

Capitolo 8

Il simulatore UMTS

Il simulatore UMTS nasce con gli stessi obiettivi che hanno portato alla costruzione di quello GPRS. Il focus dei moduli software sviluppati è stato posto sulla caratterizzazione dettagliata del sistema UMTS a livello MAC; l'obiettivo è quello di fornire uno strumento da cui estrarre informazioni sulla capacità dei canali di trasporto tenendo in considerazione l'espandibilità del simulatore per l'inserimento di nuovi livelli protocollari o di nuovi canali. Particolare attenzione è stata riservata agli algoritmi di gestione dei singoli canali ed all'interazione fra gli stessi nel caso di trasmissione multicanale.

Nei successivi paragrafi verranno descritti lo scenario di simulazione introdotto per UMTS e le principali funzionalità inserite all'interno dei moduli software.

8.1 Descrizione generale della struttura

Lo scenario di simulazione utilizzato per la caratterizzazione della struttura UMTS eredita i comportamenti definiti nello scenario generale definito al cap. 6.

Un mobile UMTS, in sintesi, si muove in uno spazio di simulazione richiuso costituito da più BTS; l'elemento BTS viene ridefinito in questa sede per implementare le funzionalità tipiche del NODE-B introdotto per l'architettura UMTS. Lo scenario è costituito, dunque, da un insieme di elementi definiti come UMTS_BTS che ereditano il comportamento delle BTS standard, ridefinendo soltanto le caratteristiche tipiche di un NODE_B, grazie alle potenzialità offerte dal linguaggio C++ utilizzato per la costruzione del simulatore.

Il simulatore UMTS presenta, comunque, caratteristiche innovative rispetto al

suo analogo GPRS in quanto è costituito da un'architettura di rete fissa sovrapposta a quella delle UMTS_BTS. L'introduzione di questi nuovi elementi si è resa necessaria per mantenersi fedeli alla struttura logica definita dagli standard UMTS.

Il nuovo scenario di simulazione in cui viene a trovarsi un MS è presentato nella figura seguente:

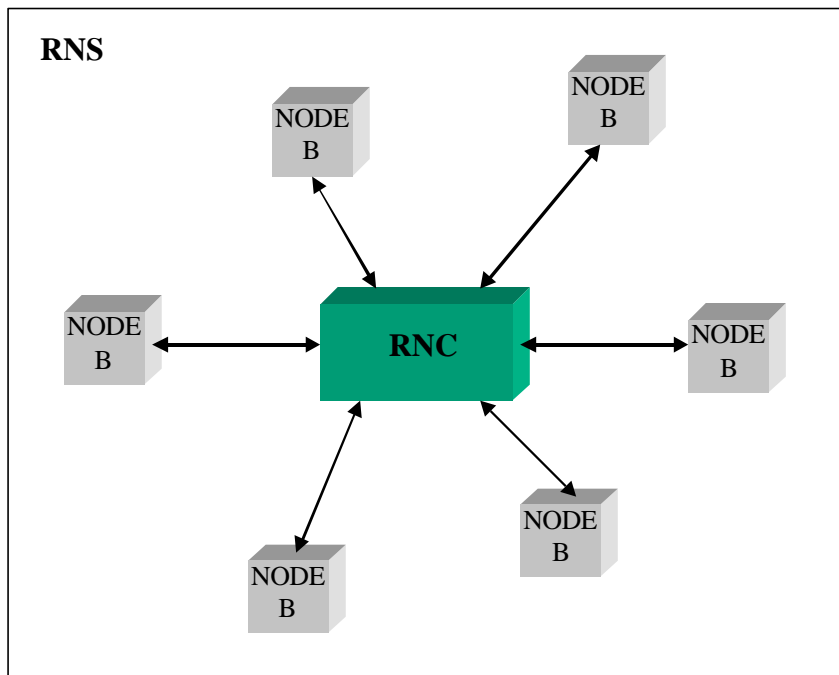


Figure 8.1: Radio Network Subsystem

Come si può vedere è stato introdotto l'elemento *Radio Network Controller* (RNC), tipico della struttura UMTS, e la sua interazione con i NODE_B. La struttura attuale del simulatore è costituita da un unico elemento RNC adibito a servire l'insieme delle celle dello scenario. Tale scelta porta a fare coincidere gli elementi SRNC e CRNC, definiti nell'architettura UMTS, nell'unico elemento RNC presente; la decisione di fondere gli elementi RNC è stata dettata dall'analisi delle finalità che ci si è posti per la costruzione del simulatore e delle limitazioni che sarebbero state introdotte con tale scelta.

