono mantenuti sempre attivi all'interno di una cella ma vengono allocati secondo le esigenze ed il carico puntuale della rete. Nel caso in cui non vi sia traffico sufficiente a giustificare la presenza di canali di segnalazione GPRS, si è prevista la possibilità di non attivare tali canali moltiplicando le informazioni di controllo dei due sistemi sui canali GSM. Nel caso in cui il carico della rete diventi tale da richiedere canali di segnalazione dedicati al GPRS, il blocco RLC/MAC diventa il gestore di tali canali rendendo quasi trasparente la presenza del sottolivello di RR-Management nella gestione dei canali propriamente adibiti a GPRS.

Un mobile può assumere diversi stati RR a seconda della modalità operativa in cui è impegnato; la descrizione dettagliata delle procedure di RR e la definizione degli stati operativi è descritta in [8]. Un mobile impegnato nella gestione di servizi a pacchetto può trovarsi in due diversi stati:

- **Packet IDLE mode:** in questo stato il mobile non ha un collegamento RLC attivo con la pari entità presente all'interno della BTS. I livelli superiori possono effettuare una richiesta di trasferimento dati (LLC-PDU) che implicitamente porta il mobile ad iniziare la procedura di connessione. Tale richiesta provoca una transizione nello stato di Packet TRANSFER mode. Un mobile, in stato di IDLE, deve porsi in ascolto del PBCCH e dei canali di paging per una eventuale chiamata da parte della rete.
- **Packet TRANSFER mode:** questo stato è caratterizzato dalla connessione di livello RLC/MAC fra mobile e BTS. Il mobile, in stato TRANSFER, ha delle risorse allocate a livello radio e può effettuare il trasferimento di una o più LLC-PDU. Nella selezione di una nuova cella il mobile deve lasciare lo stato TRANSFER, portarsi nello stato IDLE e rileggere le informazioni di sistema della nuova BTS. Una volta acquisite tutte le informazioni il mobile potrà di nuovo tentare una richiesta di connessione.
- **DUAL-TRANSFER mode:** in questa modalità il mobile ha sia una connessione a circuito che una connessione a pacchetto attive. Questa modalità può essere supportata soltanto da mobili di classe A.

Le possibili transizioni da uno stato ad un altro dipendono dalla classe del mobile; nelle figure 3.2 e 3.3 vengono rappresentati gli stati e le transizioni che si verificano all'interno di un terminale mobile a seconda della classe di appartenenza. La spiegazione dettagliata di tali procedure è riportata al paragrafo 3.3.

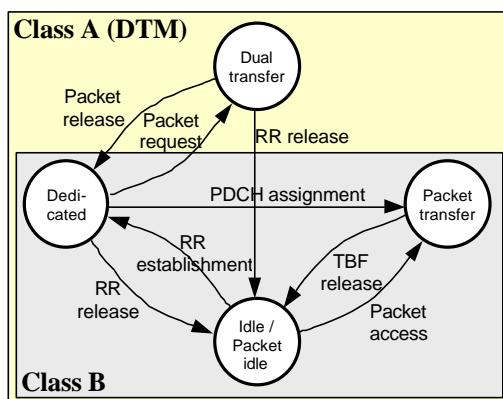


Figura 3.2: Modalità operative e transizioni per MS di classi A e B

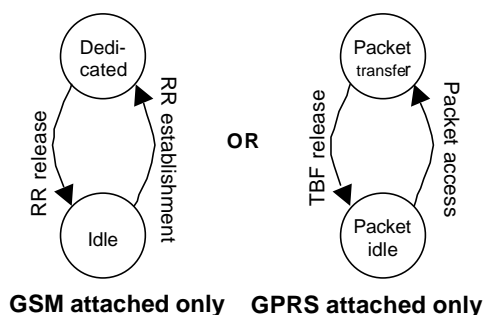


Figura 3.3: Modalità operativa e transizione per MS di classe C

### 3.1.2 Il sottolivello RLC/MAC

I compiti principali del livello MAC sono:

- **Multiplexing di dati e controllo:** tale funzionalità è centralizzata nella BTS sia per l'uplink che per il downlink. Per il downlink, il *multiplexing* è controllato da un meccanismo di *scheduling* mentre per l'uplink si ha una allocazione distribuita del mezzo trasmissivo fra i vari utenti gestita in modo centralizzato dalla BTS.

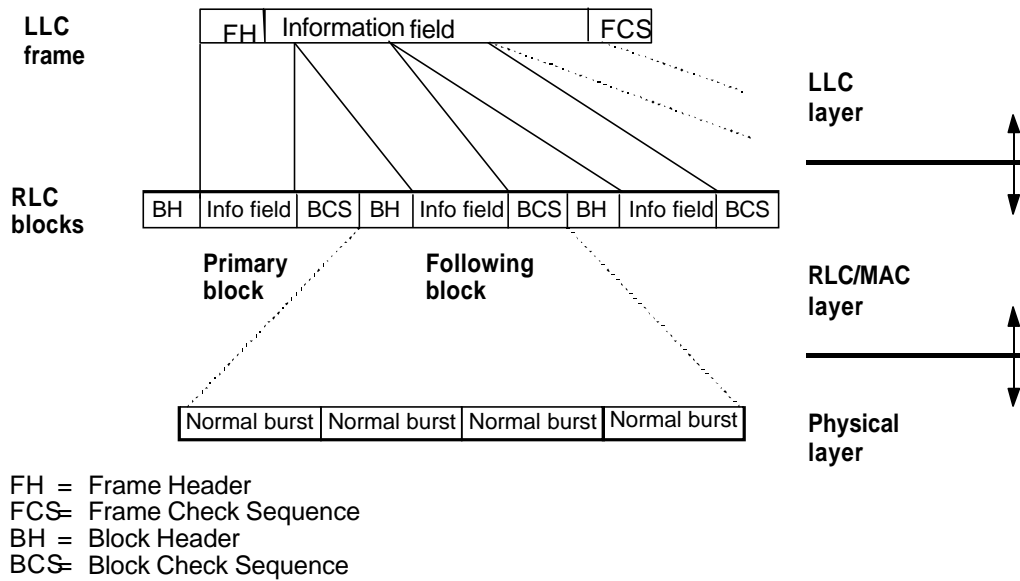
- **Risoluzione delle contese:** l'accesso alla rete, in uplink, avviene sfruttando un canale di segnalazione comune basato sulla tecnica Slotted-Aloha. La rete è responsabile per l'individuazione e la risoluzione delle contese durante l'accesso.
- **Gestione delle priorità:** il MAC all'interno della rete è responsabile della gestione delle priorità durante una comunicazione in downlink e di una allocazione dei canali secondo le direttive dei livelli superiori in modo tale da soddisfare le richieste di QoS definite in fase di instaurazione della comunicazione.

I compiti principali del livello RLC sono:

- **Interfacciare il livello LLC a quello MAC:** in modo tale da gestire il trasferimento delle LLC PDU.
- **Segmentazione e riassettaggio:** le LLC-PDU vengono segmentate in RLC-blocks per avere una dimensione tale da essere compatibili con la trasmissione a livello fisico.
- **Backward error correction:** è prevista la trasmissione dei RLC block in modalità unacknowledged o acknowledged sfruttando un meccanismo di ritrasmissione di tipo ARQ (*Automatic Repeat Request*).

Un esempio di procedura di attraversamento delle informazioni tra il livello LLC ed il livello fisico è indicata in figura 3.4.

Come si può vedere, una LLC-PDU è passata al livello RLC (mediante il GRR-SAP); questa PDU viene segmentata a livello RLC per renderla compatibile con lo schema di codifica che verrà adottato a livello fisico (le codifiche standardizzate sono indicate in tabella 3.2). A livello RLC viene aggiunto un *header* ed un campo *Block Check Sequence* (BCS) per la rilevazione d'errore in ricezione. Ad ogni blocco di livello RLC corrisponde un blocco a livello MAC e l'*header* opportuno (sottinteso in figura) viene aggiunto. Il blocco MAC che ne risulta viene trasmesso sul canale radio mediante quattro *Normal Burst* su quattro timeslot consecutivi appartenenti allo stesso PDCH.



**Figura 34: Rice-trasmissione di un flusso dati**

La comunicazione con il livello fisico avviene attraverso un certo numero di canali definiti come canali logici. I canali logici sono divisi in due sottoclassi a seconda del tipo di informazione che le entità di pari livello vogliono scambiarsi:

- **Canali di traffico:** trasportano la comunicazione dati e sono costituiti dall'unico canale logico PDTCH; tutti i dati utente vengono multiplexati su questo canale
- **Canali di controllo:** trasportano l'informazione di controllo relativa sia alla cella che al singolo utente e sono costituiti da PBCCH, PCCCH e PACCH.

Si riporta ora una breve descrizione dei canali logici e del loro utilizzo all'interno del sistema GPRS.

- **PDTCH (Packet Data Traffic Channel):** è il canale logico utilizzato per il trasferimento dei dati. È temporaneamente dedicato ad un MS o ad un gruppo di MS nel caso di comunicazione punto-multipunto. Nel caso di comunicazione *multislot*, ad un mobile possono venire allocati più PDTCH. Tutti i PDTCH sono unidirezionali e sono differenziati in base all'instaurazione di una comunicazione in uplink oppure in downlink. L'utilizzo combinato di canali di traffico in entrambe le direzioni si realizza mediante due diverse richieste di servizio.

- **PBCCH (Packet Broadcast Control CHannel):** il canale PBCCH invia in broadcast i parametri di sistema che vengono utilizzati dai mobili per accedere ai servizi a pacchetto offerti dalla rete. Il PBCCH, inoltre, trasmette le informazioni di controllo solitamente inviate sul canale GSM BCCH in modo tale che un mobile connesso ai servizi GPRS possa essere in grado di decodificare tutte le informazioni utili alla gestione dei canali a circuito ascoltando un unico canale di segnalazione comune. Essendo il PBCCH un canale opzionale, la sua presenza è indicata nelle informazioni di sistema inviate sul BCCH e, nel caso in cui il PBCCH non sia attivato, il BCCH diventa il canale di riferimento anche per i mobili GPRS.
- **PCCH (Packet Common Control CHannel):** è costituito da un insieme di canali di controllo comuni che vengono utilizzati in condivisione dai mobili all'interno di una cella. Questi canali trasportano i messaggi di controllo diretti ai MS ed alla rete nel caso in cui non siano stati ancora allocati canali dedicati per la segnalazione. Il PCCH è composto da sottocanali che vengono differenziati in base al tipo di informazione che trasportano:
  - **PRACH (Packet Random Access CHannel):** esiste soltanto in uplink e viene utilizzato dai MS per inviare alla rete le richieste di servizio. E' un canale a contesa di tipo Slotted-Aloha in cui sono possibili collisioni fra le richieste dei diversi mobili.
  - **PPCH (Packet Paging CHannel):** esiste soltanto in downlink e viene utilizzato per inviare una segnalazione di paging ad un mobile prima dell'instaurazione di una comunicazione a pacchetto.
  - **PAGCH (Packet Access Grant CHannel):** esiste solo in downlink e viene utilizzato durante l'instaurazione di una connessione per inviare informazioni riguardanti l'assegnazione delle risorse ad un MS.
  - **PNCH (Packet Notification CHannel):** esiste soltanto in downlink e viene utilizzato per inviare messaggi di tipo punto-multipunto ad un insieme specificato di mobili. L'invio di informazioni di tipo distributivo sfrutterà questo canale di controllo anche se il suo utilizzo non è ancora definito nell'attuale versione dello standard.

- **PACCH (Packet Associated Control CHannel):** è un canale di controllo dedicato a convogliare informazioni relative ad uno specifico MS. Questo canale di controllo è instaurato in seguito ad una richiesta di risorse e viene utilizzato per trasmettere informazioni di segnalazione come acknowledgment oppure per il controllo di potenza. Su questo canale si conclude la procedura di accesso ad un servizio mediante l'allocazione o la riallocazione delle risorse radio. Il PACCH viene multiplexato sullo stesso canale fisico che trasporta l'informazione appartenente al canale logico PDCH per un particolare mobile.

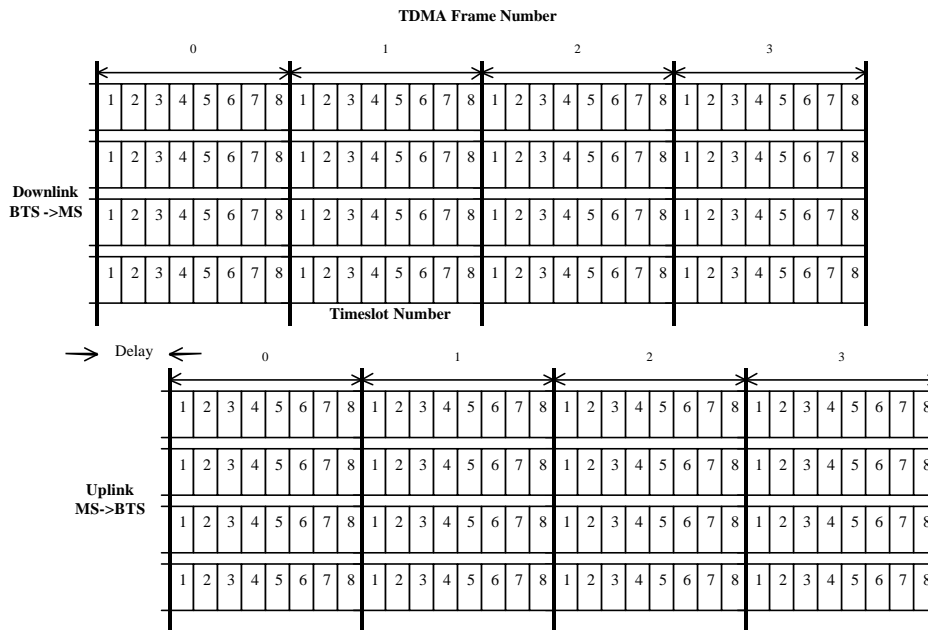
L'utilizzo dei canali logici e le informazioni che sono scambiate attraverso questi sarà dettagliata nei capitoli riguardanti i livelli RLC e MAC dove verranno, inoltre, descritte le procedure che sono state oggetto di studio nello sviluppo del simulatore.

### 3.1.3 Il livello Fisico

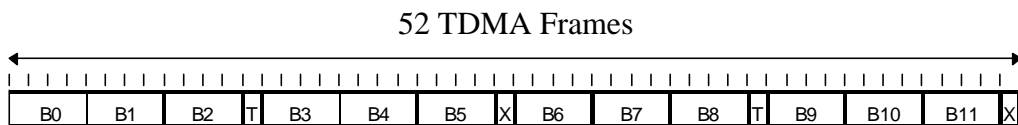
Il livello fisico utilizzato dal sistema GPRS si basa su quello attualmente in uso per il sistema GSM sovrapponendo a questo una diversa struttura logica. I canali di controllo e dati descritti al paragrafo precedente vengono multiplexati in divisione di tempo e frequenza sull'unico canale fisico standardizzato per il sistema GPRS; il canale fisico utilizzato per la multiplexazione viene identificato con la sigla **PDCH (Packet Data CHannel)**.

Un PDCH corrisponde ad un canale fisico GSM ed è definito tramite un numero di portante per una caratterizzazione nel dominio della frequenza e, nel dominio del tempo, con un numero di *timeslot* all'interno della portante indicata. La temporizzazione e la durata dei vari *timeslot* sono identici a quelli definiti per il sistema GSM e ne viene riportata una descrizione in fig. 3.5.

I canali logici definiti al paragrafo precedente vengono multiplexati nel tempo in modo tale da condividere lo stesso PDCH a livello fisico; la struttura definita per il GSM viene modificata mediante una struttura logica ad essa sovrapposta che permette questa multiplexazione. In figura 3.6 è evidenziata questa sovrapposizione.



**Figura 3.5: Struttura tempo-frequenza**



X = Idle frame  
 T = Frame used for PTCCH  
 B0 - B11 = Radio blocks

**Figura 3.6: Multitrama GPRS**

Le trame radio sono raggruppate a multipli di 52 elementi per formare una struttura definita come multitrama. La multitrama è suddivisa in 12 blocchi da quattro trame numerati da B0 a B11 in figura 3.6. A questi blocchi sono interposte quattro trame di IDLE, identificate con una 'X', che vengono lasciate libere dalla presenza del flusso informativo. La multitrama è un elemento periodico che si ripete ogni 52 trame. I vari canali logici, siano essi dedicati al trasferimento delle informazioni di controllo o di dato, vengono multiplati sulla base della suddivisione in blocchi definita al punto precedente; il blocco diventa, da questo punto di vista, la struttura base per il trasporto di un canale

logico. Un blocco radio sarà, dunque, adibito ad un unico canale logico e non sarà possibile la moltiplicazione di canali logici diversi all'interno dello stesso blocco. L'assegnazione dei blocchi ai vari canali logici viene inviata insieme alle informazioni di sistema trasmesse sul PBCCH, che ha una collocazione fissa all'interno della struttura di multitrama. Le occorrenze fisse dei canali logici vengono inserite nelle informazioni di sistema inviate sul PBCCH e la conversione delle informazioni avviene basandosi su tabelle definite in GSM 05.02.

I parametri utili alla comprensione dell'allocazione dei canali logici sono:

- **BS\_PBCCH\_BLKs(range 1..4):** indica il numero di blocchi allocati al PBCCH in una multitrama. Dal numero di blocchi si risale alle loro occorrenze in base alle tabelle di conversione precedentemente definite.
- **BS\_PCC\_CHANS:** indica il numero di canali fisici che trasportano canali di tipo PCCCH includendo quelli che trasportano il PBCCH
- **BS\_PAG\_BLKs\_RES:** indica il numero di blocchi in ciascuna multitrama che trasportano canali logici di tipo PCCCH che non siano di tipo PPCH o PBCCH. Questo numero, dunque, corrisponde al numero di blocchi riservati per PAGCH, PNCH, PDTCH e PACCH.
- **BS\_PRACH\_BLKs:** indica il numero di blocchi riservati in modo fisso al canale logico di tipo PRACH su ciascun PDCH che trasporta un canale logico PCCCH. Il canale PRACH merita, comunque, particolare attenzione in quanto è l'unico canale che ha anche la possibilità di avere occorrenze dinamiche all'interno di una multitrama, come verrà descritto in seguito.

Tutti i messaggi trasferiti dal livello MAC al livello fisico saranno inviati come una sequenza di quattro *Normal Burst* definiti per il sistema GSM; questo significa che ogni blocco conterrà un singolo messaggio che verrà trasferito in quattro trame consecutive sullo stesso PDCH. Questa tipologia di codifica e di trasmissione vale sia per i messaggi di controllo che per i messaggi dati.

L'unico canale a costituire eccezione è il PRACH in cui i messaggi trasferiti vengono codificati mediante *Access Burst* di tipo GSM. Questo significa che in ogni blocco dedicato al PRACH possono essere presenti fino a quattro messaggi diversi, uno per trama che costituisce il blocco, visto che *un Access Burst* è codificato in modo tale da occupare un solo *timeslot*.

Un blocco allocato ad un certo canale logico è dunque composto da un unico

"blocco radio" oppure, soltanto per il PRACH in uplink, da quattro *Random Access Burst*; la tipologia del canale logico mappato sul blocco radio varia soltanto fra *radio block* diversi.

Un altro aspetto importante che sarà utilizzato nella descrizione del livello MAC riguarda l'utilizzo del campo USF incluso all'interno dell'header dei blocchi MAC trasferiti sull'interfaccia radio. Questo campo consente di distinguere i MS che hanno risorse allocate su di un certo PDCH così come permette di sfruttare un'allocatione dinamica dei blocchi dedicati al PRACH all'interno di una multitrama. Per indicare la presenza di un blocco PRACH allocato in modo dinamico, il campo USF viene segnalato come FREE nel blocco precedente (in downlink) sullo stesso PDCH dove si vuole allocare (in uplink) il canale PRACH. Questa tipologia di allocatione è prevista come obbligatoria all'interno degli standard ETSI in cui viene opzionalmente lasciata la possibilità di un'allocatione fissa sfruttando l'invio delle informazioni di sistema viste in precedenza. In figura 3.7 è presentato un disegno esplicativo dell'allocatione fissa e dinamica dei blocchi ai diversi canali logici, con particolare attenzione al canale PRACH.