Mediante la struttura attualmente definita è possibile la simulazione dettagliata dei livelli MAC (e dei livelli superiori) e degli effetti della mobilità e degli handover all'interno dello stesso RNC. L'unica limitazione è costituita dagli

handover fra RNC diversi il cui studio, però, risulta poco rilevante nel contesto dell'analisi delle prestazioni sull'interfaccia radio. Tale mancanza non è, comunque, limitante per lo sviluppo di nuovi moduli software in quanto l'introduzione di altri RNC risulterebbe trasparente ai livelli coinvolti in una trasmissione dati.

Lo scenario protocollare in cui si trova inserito un mobile è indicato in fig. 8.2 e rappresenta l'effettiva collocazione fisica dei vari livelli della struttura funzionale definita all'interno dei moduli software.

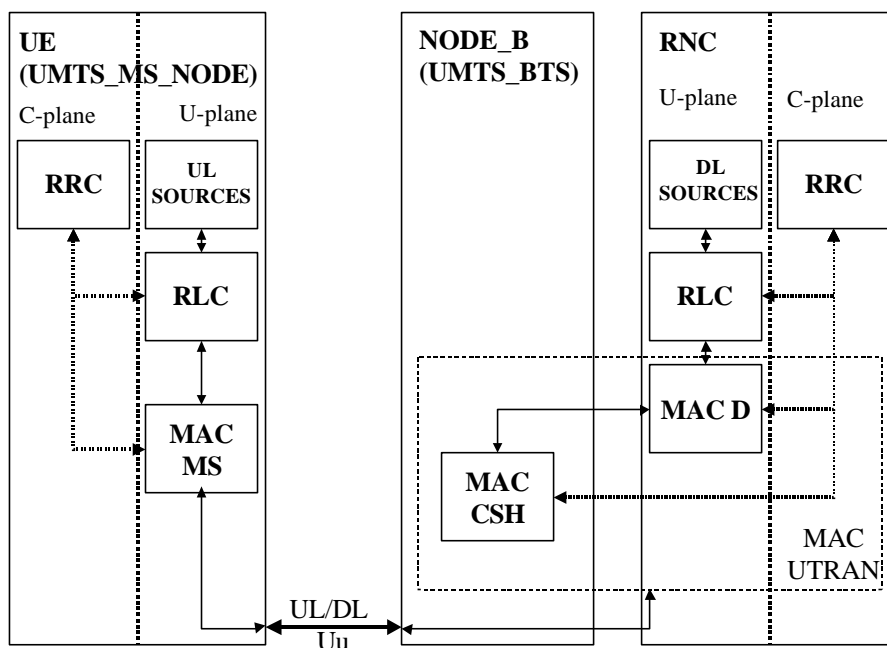


Figura 8.2: Modello protocollare del simulatore

Come si può vedere esiste un'unica entità RNC all'interno dello spazio di simulazione; il RNC ha, al suo interno, l'istanza di livello RRC responsabile della gestione dei canali radio dell'insieme delle UMTS_BTS. Gli elementi inseriti nella struttura UMTS sono descritti nei seguenti paragrafi.

8.1.1 Il Radio Network Controller

Il RNC è l'elemento responsabile della gestione delle celle all'interno dell'area di simulazione ed è costituito dai seguenti blocchi funzionali:

- **RRC:** è l'elemento che ha in gestione l'allocazione delle risorse trasmissive

e che deve sovrintendere alle comunicazioni con i mobili serviti dalle varie celle.

- **MAC_CSH_data:** è la struttura dati che memorizza le connessioni con i vari MAC_CSH presenti all'interno dello scenario e distribuiti nei vari NODE_B.
- **BTS_STACK_data:** rappresenta la struttura dati responsabile della gestione delle pile protocollari simulate all'interno dell'UTRAN. La scelta della memorizzazione di queste strutture è stata dettata dal fatto che, nell'architettura reale, è da questo elemento di rete che partono le connessioni con la *Core-Network*.

La presenza del RNC è importante dal punto di vista simulativo in quanto memorizza l'insieme dei mobili dell'area di simulazione e ne permette una schedulazione centralizzata per quanto riguarda la trasmissione sui canali in downlink.

Un altro compito proprio di questa unità è quello della gestione della mobilità degli utenti ed, in particolare, della procedura di *Cell Update*. Nel simulatore UMTS è stato verificato il corretto comportamento dei mobili e della rete durante la procedura di handover fra le diverse celle anche se non sono stati implementati gli algoritmi standard che la governano. L'RNC, comunque, gestisce in modo corretto la variazione di cella dei vari mobili simulando il completamento della procedura dopo un ritardo costante.

8.1.2 II NODE_B

Il NODE_B rappresenta il modello dell'elemento omonimo presente all'interno dell'architettura UMTS standard. È il responsabile della gestione dei canali radio sotto il controllo del RNC ed, in particolare, del RRC; ridefinisce le procedure di una BTS generica per gestire le problematiche del sistema UMTS. L'evoluzione di una BTS verso un NODE_B porta come elemento caratterizzante all'introduzione del blocco funzionale MAC_CSH. In UMTS vi è un elemento MAC_CSH per ogni NODE_B e, nel simulatore, si è presa la decisione di mantenere questa struttura per rendere facile la comprensione e l'eventuale espansione dei moduli software sviluppati. Ogni NODE_B ha, dunque, un'entità MAC_CSH responsabile della gestione dei canali condivisi all'interno della cella servita.

Il NODE_B mantiene, inoltre, il riferimento al RNC a cui è collegato in modo

tale da simulare il passaggio delle informazioni sull'interfaccia I_{bb} definita al cap. 4. La gestione della cella da parte del MAC_CSH sarà oggetto di descrizione al paragrafo 8.4 dove verranno presentati gli algoritmi implementati all'interno del simulatore.

8.1.3 Temporizzazione e schedulazione

Il simulatore UMTS, in analogia a quello GPRS, è uno strumento software a gestione temporale sincrona a cui è sovrapposta una struttura ad eventi. L'intervallo temporale minimo che si è tenuto in considerazione è relativo alla durata di una trama UMTS, di valore pari a 10 ms. Questa scelta è stata dettata dalla volontà di simulare la componente FDD del sistema trascurando, invece, la trasmissione dati in modalità TDD. Un intervallo minimo pari alla trama permette, comunque, una simulazione accurata delle prestazioni dei canali di trasporto e degli algoritmi che regolano il comportamento di livello MAC; la trama, infatti, è l'unità temporale minima per cui la velocità di trasmissione dati viene mantenuta costante.

L'ipotesi che la costante di avanzamento del simulatore sia la trama permette una descrizione dettagliata di fenomeni caratteristici della struttura UMTS quali ad, esempio, la rapida variazione della velocità trasmissiva; tale variazione dipende, infatti, dal valore del TTI per un dato canale e questo tempo è sempre multiplo del tempo di *interleaving*, che ha una durata minima pari alla lunghezza di una trama. Risulta pertanto evidente che l'ipotesi temporale scelta non impedisce la descrizione accurata della struttura protocollare del sistema UMTS.

Le limitazioni a cui si è soggetti nell'utilizzo dell'intervallo scelto possono essere così riassunte:

- **Controllo di potenza:** visto che il controllo di potenza è effettuato sulla base della durata di un *timeslot*, viene utilizzata una descrizione probabilistica del comportamento del MS e dell'UTRAN per questi algoritmi.
- **Collisione su RACH e CPCH:** poichè la verifica della collisione sui canali condivisi in uplink è effettuata sulla base *degli access slot*, è stato introdotto un modello di collisione a livello di trama per questi due canali. Questa limitazione, però, è di facile risoluzione in quanto i canali sono basati sulla metodologia slotted-aloha di cui sono noti i comportamenti e le prestazioni.

Nella versione corrente del simulatore si è arrivati a caratterizzare la trasmissione sui principali canali a pacchetto definiti per l'architettura UMTS ed, in particolare, si sono implementati gli algoritmi di gestione per i seguenti canali di trasporto:

- **DCH UL:** è il canale di trasporto che consente la maggiore velocità di trasferimento in uplink; può essere visto come un canale allocato a circuito nel caso non vengano attuati meccanismi di rilascio anticipato delle risorse; sono in corso di standardizzazione delle politiche di prerilascio sulla base di timer di inattività e di basso utilizzo del canale di trasporto.
- **RACH:** è il canale utilizzato per la connessione all'UTRAN e permette il trasferimento di piccole quantità di dati.
- **CPCH:** basato su di un accesso a contesa permette, per alcune trame, un utilizzo dedicato del codice assegnato.
- **DCH DL:** è il corrispettivo in DL del canale DCH UL.
- **DSCH:** permette la condivisione a pacchetto dell'interfaccia radio in downlink ed è il canale che si pensa di utilizzare per le trasmissioni dati *bursty* come WWW, FTP, ecc.