In downlink sono presenti due blocchi allocati staticamente per le informazioni di sistema; nel blocco 0 vi è un'allocatione statica del canale PBCCH dove vengono inviate le informazioni relative alla cella da cui viene servito un mobile. Il B6 è, invece, allocato per il canale PAGCH sul quale vengono inviate le informazioni che riguardano l'assegnazione delle risorse in uplink per una particolare MS. Il numero di blocchi PAGCH da allocare in una cella (in concomitanza con i blocchi PRACH) è un parametro importante per garantire un accesso alla rete in tempi rapidi ad un MS; questo tipo di prove sarà oggetto di studio nel capitolo 9.

In uplink vi è invece un'occorrenza periodica del canale PRACH nei blocchi B0, B3, B6 e B9. Il blocco B11 è allocato dinamicamente mediante indicazione esplicita nel blocco precedente in downlink (B10). Un'allocatione di questo tipo può essere utile in condizioni di carico fortemente variabile in accesso dove la possibilità di variare velocemente il numero di blocchi dedicati al PRACH diventa una potenzialità molto importante per i gestori della rete.

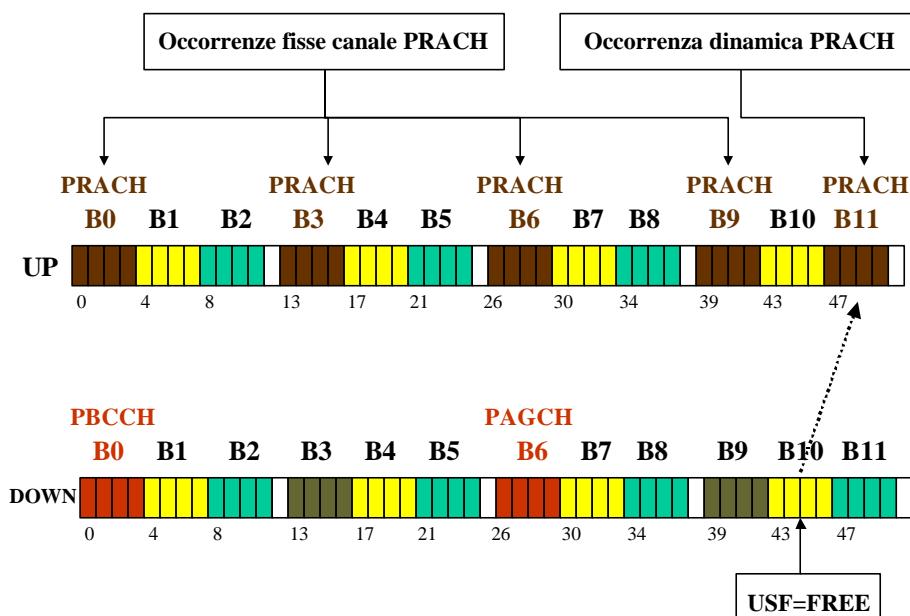


Figura 3.7: Schema di allocazione dei blocchi

## 3.2 Il livello RLC

Il livello RLC è il primo livello della pila protocollare che connette direttamente il mobile alla BSS. Questo lavoro di tesi ha come obiettivo quello di evidenziare gli aspetti fondamentali del comportamento del sistema GPRS per quanto riguarda l'accesso sull'interfaccia radio; si è cercato, pertanto, di descrivere in dettaglio le caratteristiche di questo livello e di quello MAC in modo tale da permettere una facile comprensione della struttura utilizzata all'interno del simulatore. Nella pila protocollare il livello RLC è sempre associato a quello MAC tanto che gli altri livelli fanno sempre riferimento all'insieme dei due con il termine RLC/MAC. Questo comportamento, che dipende dal modello dettato dagli standard ETSI, non ha sfruttato una implementazione secondo il modello stratificato OSI per la divisione fra il livello RLC e quello MAC. Questa scelta ha portato alla mancanza di primitive di interfaccia definite fra questi due livelli anche se è presente una distinzione fra le funzioni proprie di ciascun livello. In questo lavoro di tesi si è cercato di definire una struttura di interfaccia fittizia per delineare in modo preciso l'appartenenza delle procedure di servizio al livello di competenza, in modo tale da rendere più semplice la descrizione e l'implementazione dei due livelli.

Il RLC è il livello della pila protocollare GPRS che ha il compito di instaurare una connessione fra il mobile e la BTS; tale connessione è definita in maniera implicita mediante l'instaurazione di un flusso di informazione, definito *Temporary Block Flow* (TBF), per permettere la connessione fra due entità LLC. Il TBF rappresenta un flusso dati a cui sono allocate risorse su uno o più PDCH e viene mantenuto attivo soltanto per l'effettiva durata del trasferimento dati (ovvero fino a che vi sono blocchi da trasmettere a livello RLC/MAC e, in modalità acknowledged, fino a che tutti i blocchi trasmessi sono stati confermati dall'entità ricevente). L'instaurazione di un TBF è implicita nel momento in cui viene richiesto l'invio di una LLC-PDU attraverso il GRR-SAP. Le primitive di servizio gestite dal livello RLC/MAC sono indicate nella tabella seguente:

Name	Request	indication	Response	confirm	Comments
RLC/MAC-DATA	x	x			used for the transfer of upper layer PDUs. Acknowledged mode of operation in RLC is used.
RLC/MAC-UNITDATA	x	x			used for the transfer of upper layer PDUs. Unacknowledged mode of operation in RLC is used.
RLC/MAC-STATUS		x			used to indicate that an error has occurred on the radio interface. The cause for the failure is indicated.

**Tabella 3.1: Primitive di livello RLC/MAC**

Il livello RLC si preoccupa di istanziare un'entità di modalità indicata dal livello LLC (acknowledged o unacknowledged) e di inviare una richiesta di servizio con gli stessi parametri al livello MAC. Questa fase non è descritta negli standard in quanto non è prevista un'interfaccia che collega il livello RLC con il livello MAC; nell'ipotesi di inviare la stessa richiesta che raggiunge il livello RLC verso il livello MAC, è possibile definire un'interfaccia fittizia allo scopo di rendere più chiari i compiti specifici di ciascuno dei due livelli.

Ad ogni TBF è associato, dalla rete, un identificativo denominato *Temporary Flow Identity* (TFI) per separare i dati appartenenti ad entità RLC distinte. Il TFI è attribuito in modo univoco ad una comunicazione, ovvero non possono esistere due comunicazioni nella stessa direzione a cui è associato lo stesso TFI; è previsto, però, di riutilizzare lo stesso identificativo in direzioni opposte. Il TFI indirizza l'entità RLC responsabile della gestione del blocco dati ed è inserito nell'header RLC di tutti i blocchi trasmessi. La rete deve fornire al MS,

prima del trasferimento di una LLC PDU, un TBF identificato da un TFI mediante i messaggi scambiati nella procedura di accesso.

Una volta instaurata la connessione *peer to peer* con l'entità RLC ricevente (mediante lo scambio di messaggi che verrà descritto per il livello MAC) è possibile il trasferimento dei blocchi dati.

Una delle operazioni svolte dal livello RLC, a prescindere dalla modalità utilizzata, è la segmentazione ed il riassemblaggio delle unità dati provenienti dal livello LLC mediante il GRR-SAP.

- **Segmentazione:** le LLC-PDU provenienti dal livello superiore vengono segmentate se la loro dimensione eccede la dimensione massima ammessa per un blocco dati RLC. È prevista la possibilità che più LLC-PDU vengano concatenate sullo stesso blocco RLC nel caso in cui la segmentazione non esaurisca lo spazio disponibile per i dati in un blocco; in alternativa è possibile introdurre dei bit codificati come "privi di significato" (*filling bit*). Il livello RLC ha il compito di processare i blocchi LLC nello stesso ordine in cui gli sono passati dal livello superiore. Nell'header viene inserito un campo denominato *Block Sequence Number* (BSN) per identificare l'ordine dei blocchi in modo tale da riordinarli in sequenza o per identificare l'assenza di blocchi in ricezione.
- **Riassemblaggio:** il livello RLC dovrà memorizzare tutti i blocchi dati fino alla ricezione completa di una LLC-PDU. Mediante il BSN sarà possibile ricostruire la sequenza dei blocchi e riassemblare il blocco dati complessivo. Una volta ultimata la ricostruzione, la PDU sarà passata al livello superiore.

La segmentazione ed il riassemblaggio sono applicati anche ai messaggi di segnalazione propri del livello RLC in quanto un messaggio di segnalazione può eccedere la dimensione massima di un singolo blocco dati.

Un'attività propria del livello RLC è la gestione delle priorità delle LLC-PDU che attraversano il GRR-SAP. La modalità utilizzata per la gestione delle LLC PDU è a priorità sulla base del flusso correntemente instaurato fra le pari entità di livello RLC; lo standard prevede che non vengano trasferite LLC-PDU di un flusso dati avente una priorità inferiore a quella che è stata instaurata all'inizio della connessione o di quella che è stata richiesta durante l'invio dell'ultimo messaggio di tipo PACKET RESOURCE REQUEST (procedura di livello MAC mediante la quale l'utente richiede alla rete le risorse per la comunicazione). Il mobile, nel caso di comunicazione in uplink, deve

richiedere l'instaurazione di un nuovo TBF adatto ai nuovi parametri di servizio. Lo standard specifica soltanto questa casistica per determinare il comportamento del livello RLC; la gestione della moltiplicazione di LLC PDU a priorità diversa dovrà essere tenuta in grande considerazione una volta analizzato il funzionamento del livello MAC, visto che questa scelta si ripercuote sull'abbattimento e sulla successiva instaurazione di un TBF.

Il livello RLC realizza le funzioni proprie degli algoritmi della famiglia ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) e può operare secondo due modalità distinte a seconda che vengano richiesti servizi acknowledged o unacknowledged. La modalità di servizio prescelta viene passata come parametro nella RLC/MAC\_DATA\_req e viene segnalata al lato ricevente mediante il parametro RLC\_MODE nel messaggio di PACKET RESOURCE REQUEST (per l'uplink) o nel messaggio di PACKET DOWNLINK ASSIGNMENT (per il downlink). La descrizione di tali messaggi è riportata nel prossimo paragrafo in quanto sono propri del livello MAC.