Il simulatore è stato progettato per misurare le prestazioni sui vari canali di trasporto sia in modalità isolata che con flussi contemporanei su canali di trasporto differenti; gli algoritmi di gestione sono presentati al paragrafo 8.4.

8.2 Il MAC nel MS

Lo scopo di questo paragrafo è la definizione della struttura che si è adottata nel simulatore per quanto riguarda il livello MAC all'interno del MS. La descrizione fornisce una caratterizzazione del diagramma delle classi utilizzato come base di progetto e prosegue con la descrizione delle entità MAC_D e MAC_CSH che sono state sviluppate. Le procedure di livello MAC ed il loro utilizzo sono definite al paragrafo 8.4

8.2.1 Gerarchia delle classi e connessione fra i livelli

Il livello MAC nel MS è costituito dall'entità MAC_MS che viene presentata nel diagramma delle classi di figura 8.3

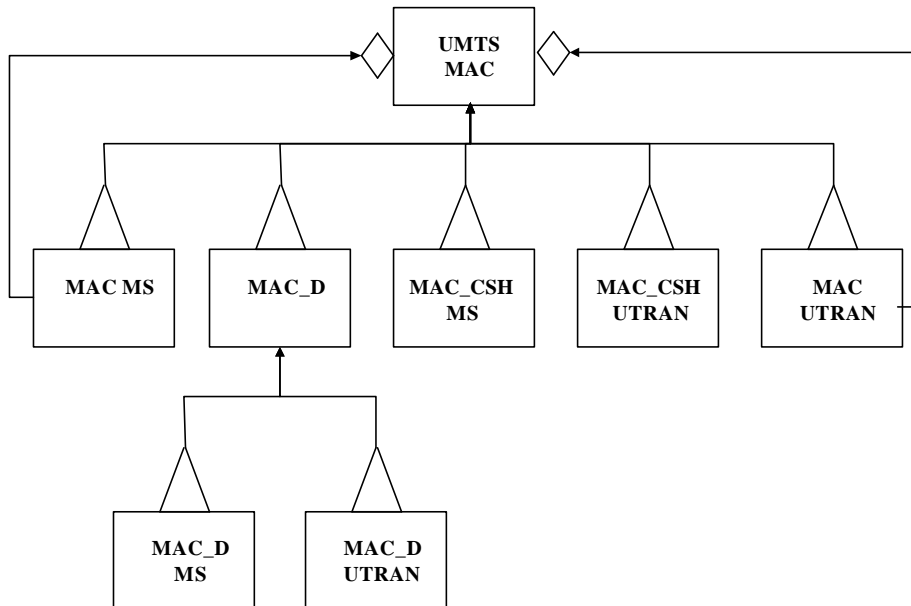


Figura 8.3: Gerarchia per il livello MAC

La classe `MAC_MS` eredita dalla classe `UMTS_MAC` in modo tale da adottare le primitive di interfaccia generiche di un MAC UMTS, ridefinendole secondo le proprie esigenze. La ridefinizione di primitive dichiarate a livello `UMTS_MAC` permette una uniformità di gestione dei livelli in modo tale da facilitare sviluppi futuri del simulatore; questa gerarchia di classi risulta quindi indispensabile per un sistema ancora in corso di standardizzazione come UMTS. Il livello `MAC_MS` sfrutta inoltre un modello di progetto secondo quanto definito dal *Design Pattern Composite* [40] per creare un'interfaccia standard verso gli altri elementi della pila protocollare; il `MAC_MS`, infatti, non ridefinisce il comportamento del MAC all'interno del mobile ma ha lo scopo di creare uno strato intermedio in modo tale da mascherare la divisione esistente fra il `MAC_D` ed il `MAC_CSH`. Dal momento che il `MAC_MS` eredita i metodi (e dunque le primitive) di un UMTS MAC la sua presenza risulta assolutamente trasparente agli altri livelli della pila che si trovano, dunque, di fronte ad un solo elemento di tipo MAC. L'utilizzo del *Pattern Composite* permette di conformarsi a quanto descritto negli standard di 3GPP che, per l'interazione fra i livelli della pila protocollare all'interno del mobile, non fanno mai riferimento ad entità MAC distinte ma sempre ad una entità di