### 3.2.1 Countdown procedure

Un altro compito comune ad un'entità RLC istanziata sia in modalità acknowledged che unacknowledged è la segnalazione alla pari entità della quantità di dati in attesa di essere trasferiti. In una comunicazione in downlink questa procedura non viene utilizzata in quanto la rete è a conoscenza del numero di blocchi che le varie entità RLC devono ancora trasferire per completare la trasmissione sul TBF instaurato. Questa procedura si rende, dunque, necessaria in uplink per indicare alla rete la quantità di dati che un mobile deve ancora trasferire e per il realizzare il rilascio corretto di un TBF senza lo scambio di una segnalazione esplicita utente-rete. La procedura utilizzata per questo scopo è indicata come *countdown procedure*.

Un MS può sfruttare il campo *Countdown Value (CV)*, contenuto nell'header di livello di ciascun blocco dati in uplink, per comunicare alla rete il BSN dell'ultimo blocco dati che verrà inviato nel TBF corrente. Il CV sarà calcolato come:

$$CV = \begin{cases} x, & \text{se } x \leq \text{BS\_CV\_MAX} \\ 15, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

dove BS\_CV\_MAX è un parametro di sistema inviato in broadcast sul PBCCH che indica a partire da quale numero di blocchi è necessario attivare la

procedura. Il parametro  $x$  definisce semplicemente il numero di blocchi radio che separano il mobile dalla fine di una trasmissione; l'ultimo blocco trasmesso dovrà avere il valore 0.

Se il mobile inizia la procedura di *countdown*, inviando un CV minore di 15, allora sarà obbligato ad inviare un numero di blocchi RLC pari al valore indicato e dovrà terminare la trasmissione non appena il campo CV sarà giunto a zero. Nel caso in cui si renda necessaria la ritrasmissione di uno degli ultimi BS\_CV\_MAX blocchi, la rete dovrà riservare risorse per il mobile ed avvertirlo di questa allocazione. Questo tipo di procedura viene utilizzata dalla rete per predisporre il rilascio delle risorse assegnate al mobile senza una indicazione di segnalazione esplicita e per conoscere fra quanto tempo vi saranno risorse libere da assegnare ad un'altra comunicazione.

### **3.2.2 Trasferimento dati in modalità acknowledged**

Il trasferimento dei dati in modalità acknowledged sfrutta la ritrasmissione dei blocchi RLC per porre rimedio agli errori dovuti alla trasmissione sul canale fisico. Il canale radio è un mezzo di trasmissione fortemente disturbato e un mobile subisce, in generale, le problematiche legate al *fading* veloce ed allo *shadowing* come già descritto al capitolo 1; per questo motivo si è deciso di utilizzare un livello che gestisca le problematiche di ritrasmissione fra il mobile e la BTS. Anche il livello LLC può essere utilizzato in modalità acknowledged ma le motivazioni che hanno portato a questa scelta sono di altra natura. La decisione di utilizzare un livello LLC acknowledged è una diretta conseguenza della mobilità a cui è sottoposto il terminale e delle ritrasmissioni che si rendono necessarie in seguito ad un cambio di BTS.

Il livello RLC all'interno di una BTS, invece, gestisce il mobile fino a quando è direttamente connesso alla cella servita da quella BTS. Un handover, in GPRS, causa un abbattimento della connessione a livello RLC e gli eventuali dati mancanti al completamento della connessione devono essere gestiti ad un livello superiore, ovvero a livello LLC. In sintesi il livello RLC si occupa delle ritrasmissioni dovute alla cattiva qualità del segnale radio mentre il livello LLC si occupa di quelle dovute ad errori di altra natura ed in particolare di quelli relativi al cambio di cella.

Nel caso di una comunicazione in uplink, invece, il mobile mantiene traccia delle LLC-PDU per le quali non ha ancora ricevuto conferma di ricezione; nel caso di abbattimento prematuro della connessione è previsto che il livello RLC riprenda la trasmissione dalle LLC-PDU che non sono state confermate o che

erano già state segmentate ed erano in procinto di essere inviate.

Nel caso di trasmissione in uplink il mobile può trasmettere un RLC/MAC block in ogni blocco radio che gli viene assegnato dal MAC della BTS. La rete confermerà la ricezione dei blocchi inviando al mobile un messaggio di tipo PACKET UPLINK ACK/NACK sul canale PACCH corrispondente al PDTCH utilizzato dal mobile. I campi principali che vengono utilizzati per temporizzare e gestire l'invio dei blocchi al livello MAC sono:

- **V(S) (Send state variable):** è una variabile che indica il numero di sequenza del prossimo blocco RLC (BSN) che deve essere inviato al livello MAC. Deve essere inizializzato a 0 all'instaurazione di ogni TBF e viene incrementato di una unità per ogni blocco RLC inviato al livello MAC.
- **V(A) (Acknowledge state variable):** è una variabile che contiene il BSN dell'ultimo blocco dati che non ha ricevuto un riscontro positivo dalla pari entità RLC.
- **V(B) (Acknowledge state array):** è un vettore di 128 elementi che mantiene memoria dello stato degli ultimi blocchi trasmessi. In particolare memorizza se il blocco è in attesa di riscontro e se è stato ricevuto correttamente. Questo vettore viene aggiornato ogni volta che l'entità ricevente trasmette un messaggio di riscontro; l'invio di tale informazione si effettua tramite il campo Received Block Bitmap (RBB) della PACKET U/D ACK/NACK. Il RBB invia informazioni sullo stato degli ultimi blocchi trasmessi in modo tale che il trasmettitore possa implementare politiche di tipo *Selective Repeat*.
- **V(R) (Receive state variable):** identifica, lato ricezione, il BSN del prossimo blocco che ci si aspetta di ricevere.
- **V(Q) (Receive Window state variable):** è una variabile che memorizza il valore del BSN del blocco che è in attesa di essere ricevuto da più tempo. È l'estremo inferiore della finestra utilizzata in ricezione per mantenere memoria dello stato dei blocchi.
- **V(N) (Receive State Array):** è l'analogo del vettore V(B) in ricezione; mantiene l'informazione sulla corretta ricezione dei blocchi di numero d'ordine compreso tra V(Q) e V(R). La grandezza delle finestre di trasmissione e di ricezione è posta pari a 128 elementi.

Il messaggio di acknowledgment fra le entità RLC include fra i suoi campi il valore di Starting Sequence Number e la Received Block Bitmap. Al valore di SSN viene dato il contenuto della variabile  $V(R)$  e serve a sincronizzare in modo relativo trasmettitore e ricevitore; l'RBB permette una descrizione puntuale dello stato della  $V(N)$ . Bisogna notare che i campi SSN e RBB devono essere trasmessi sia in modalità acknowledged che unacknowledged anche se l'informazione che trasportano può essere ignorata in modalità unacknowledged.

### 3.2.3 Trasferimento dati in modalità unacknowledged

Il trasferimento dati in modalità unacknowledged non prevede la ritrasmissione dei blocchi radio fatta eccezione per l'ultimo blocco di un flusso nel momento in cui il mobile è in attesa di rilasciare le risorse assegnate dalla rete. L'entità RLC ricevente sfrutta il BSN per riassemblare le LLC PDU segmentate in fase di trasmissione. L'entità ricevente può inviare, comunque, pacchetti di controllo per trasportare informazioni di segnalazione come qualità del canale radio o variazioni di *timing advance* per compensare la distanza relativa MS-BTS. Nel caso in cui questi pacchetti di segnalazione vengano inviati, è obbligatoria l'inclusione dei campi SSN e RBB come definito al paragrafo precedente.

Nel momento in cui un MS abbia trasmesso un numero di blocchi pari alla dimensione della finestra  $V(B)$  dovrà far partire un timer denominato T3182; il mobile dovrà effettuare un Abnormal Release rilasciando i canali che gli erano stati assegnati nel caso in cui il T3182 scada senza che siano arrivati messaggi di conferma.

Il rilascio della connessione avviene utilizzando la *countdown procedure* descritta precedentemente; quando l'entità RLC in trasmissione invia un blocco etichettato da un CV pari a 0 si identificano due diversi comportamenti a seconda del tipo di trasferimento dati:

- **Uplink:** il mobile continua a trasmettere l'ultimo blocco dati fino a quando non gli viene notificato un messaggio di tipo PACKET UPLINK ACK. che serve ad identificare la fine della trasmissione. Il mobile dovrà rispondere con un messaggio di tipo PACKET CONTROL ACK e rilasciare le risorse assegnate al TBF.
- **Downlink:** la rete invia l'ultimo blocco dati con il campo Final Indicator settato in modo tale da comunicare al mobile che il blocco trasmesso è

l'ultimo del TBF attivato (in downlink infatti non viene utilizzata la *countdown procedure*). Il mobile dovrà inviare alla rete un messaggio di tipo PACKET CONTROL ACK nel blocco dati riservato in uplink grazie al campo RRBP. Il mobile, dopo l'invio di questo messaggio, dovrà rilasciare il TBF.

### 3.2.4 Struttura dei blocchi RLC/MAC

Un blocco dati di livello RLC/MAC consiste di un header di livello MAC, di uno RLC e del campo dati RLC. La struttura dei blocchi nei casi di trasmissione in uplink ed in downlink è rappresentata nelle seguenti figure; l'header di livello MAC ha dimensione costante pari ad otto bit mentre l'header RLC è di dimensione variabile a seconda del numero di LLC-PDU trasportate nello stesso blocco.

Il significato dei vari campi è il seguente:

- **USF (Uplink State Flag):** questo campo è trasmesso in ogni blocco RLC/MAC in downlink ed identifica il possessore del prossimo blocco in uplink sullo stesso numero di *timeslot* (stesso PDCH) su cui viene spedito. L'USF identifica otto combinazioni diverse in modo tale da moltiplicare fino ad otto utenti sullo stesso PDCH. Nel caso di trasmissione sul PCCCH una combinazione è riservata per indicare le occorrenze dinamiche del canale PRACH.
- **SI (Stall Indicator):** indica se la finestra di ricezione può avanzare o meno; può essere un utile indicatore di una situazione di stallo.
- **S/P (Supplementary/Polling):** indica se il campo RRBP è valido.
- **RRBP (Relative Reserved Block Period):** se attivo, riserva un blocco dati in uplink per la trasmissione di un messaggio di tipo PACKET CONTROL ACK. Il numero di frame è relativo a quello in cui viene ricevuto il messaggio in downlink.
- **CV (Countdown Value):** identifica il numero di blocchi che separano un mobile dalla fine della trasmissione per il TBF.
- **Payload type:** informa se il blocco è di tipo dati o controllo.
- **FBI (Final Block Indicator):** indica se il blocco corrente è l'ultimo blocco

dati di una trasmissione in downlink.

- **TI (TLLI Indicator):** indica se il campo opzionale TLLI è presente. Viene utilizzato per la risoluzione delle contese nel caso di accesso ad una fase (procedura di livello MAC).
- **TFI (Temporary Flow Identity):** rappresenta il TFI e viene utilizzato per moltiplicare più TBF sullo stesso PDCH in downlink. Le entità RLC devono decodificare questo campo per comprendere se il blocco dati è diretto a loro
- **BSN (Block Sequence Number):** rappresentazione del campo omonimo
- **E (Extension):** indica la presenza di un ottetto opzionale nel header RLC
- **M (More):** indica la presenza di un ulteriore LLC PDU nello stesso blocco RLC
- **LI (Length Indicator):** indica la lunghezza, in byte, della corrispondente LLC-PDU

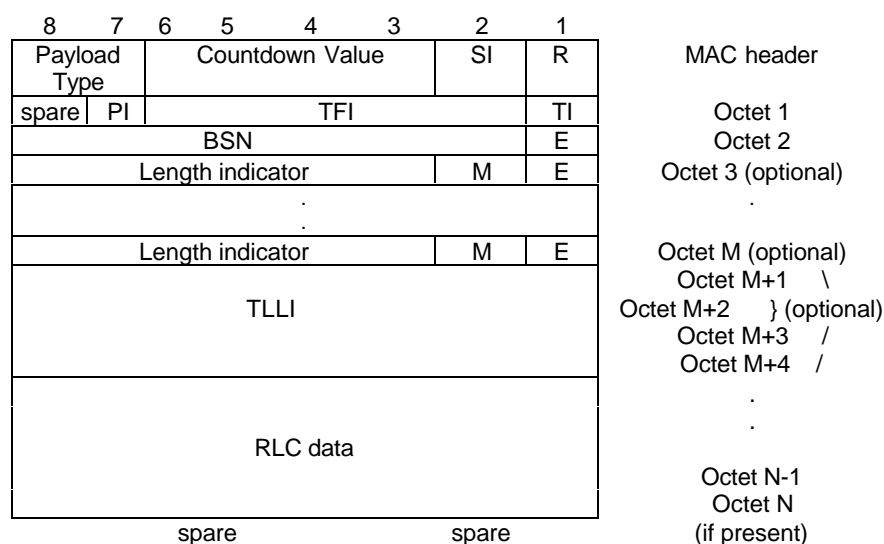
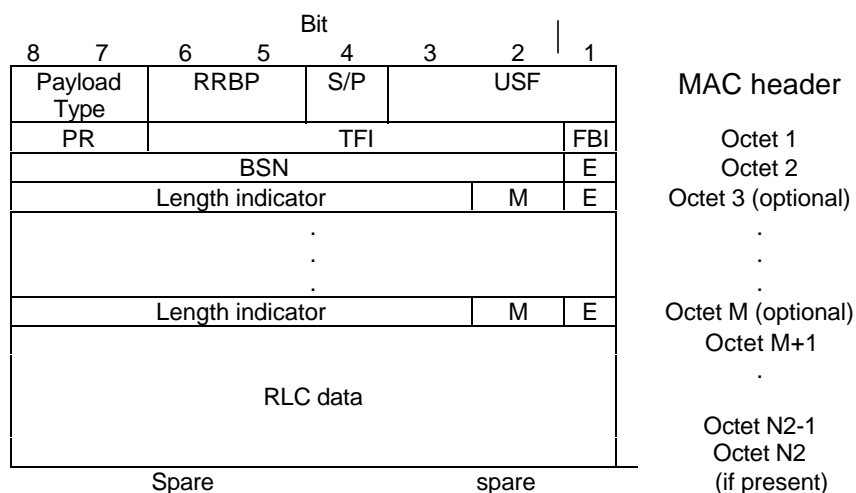


Figura 38: Uplink RLC-data block con MAC-header



**Figura 39: Downlink RLC-data block con MAC-header**

La dimensione del campo dati dipende dalla codifica a cui verrà sottoposto il blocco a livello fisico ed è definita nella seguente tabella:

Channel Coding Scheme	RLC data block size without spare bits (N2) (octets)	Number of spare bits	RLC data block size (octets)
CS-1	22	0	22
CS-2	32	7	32 7/8
CS-3	38	3	38 3/8
CS-4	52	7	52 7/8

**Tabella 3.2: Dimensione RLC-block**

### 3.3 Il livello MAC

Il MAC è il livello del sistema GPRS che è stato implementato all'interno del simulatore e verrà analizzato nel dettaglio per comprenderne la struttura e per spiegare le scelte di modello dei moduli software sviluppati.

Il livello MAC realizza la separazione netta fra le problematiche del *NON ACCESS STRATUM* e quelle del *ACCESS STRATUM* per quanto riguarda l'allocazione delle risorse trasmissive. Altri strati della pila (ad es. LLC) risentono della mobilità degli utenti ma le problematiche relative all'instaurazione di un canale di trasporto a livello *Data-link* della pila OSI sono rese del tutto trasparenti ai livelli superiori della pila protocollare.

### 3.3.1 Procedure generali in packet idle ed in packet transfer mode

Un terminale mobile, alla sua accensione, entra nello stato di packet idle mode e si pone in ascolto del canale PBCCH, se presente nella cella, o del canale GSM BCCH. Per riuscire a ricavare il canale di segnalazione di GPRS il mobile si pone in ascolto del canale BCCH, dove viene trasmessa la disponibilità del servizio GPRS ed i parametri utili alla comunicazione di livello fisico fra il mobile e la BTS. Il terminale mobile invia le informazioni di sistema lette sul PBCCH ai livelli superiori nel momento in cui si verifica un cambio di cella o quando tali informazioni cambiano all'interno della stessa cella. Le informazioni di sistema vengono diffuse all'interno di messaggi denominati *Packet System Information* (PSI) ed un mobile, prima di accedere ad una nuova cella, deve ricevere un set completo di PSI in modo tale da possedere una visione complessiva dei parametri che devono essere utilizzati all'interno della pila protocollare.

Per evitare che un mobile continui a decodificare le PSI anche nel caso in cui queste non vengano modificate, il mobile deve decodificare la PSI1 e verificare se vi sono stati cambiamenti. La PSI1 contiene al suo interno due campi denominati PBCCH\_CHANGE\_MARK e PSI\_CHANGE\_FIELD in posizione note all'interno della multitrama di segnalazione in modo tale da avvertire il MS dell'avvenuto cambio delle informazioni e di quali PSI la MS deve cercare di decodificare. Questo sistema permette ad un MS di ricevere soltanto le informazioni che sono effettivamente cambiate evitando un inutile consumo di energia e risorse.

### 3.3.2 Instaurazione di un TBF iniziato da un MS sul PCCCH

Lo scopo di questa procedura è l'instaurazione di un TBF per supportare il trasferimento di LLC-PDU nella direzione dal mobile verso la rete (uplink). Questa procedura, denominata Packet Access Procedure, sfrutta il canale di segnalazione PCCCH, se presente nella cella, oppure il canale GSM CCCH. In questo capitolo viene descritta la procedura di accesso nel caso in cui il canale PCCCH sia attivo all'interno della cella.

La peculiarità di questa procedura è che l'instaurazione del TBF non avviene su specifica richiesta dei livelli superiori attraverso il piano di controllo, ma è implicitamente attivata nel momento in cui arrivano richieste di trasferimento dati attraverso la primitiva RLC/MAC\_DATA\_req. Il livello MAC, dunque, in seguito ad una MAC-data\_req verifica se vi è un TBF attivo (ovvero se si trova

in packet transfer mode) ed in caso contrario provvede ad iniziare la packet access procedure. In questo modo si realizza la totale indipendenza dei livelli superiori dalle problematiche relative all'allocazione dei canali dell'AS. Una richiesta di connessione di livello superiore viene vista, a livello MAC, come un semplice trasferimento dati che necessita dell'instaurazione temporanea di un TBF. Vari TBF possono essere abbattuti e successivamente riattivati durante una sessione a pacchetto ma queste problematiche sono assolutamente trasparenti al NAS una volta che la connessione a livello LLC è stata stabilita. Da questo punto di vista risulta importante analizzare le prestazioni che si ottengono durante la fase di packet access procedure in quanto questa procedura potrebbe essere effettuata anche più volte all'interno di una sessione a pacchetto. Per l'instaurazione di un TBF che si adatti alle caratteristiche del traffico che verrà trasferito sull'interfaccia radio, la richiesta dati dal livello LLC include alcuni parametri di servizio che vengono trasferiti attraverso il GRR SAP. Questi parametri sono (come già visto a livello LLC) la modalità RLC che verrà adottata, la *peak throughput class* e la priorità radio del flusso dati in questione. I parametri utilizzati dal livello MAC all'interno della BTS saranno soltanto gli ultimi due mentre l'RLC mode verrà utilizzato come indicazione a livello superiore per identificare il tipo di entità RLC che si vuole istanziare. La procedura di accesso alla rete è evidenziata in figura 3.10 e ha inizio con l'invio di una Packet Channel Request sul canale PRACH.