tipo MAC_D/CSH. Il principale vantaggio di questa tecnica è la semplificazione che si viene a creare nella comunicazione tra i livelli (trascorrendo i vantaggi di implementazione tipici del *Pattern Composite*); in figura 8.4 viene indicato un esempio di gestione della comunicazione fra i livelli:

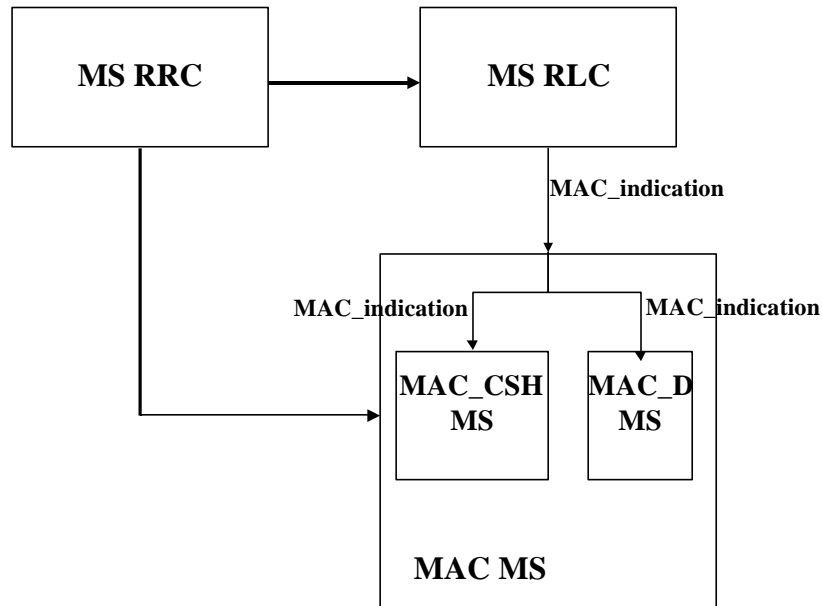


Figura 8.4: Connessioni protocollari

Il livello RLC, nel momento in cui deve trasferire un messaggio al MAC, effettua l'invocazione della primitiva di comunicazione opportuna sul MAC_MS. L'interfaccia del MAC_MS è identica all'interfaccia standard definita a livello UMTS_MAC e dunque la presenza di tale livello risulta trasparente all'RLC; in questo modo si separano completamente le esigenze di interfaccia dalla gestione interna di livello MAC. Questo approccio risulta utile nel caso in cui si verifichi un cambiamento nella gestione delle informazioni tra il livello RLC ed il MAC; il livello RLC non subirebbe alcuna conseguenza da questo cambiamento in quanto continuerebbe ad essere interfacciato con lo strato definito dal MAC-MS, limitando le modifiche necessarie all'aggiornamento del software. Un ulteriore vantaggio è dovuto alla gestione della connessione fra il livello RLC e quello MAC in quanto il rapporto si basa su due sole entità ed il livello RLC non deve possedere al suo interno le

informazioni necessarie a distinguere qual è l'entità responsabile della gestione della primitiva. Un altro esempio è fornito dalla connessione fra il livello RRC e quello MAC dove, per le primitive di comunicazione, non viene fatta alcuna differenza fra il livello MAC_D e quello MAC_CSH; la soluzione adottata nello sviluppo del simulatore si adatta perfettamente a quanto definito negli standard.

Il MAC_MS è costituito al suo interno dalle entità MAC_D e MAC_CSH e si occupa della gestione contemporanea delle procedure di livello di entrambe; la funzione principale è quella di permettere, dall'esterno, la gestione di un insieme di elementi attraverso una sola primitiva. Il livello RRC chiama una procedura di livello MAC sul MAC_MS e tale entità mantiene al suo interno la capacità di distinguere verso quale tipo di MAC deve essere rediretta la chiamata; nel caso delle procedure di tipo RRC, mediante una sola chiamata esterna, è possibile configurare i parametri di entrambe le entità presenti all'interno del MAC_MS.