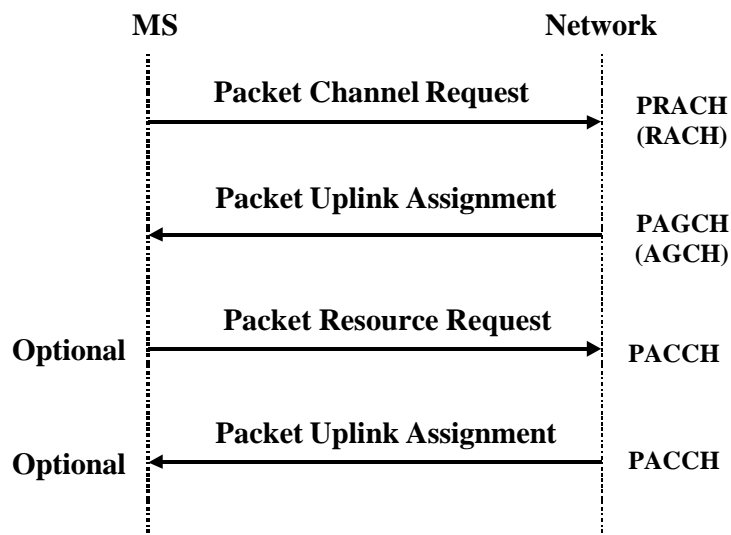


Figura 3.10: Packet Access Procedure

L'invio della prima Packet Channel Request avviene nella prima trama del primo blocco radio dedicato al PRACH che il mobile riesce a decodificare; tale decodifica può essere diretta conseguenza dell'allocazione statica dei blocchi PRACH trasmessa sul PBCCH o dell'allocazione dinamica dei blocchi basata sull'analisi del USF trasmesso nell'instestazione del blocco precedente in downlink. I parametri principali trasmessi in questo tipo di messaggio si riferiscono al tipo di accesso che si vuole utilizzare (ad una fase, a due fasi o breve) ed alla motivazione che ha portato alla packet channel request (risposta al paging, procedura di MM, ecc.). Il pacchetto include, inoltre, un campo di 3 bit estratto casualmente che permetterà una risoluzione dei conflitti nella risposta da parte della rete, come verrà descritto in seguito, visto che non è previsto l'invio di alcun identificativo univoco del mobile che ha effettuato la richiesta. Questa scelta, come già nel caso GSM, è dovuta al fatto che il mobile, per le richieste inviate sul PRACH, non ha una cognizione del *Timing Advance* tale da garantire una ricezione perfettamente sincrona in ingresso alla BTS e l'assenza di interferenza con la trasmissione di altri utenti; per questo motivo si cerca di trasmettere sull'interfaccia radio il minore numero di bit di informazione per minimizzare la probabilità che tale richiesta vada ad interferire con la trasmissione su altri *timeslot* in ricezione alla BTS.

Se la motivazione dell'instaurazione di un TBF è il trasferimento dei dati utente in modalità unacknowledged, il mobile indicherà la tipologia di accesso a due fasi; in modalità acknowledged è previsto di potere richiedere entrambe le modalità mentre se il traffico dati da inviare è inferiore agli otto blocchi radio il mobile dovrà indicare come tipo di accesso la modalità breve.

Il massimo numero di richieste che possono essere inviate da un MS è pari ad  $M+1$  dove  $M$  è un parametro di sistema inviato in *broadcast* sul canale PBCCH, nella PSI1, sotto la definizione di MAX\_RETRANS. I parametri utili alla procedura di accesso sono inviati tutti nella PSI1 e comprendono:

- **MAX\_RETRANS:** numero massimo di volte che un MS può inviare una Packet Channel Request. Insieme enumerato 1,2,4,7.
- **PERSISTENCE\_LEVEL:** valore di persistenza con cui confrontare un'estrazione di variabile casuale all'interno della MS. Intervallo 0-16.
- **TX\_INT (T):** numero di *slot* su cui viene distribuita, in modo probabilistico, la prossima richiesta di accesso. Intervallo 2-50.
- **S:** numero minimo di *slot* fra due richieste consecutive di accesso.

### Intervallo 12-217

Ognuno di questi parametri è indicizzato sulla base della priorità radio che viene data al flusso dati dai livelli superiori; il MS, a seconda della priorità radio, dovrà utilizzare il set di parametri propri del flusso dati generato. Questo meccanismo permette di garantire probabilità e tempistiche di accesso diverse per ciascuna priorità in modo tale da offrire qualità del servizio differenti già in fase di accesso.

Se il MS utilizza un metodo di accesso al PRACH basato sulla lettura di un USF segnato come libero deve abilitare, all'inizio della procedura di accesso, un timer denominato T3186. Il mobile dovrà interrompere la procedura di accesso se alla scadenza di questo timer non sarà ancora riuscito ad ottenere accesso al canale radio e dovrà iniziare una riselectone di cella visto che in quella corrente vi è stato un problema nell'allocazione dei blocchi. Questo meccanismo è utile per la protezione dei MS che non conoscono le occorrenze fisse del canale PRACH sulla multitrama radio in modo tale da non fare aspettare un tempo troppo lungo senza una messaggistica implicita di errore.

Per tutte le richieste di accesso successive alla prima il MS dovrà estrarre un valore casuale  $R$  nell'intervallo 0-15 e confrontare tale valore con il valore di persistenza letto sul PBCCH. Il MS è autorizzato ad inviare una richiesta di accesso se la persistenza assume un valore minore o uguale al valore assunto dal parametro  $R$ . Questo meccanismo consente di differenziare la probabilità di inviare una Packet Channel Request in base alla priorità radio del flusso dati in questione. Dopo ciascun tentativo di richiesta i parametri  $S$  e  $T$  vengono utilizzati per determinare il prossimo *frame* in cui un mobile è autorizzato a tentare l'accesso. Questo valore è estratto nell'insieme  $\{S, \dots, S+T-1\}$  e conta il numero di *frame*, che appartengono al canale PRACH sullo stesso PDCH, tra due successivi tentativi di inviare una Packet Channel Request. Il numero estratto tiene in considerazione soltanto i *frame* appartenenti al canale PRACH e non il complesso di tutti i *frame* che costituiscono una multitrama, visto che il canale PRACH è multiplato sullo stesso PDCH con altri canali. Il numero di blocchi da allocare per il PRACH in modo fisso o dinamico diventa dunque cruciale per garantire determinate caratteristiche di servizio. Il mobile dovrà attivare il timer T3170 dopo avere superato il valore indicato dal parametro MAX\_RETRANS in modo da attendere un'eventuale risposta ritardata da parte della rete. Allo scadere del timer il mobile dovrà eseguire una riselectone di cella.

La rete, in seguito alla ricezione di una Packet Channel Request, invierà al

mobile un messaggio di tipo Packet Uplink Assignment (PUA) in un blocco PAGCH sullo stesso canale PCCCH che il mobile ha utilizzato per inviare la richiesta. A questo punto le modalità con cui la rete può rispondere sono diverse a seconda della tipologia di richiesta che è stata inviata o della scelta che la BTS ha deciso per il mobile:

- **Accesso breve:** la rete riserva risorse sufficienti al MS per spedire informazioni che vengono mappate su non più di 8 blocchi radio
- **Accesso ad una fase:** la rete invia al mobile la caratterizzazione delle risorse che gli sono state accordate senza avere informazioni precise sul tipo di traffico che utilizzerà queste risorse. Tale mancanza dipende dal fatto che non vi sono risorse sufficienti per spedire informazioni dettagliate nei pochi bit disponibili all'interno di una Packet Channel Request.
- **Accesso a due fasi:** la rete invia una PUA di tipo 1 in cui viene riservato un singolo blocco in uplink per permettere al mobile di dare una caratterizzazione più precisa del tipo di risorse che la trasmissione necessita.

Viene, ora, descritta la procedura relativa all'accesso a due fasi visto che è un'estensione di quella ad una fase. La rete può, opzionalmente, inviare ad un mobile un messaggio di tipo PACKET QUEUING NOTIFICATION (PQN) assegnando un identificativo temporaneo (TQI) che verrà utilizzato per indicizzare il mobile nel caso in cui la rete non disponga di risorse immediate da riservare per la comunicazione. Questo meccanismo può essere utilizzato per porre il mobile in attesa di risorse inviandogli comunque un'informazione sull'avvenuta ricezione della sua Packet Channel Request lato rete. All'atto della ricezione di una PQN il mobile disabiliterà i timer relativi alla procedura di accesso ed attenderà la risposta della rete per un tempo massimo fissato dal timer T3164. Questa procedura, unitamente alla Countdown procedure descritta per il livello RLC, permette di creare una coda di richieste in attesa di servizio e di avere delle stime sul tempo che un mobile dovrà rimanere in tale coda.

Nel caso in cui la rete non disponga delle risorse necessarie per soddisfare la richiesta di servizio del mobile, verrà inviato un messaggio di tipo PACKET ACCESS REJECT (PAR) con l'indicazione di un campo di tipo WAIT\_INDICATION (W\_I); il mobile non potrà tentare un nuovo accesso alla rete prima che sia passato un tempo pari a quello indicato in W\_I. Questo

meccanismo permette alla rete di limitare il numero di tentativi di accesso nel caso di sovraccarico del sistema.

Nel caso di accesso a due fasi il mobile invierà, nel blocco riservato dalla rete mediante il campo RRBP, un messaggio di tipo PACKET RESOURCE REQUEST (PRR) per fornire alla rete una caratterizzazione più dettagliata delle risorse di cui necessita. I parametri inviati per la descrizione del traffico sono:

- **Peak throughtput class**
- **Radio priority**
- **RLC mode:** unacknowledged o acknowledged
- **RLC\_OCTET\_COUNT:** indicatore del numero di byte che comporranno il flusso dati. Il *range* che è possibile specificare va da 0 byte a 64 kbyte. Se il campo vale 0 il flusso è indicato come *open-ended*, se no è identificato come *close-ended* ed il mobile non è autorizzato a trasmettere un numero di blocchi maggiore rispetto a quello specificato. Nel caso *open-ended* il mobile continua ad occupare risorse fino ad un'indicazione esplicita di rilascio del TBF.

In seguito alla ricezione di una PRR, la rete risponderà con un messaggio di tipo PUA (o con una PACKET ACCESS REJECT) per riservare i canali su uno o più PDCH. La struttura dati che mantiene informazioni sui PDCH assegnati ad un mobile varia a seconda della tipologia di allocazione prescelta e verrà indicata in questa tesi come ALLOCATION BITMAP; le tipologie possibili per l'allocazione dei canali verranno descritte al paragrafo 3.3.4.

### 3.3.3 Instaurazione di un TBF iniziato dalla rete

Questa procedura ha come obiettivo primario l'instaurazione di un flusso dati in direzione dalla rete verso un MS. L'instaurazione può essere iniziata quando il MS è nello stato di Packet Idle Mode oppure sul PACCH quando il mobile ha una connessione attiva nella direzione opposta. L'instaurazione del flusso è implicita all'arrivo di una richiesta di trasferimento dati dal livello LLC attraverso il GRR-SAP. La richiesta specifica la priorità radio, eventuali parametri nel caso in cui il mobile sia in ricezione discontinua e la *multislot class* del MS a cui il flusso è diretto.

La rete può assegnare risorse al MS su uno o più PDCH per il TBF che deve

essere instaurato e la scelta della quantità di risorse, così come la loro corrispondenza in ambito di frequenza e numero di blocchi, non è specificata dagli standard. La procedura di accesso per l'assegnazione di canali in downlink è indicata in figura 3.11.

La procedura di accesso inizia con l'invio di un messaggio di PACKET PAGING REQUEST verso la *mobile station* interessata al trasferimento dati; questo messaggio può essere trasmesso sul canale PPCH, se attivato, o sul canale GSM PCH. La metodologia seguita all'interno della rete per il paging di un MS è identica a quella specificata per il GSM e non viene qui riportata. Il mobile, una volta riconosciuto il messaggio di paging diretto verso di lui, deve richiedere risorse in uplink per rispondere al messaggio; questa procedura corrisponde all'accesso in uplink descritto al paragrafo precedente. Una volta ottenute le risorse il mobile invia alla rete un messaggio di tipo PACKET PAGING RESPONSE. La procedura termina con l'invio di un messaggio di PACKET DOWNLINK ASSIGNMENT per l'assegnazione delle risorse in downlink.

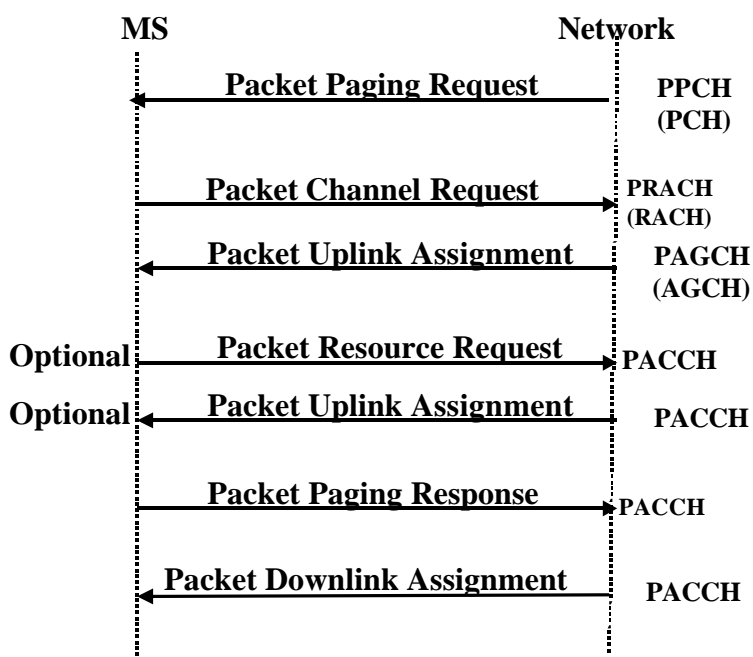


Figura 3.11: Procedura di accesso in downlink

In alternativa la procedura può essere migliorata inviando direttamente la PACKET DOWNLINK ASSIGNMENT (PDA) al MS su di un appropriato canale di paging estratto dal pool dei PCCCH disponibili; questa trasmissione dovrà tenere in considerazione l'eventuale ricezione di tipo discontinuo in cui è coinvolto il mobile per permettere allo specifico MS di decodificare il messaggio. Il messaggio PDA contiene tutte le informazioni necessarie al MS per sintonizzarsi sui PDCH che conterranno i blocchi dati diretti verso di lui. Così come per la trasmissione in uplink, le tipologie di allocazione verranno descritte al paragrafo 3.3.4.

Il MS, in seguito alla ricezione di un messaggio di tipo PDA, dovrà sintonizzarsi sui PDCH specificati ed inviare alla rete una conferma di tipo PACKET CONTROL ACK in un blocco in uplink assegnato nello stesso messaggio di tipo PDA. Al ricevimento della PDA il mobile deve attivare il timer T3190 e mettersi in attesa del primo blocco dati a lui diretto sui canali specificati. Il mobile dovrà tornare in IDLE se il timer scade senza che vi sia stata una trasmissione dati; questo meccanismo è utilizzato per evitare che un mobile erroneamente notificato continui ad ascoltare i PDCH dati inutilmente per un tempo troppo lungo.

Come si può vedere questa procedura di instaurazione di un flusso dati in downlink è estremamente snella per avere il minore impatto possibile nell'arco di una sessione a pacchetto; questo aspetto è di notevole importanza in un sistema in cui l'abbattimento e la riattivazione di un TBF possono avvenire più volte all'interno di una sessione.

### 3.3.4 Trasferimento dati in uplink

Le modalità di allocazione delle risorse sia in uplink che in downlink sono una scelta totalmente arbitraria della rete e nessun vincolo è imposto su questo aspetto. Gli algoritmi per la sincronizzazione distribuita dei vari MS è invece standardizzata ed è l'oggetto di questo paragrafo. Il trasferimento dei dati, sia in uplink che in downlink, è governato da diversi principi ed è specificato mediante il campo MAC\_MODE trasmesso all'interno dei messaggi di tipo PUA e PDA. Il campo MAC\_MODE può assumere i seguenti valori:

- **Allocazione dinamica**
- **Allocazione dinamica estesa**
- **Allocazione fissa**

Analizziamo ora nel dettaglio le tre diverse tipologie di allocazione

#### 3.3.4.1 Allocazione dinamica

L'allocazione di tipo dinamico prevede l'invio di una ALLOCATION BITMAP al mobile, mediante un messaggio di tipo PUA, i cui campi fondamentali sono:

- **USF\_GRANULARITY:** indica se il mobile è abilitato a trasmettere un singolo blocco o un insieme di quattro blocchi dati consecutivi
- **TFI:** identificativo del flusso dati in uplink
- **RLC\_DATA\_BLOCKS\_GRANTED:** indica il numero di blocchi RLC che un MS è autorizzato a trasmettere. Il *range* di valori possibili varia da 9 (se fosse inferiore a nove il mobile avrebbe dovuto utilizzare un accesso corto) a 264. È un campo utilizzato in risposta ad una *modalità close-ended*. Se non specificato la modalità prevista è di tipo *open-ended*
- **USF\_TN:** per ogni *timeslot* (PDCH) a frequenza fissata viene fornito l'USF che viene assegnato al MS. Mediante questo campo si effettua la moltiplicazione delle trasmissioni sui vari PDCH con decisione centralizzata presa dalla BTS.

La moltiplicazione degli utenti sui vari PDCH che compongono una frequenza portante avviene mediante il capo USF inserito all'interno dell'intestazione di livello MAC. La schedulazione dei vari utenti sfrutta il campo USF per implementare il controllo delle trasmissioni. La gestione delle trasmissioni è di tipo *master-slave* dove un utente non può trasmettere se non ha ricevuto esplicita segnalazione da parte della rete; l'USF è codificato su 3 bit quindi il numero massimo di utenti che possono condividere lo stesso PDCH è pari ad otto. Un mobile è abilitato alla trasmissione di un blocco dati (o di quattro blocchi a seconda del campo RLC\_DATA\_BLOCKS\_GRANTED) se riconosce il proprio USF all'interno dell'intestazione del blocco dati trasmesso in downlink in uno dei PDCH che gli sono stati assegnati; una volta riconosciuto il proprio USF un mobile è abilitato alla trasmissione nel blocco dati seguente in uplink sullo stesso PDCH. Il mobile deve implementare questa procedura per ogni PDCH per cui gli è stato assegnato un USF.

Per porre rimedio a situazioni di *starvation* del mobile oppure per risolvere errori per cui potrebbe non esserci segnalazione esplicita utente-rete, il mobile deve fermare e fare ripartire un timer denominato T3180 ogni volta che riceve

un'abilitazione a trasmettere su un PDCH che gli è stato assegnato. Nel caso in cui questo timer scada il mobile deve eseguire una Abnormal Release ripetendo la procedura di accesso.

All'interno della BTS vi è un meccanismo analogo a quello appena descritto per effettuare un rilascio delle risorse anomalo per un utente; questo meccanismo si basa sull'utilizzo di un contatore (N3101) e di un timer (T3169). Ogni volta che la rete riceve un blocco dati da un utente schedulato dovrà azzerare il contatore N3101; la rete incrementa il contatore di una unità per ogni blocco dati allocato al mobile e per cui non ha ricevuto dati in uplink. Se il contatore raggiunge il valore N3101\_MAX la rete potrà smettere di schedulare il mobile ed avvierà il timer T3169. Allo scadere di questo timer la rete potrà considerare il collegamento come abbattuto e potrà riutilizzare l'identificativo TFI.

Questo meccanismo può essere utile per implementare un rilascio veloce delle risorse nel caso di problemi oppure per seguire l'ottica dell'instaurazione di un TBF soltanto per il tempo necessario ad un singolo flusso dati. Se un mobile è schedulato e non trasmette per un numero di blocchi superiore a N3101\_MAX allora la rete decide il rilascio delle risorse abbattendo il TBF; il mobile, se ha ancora dei blocchi da trasmettere deve richiedere l'instaurazione di un nuovo flusso dati ripetendo la procedura di accesso.

L'invio dei messaggi di controllo è multiplato con l'invio dei messaggi dati nei blocchi allocati dalla rete all'utente; la distinzione tra dati e controllo avviene mediante l'intestazione del messaggio trasferito. La rete, inoltre, può richiedere l'invio di messaggi di controllo utilizzando un meccanismo di polling della MS e riservando risorse opportune per la risposta in uplink del MS. Un MS non è abilitato a trasferire dati in blocchi riservati con il meccanismo del polling.

Viene ora analizzata la riallocazione delle risorse per una trasmissione in uplink. Per prima cosa bisogna ricordare che né la rete né l'utente sono in grado di modificare la modalità RLC di un flusso dati durante l'esecuzione di un TBF; tale modifica dovrà essere attuata mediante il rilascio del TBF corrente e l'instaurazione del nuovo TBF. Sono possibili vari sottocasi quando il livello RLC/MAC riceve una richiesta di trasferimento dati (LLC-PDU) dal livello superiore in cui viene specificata una diversa *peak-throughput class* oppure una diversa *radio-priority* rispetto a quelle che sono state stabilite in fase di connessione con la rete. Come già visto al paragrafo precedente è il livello RLC che deve selezionare quale LLC-PDU inviare al livello MAC sottostante. Il compito di livello MAC è soltanto quello di analizzare i parametri inviati dal

livello RLC per il trasferimento dei dati ed agire sulla base di questi parametri; il livello MAC, se nota una discordanza di parametri tra il flusso corrente e quello relativo al blocco da trasferire, avvierà la procedura di riallocazione delle risorse altrimenti il flusso dati risulterà assolutamente trasparente. La procedura di riallocazione segue il canovaccio descritto per quella di instaurazione della connessione e sfrutta l'invio di una PACKET RESOURCE REQUEST a cui la rete può rispondere mediante una PACKET UPLINK ASSIGNMENT o mediante una PACKET ACCESS REJECT.

Il rilascio delle risorse alla fine di un flusso dati viene eseguito mediante la procedura di countdown descritta al livello RLC.

Il rilascio delle risorse può anche essere deciso dalla BTS con comunicazione esplicita all'utente mediante il messaggio di TBF\_RELEASE; questo tipo di messaggio indica se il rilascio deve essere "immediato", provocando nel mobile l'esecuzione di una procedura di ABNORMAL\_RELEASE, oppure "normale" una volta concluso il trasferimento della LLC-PDU corrente. Questo tipo di segnalazione può essere utile, ad esempio, nel momento in cui la rete decida di togliere un PDCH al *pool* di risorse GPRS per assegnarlo ad una comunicazione a circuito GSM.

#### **3.3.4.2 Allocazione dinamica estesa**

L'allocazione dinamica estesa è una tipologia di allocazione delle risorse che può essere implementata in modo opzionale dalla rete per permettere l'accrescimento del throughput in uplink.

L'allocazione estesa sfrutta lo stesso metodo di schedulazione basato sul USF dell'allocazione dinamica. La decisione sulla metodologia di allocazione da adottare è una scelta presa all'interno del MAC nella BTS e viene comunicata al mobile nel messaggio di PACKET UPLINK ASSIGNMENT. Un mobile a cui è stata comunicata un'allocazione estesa delle risorse dovrà monitorare i PDCH che gli sono stati assegnati partendo da quello con numero di ordine inferiore (0-7 in analogia ai *timeslot*). Una volta che il mobile riceve un USF su di un PDCH è autorizzato a trasmettere un blocco dati (o una sequenza di quattro blocchi dati a seconda del valore di USF\_GRANULARITY) su ogni PDCH con un numero d'ordine maggiore o uguale a quello in cui ha ricevuto l'USF.

Questo tipo di allocazione può essere utile nel caso di trasmissioni a burst in cui si richiede il trasferimento di dati saltuari con un throughput di picco elevato riservando le risorse sui PDCH assegnati a priori allo stesso utente.

Tutte le procedure relative all'allocazione estesa seguono lo schema definito

per l'allocazione dinamica.

#### **3.3.4.3 Allocazione fissa**

L'allocazione fissa delle risorse può essere utilizzata sia nel caso di richiesta di un flusso *open-ended* sia nel caso *close-ended*. Nel caso *close-ended* la rete riserva risorse per la trasmissione dell'esatto numero di blocchi richiesto e un mobile deve fare esplicita richiesta nel caso in cui voglia continuare a trasmettere. Se la modalità prescelta è *open-ended* l'allocazione dei canali persiste nel tempo fino ad una indicazione esplicita da parte del mobile o della rete.

L'indicazione di allocazione fissa avviene, come per gli altri due casi, nel messaggio di PACKET UPLINK ASSIGNMENT dove viene inserita una ALLOCATION BITMAP (AB) che fornisce l'indicazione delle risorse che la rete ha assegnato all'utente. La rete può assegnare risorse al mobile su tutti i PDCH di una portante tenendo però in considerazione le restrizioni dovute alla *multislot class* del mobile. La AB fornisce, per ogni PDCH, i blocchi radio che sono stati assegnati in modalità fissa ad un specifico mobile; il mobile può decidere di trasmettere in modo autonomo visto che conosce con precisione quali sono le risorse allocate e non implementa la procedura di lettura dell'USF nel blocco precedente in uplink.

La schedulazione degli utenti non viene dunque decisa blocco per blocco ma è fissata a priori una volta allocate le risorse in fase di instaurazione della connessione ed è, dunque, gestita in base alla multiplexazione che si è decisa per l'allocazione dei blocchi.

La riallocazione delle risorse e l'abbattimento della connessione per la modalità fissa è identica a quella per l'allocazione dinamica e si rimanda al paragrafo 3.3.4.1 per tale descrizione.

L'utilizzo della modalità fissa potrebbe essere utile per tutti quei servizi a cui deve essere garantito un ritardo di trasferimento costante fra i blocchi dati oppure per quei servizi che necessitano di garanzia per il throughput di sessione.

#### **3.3.5 Trasferimento dati in downlink**

Il trasferimento dei dati in downlink inizia in seguito alla trasmissione di un messaggio di tipo PACKET DOWNLINK ASSIGNMENT inviato dalla rete verso un MS. Le informazioni principali che vengono trasmesse attraverso questo messaggio sono:

- **TFI:** contiene l'identificativo del flusso dati; viene utilizzato per moltiplicare, in downlink, flussi dati di mobili diversi sullo stesso PDCH
- **RLC\_MODE:** modalità utilizzata per il livello RLC
- **TIMESLOT\_ALLOCATION:** è un campo di otto bit che viene utilizzato per informare un MS sull'allocazione dei *timeslot* di una portante. Tramite questo campo il mobile viene informato di quali sono i PDCH su cui potrà verificarsi una trasmissione dati diretta verso di lui. Un mobile deve decodificare tutti i messaggi che transitano sui PDCH che gli vengono comunicati tramite questo campo.

La modalità di allocazione delle risorse non è stata specificata negli standard in modo tale da lasciare la decisione agli operatori.

Il livello MAC nel MS, una volta ricevuta la PDA, inizia a porsi in ascolto dei messaggi transitanti sui PDCH che gli sono stati comunicati. L'identificazione dei mobili avviene attraverso il campo TFI che si trova nell'intestazione RLC; questa è una limitazione presente negli standard dovuta alla struttura del livello RLC/MAC che non sfrutta la stratificazione a livelli definita nel mondo OSI. Come si può vedere in fig. 3.8 vengono identificati due header distinti, uno per il livello MAC e l'altro per il livello RLC anche se si fa riferimento ad un unico livello RLC/MAC. Sarebbe stato, inoltre, più opportuno inserire il campo TFI all'interno dell'header MAC in modo tale da inviare al livello RLC soltanto quei blocchi già identificati come appartenenti al proprio flusso dati. Il MAC infatti è il livello che dovrebbe occuparsi, secondo quanto definito nel modello di riferimento OSI, della moltiplicazione degli utenti e della condivisione di un canale di comunicazione distribuito così come del riconoscimento dei flussi dati su un canale comune diretti verso una particolare entità.

Il livello MAC, nel sistema GPRS, invia i blocchi ricevuti dal livello fisico verso l'entità RLC ed è a questo livello che viene analizzato il TFI per comprendere se il blocco dati in arrivo è effettivamente appartenente al flusso instaurato per il mobile.

Nel caso in cui il mobile debba inviare una conferma per notificare alla rete l'avvenuta ricezione del blocco dati, è la rete stessa che fornisce le risorse in uplink per la trasmissione; il livello MAC deve memorizzare l'informazione contenuta nel campo RRBP dell'header per prepararsi alla comunicazione in uplink. Il messaggio trasferito è di tipo PACKET DOWNLINK ACK/NACK ed è compito del livello RLC crearlo (visto che è tale livello ad analizzare i

blocchi in downlink) ed inviarlo al MAC per essere spedito. Il contenuto dei messaggi di conferma è stato analizzato al paragrafo 3.2.

La riassegnazione delle risorse, per una comunicazione in downlink, è effettuata mediante l'invio di una PACKET DOWNLINK ASSIGNMENT (PDA) o di una PACKET TIMESLOT RECONFIGURE. La rete non può modificare la modalità RLC utilizzata per il trasferimento dei dati del TBF attualmente instaurato; tale modifica richiede l'abbattimento del TBF corrente e l'instaurazione di un nuovo TBF con gli opportuni parametri di configurazione. Per premunirsi contro gli errori di allocazione, alla ricezione di una PDA, il mobile dovrà far ripartire il timer T3190 e porsi in attesa del primo blocco RLC/MAC sui nuovi canali. Nel caso in cui il T3190 scada senza alcuna ricezione dati, il mobile dovrà eseguire una ABNORMAL RELEASE.

Per gestire la richiesta di canali atti a soddisfare le richieste di tipo GSM è previsto l'invio di un messaggio di tipo PACKET PDCH RELEASE (sia in uplink che in downlink) verso i mobili che hanno risorse allocate su di un PDCH. Questo messaggio ha lo scopo di informare i mobili che il PDCH interessato non è più disponibile e può essere utilizzato per una riallocazione delle risorse che mira soltanto ad una disattivazione di PDCH senza l'eliminazione dei flussi dati instaurati se non risulta strettamente necessario. Nel caso in cui un MS abbia risorse allocate su vari PDCH, l'eliminazione di un canale fisico dall'insieme di risorse non deve, infatti, portare all'abbattimento del TBF.