Nel mobile le entità MAC_D e MAC_CSH sono istanziate all'interno del MAC_MS, visto che l'associazione è statica, a differenza di quello che succede nel MAC_UTRAN dove, nel caso di mobilità, le corrispondenze fra i vari livelli cambiano durante l'esecuzione delle simulazioni.

8.2.2 Il MAC_D all'interno di un UE

L'elemento definito con il termine MAC_D all'interno del simulatore costituisce il modello dell'entità corrispondente descritta dagli standard 3GPP; i blocchi funzionali che sono stati oggetto dell'implementazione del livello hanno quindi un corrispondente all'interno dello standard [25] e si rimanda a questo per una descrizione dettagliata del loro comportamento. Lo scopo di questo paragrafo è, invece, la descrizione del modello adottato nella costruzione del simulatore evidenziando le analogie e le differenze rispetto a quello standard.

Il modello di MAC_D è indicato in figura 8.5 e la descrizione degli elementi costitutivi è l'oggetto dei prossimi paragrafi.

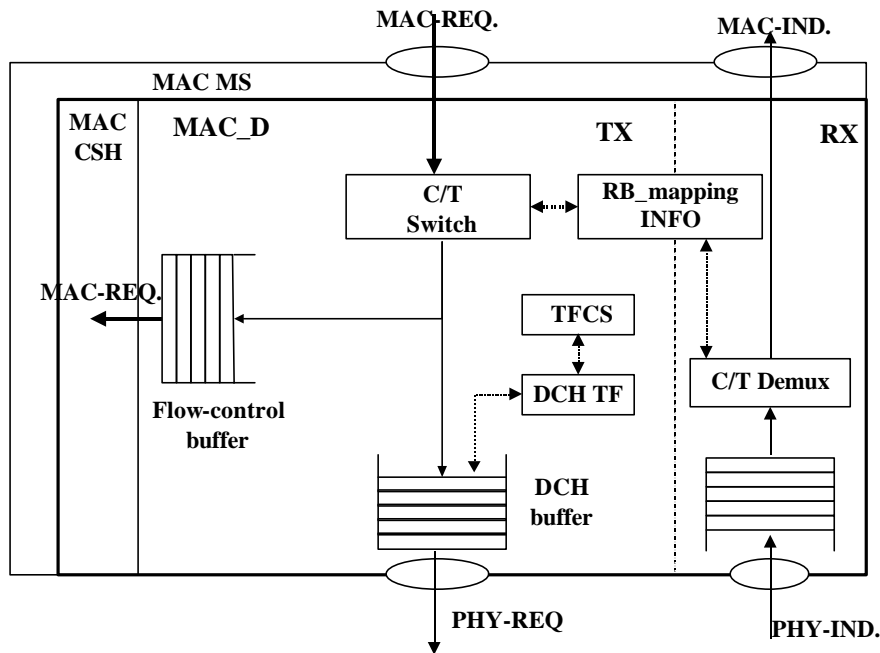


Figura 8.5: Il modello MAC_D

8.2.2.1 RB_mapping_INFO.

L'*RB_mapping_INFO* è una struttura dati che viene costruita all'interno del *MAC_D* per la memorizzazione delle corrispondenze fra i canali logici ed i canali di trasporto. Tale struttura è stata chiamata in questo modo in analogia all'elemento *RB_mapping_INFO* che viene scambiato fra MAC e RRC in fase di instaurazione di una connessione o di un *Radio-Bearer*. Il compito principale di questa entità è la memorizzazione delle informazioni trasportate dalle procedure nell'instaurazione dei vari canali logici. Un *RB_mapping_INFO* è costituita al suo interno da una serie di campi che sono utili alla gestione della connessione fra le entità *MAC_D* ed all'instradamento dei blocchi dati provenienti dal livello fisico e diretti ad una particolare istanza di RLC su un dato canale logico. I campi fondamentali contenuti all'interno di un *RB_mapping_INFO* sono memorizzati mediante vettori la cui dimensione è pari al massimo numero di canali logici (NMAX) che possono essere attivati fra il MAC ed il RLC. Le informazioni vengono reperite sulla base del numero di canale logico deciso in fase di instaurazione del collegamento (come previsto dallo standard RRC [27] ed evidenziato al paragrafo 8.4.1). Gli elementi memorizzati per ciascuna connessione di livello logico sono:

- **RLC:** mantiene l'indicazione del RLC responsabile del flusso dati sul canale logico indicato. In trasmissione questo campo memorizza l'entità RLC che ha generato il flusso dati; in ricezione la presenza di questo campo è utile per indicare a quale entità è diretto il blocco dati. Questo campo è stato introdotto per garantire la massima flessibilità di espansione nel momento in cui verrà inserito il vero e proprio livello RLC standard all'interno del simulatore. Nel caso in cui si prendesse la decisione di sfruttare più di un livello RLC poggiante sul livello MAC, questa struttura dati permette di non avere ambiguità di gestione; il caso di RLC singolo, essendo un caso particolare di quello appena indicato, è verificato in modo implicito.
- **Priority:** in analogia a quanto definito dagli standard si memorizza il livello di priorità del canale logico. Questa priorità viene utilizzata in fase di inserimento nei buffer e, conseguentemente, in fase di schedulazione dei vari flussi informativi.
- **Transport_channel_type:** questo campo memorizza il canale di trasporto a cui è diretto il flusso informativo in arrivo sul canale logico specificato. La memorizzazione del canale di trasporto è utile quando si vuole risalire all'entità a cui dirigere il blocco dati disponendo del solo numero di canale logico.
- **Buffer Occupancy (BO):** il campo BO memorizza l'informazione sullo stato delle code a livello RLC per ciascuno dei canali logici che sono stati attivati. Questa informazione è trasferita dal livello RLC al livello MAC attraverso la primitiva `MAC_DATA_req` così come definito in [26]. L'utilizzo di questo campo può rendersi necessario nel momento in cui il livello RRC richieda un'analisi dello stato di una connessione logica al livello MAC, con lo scopo di modificare i parametri di trasmissione relativi al canale di trasporto associato.
- **Destination_buffer:** questo campo, non presente negli standard, viene utilizzato per velocizzare il trasferimento delle informazioni all'interno del livello MAC. Si è deciso di memorizzare il buffer destinatario del blocco dati per evitare di dover ricavare tale buffer mediante l'analisi del canale di trasporto. Il `Destination_buffer` può essere il `DCH-buffer`, per la trasmissione sul canale di trasporto DCH, o il `flow_control-buffer` per la

trasmissione verso il MAC_CSH.

L'identificativo del canale logico non è memorizzato esplicitamente in quanto è indicizzato dalla posizione relativa all'interno del vettore.

8.2.2.2 C/T SWITCH

Il blocco identificato con la sigla C/T SWITCH svolge le funzioni proprie dei blocchi "Channel Switching" e "C/T MUX" definiti nello standard 3GPP 25.321. Si è deciso di utilizzare un blocco unico che gestisse entrambi i compiti in quanto le operazioni da svolgere sono molto semplici ed un'ulteriore divisione avrebbe rallentato l'esecuzione degli algoritmi.

Le azioni principali svolte dal C/T SWITCH sono:

- **Instradamento del flusso dati:** i blocchi dati, identificati dall'entità RLC e dal canale logico (l'insieme dei due campi può considerarsi come il SAP fra MAC e RLC), vengono indirizzati verso l'entità di memorizzazione opportuna; le entità di memorizzazione sono il DCH-buffer per i flussi su canali di trasporto dedicati ed il flow-control per quelli diretti verso canali comuni. Il corretto instradamento si basa sulle informazioni presenti nella RB_mapping_INFO a cui si accede tramite il SAP utilizzato per il trasferimento dei dati. L'inserimento nei buffer avviene in base alla priorità del canale logico che è decisa in fase di instaurazione del collegamento.
- **Aggiunta dell'header:** è compito del C/T SWITCH creare l'header di livello MAC per la comunicazione *peer to peer*. Il campo inserito è quello C/T che viene utilizzato, in fase di ricezione, per risalire al canale logico a cui appartiene il flusso informativo.

8.2.2.3 Buffer di memorizzazione

All'interno del MAC_D sono presenti due buffer per la memorizzazione delle PDU provenienti dal livello superiore ed in particolare:

- **DCH-Buffer:** memorizza le informazioni destinate ad essere trasmesse sul canale di trasporto DCH. Questo buffer temporizza la trasmissione sul livello fisico in base alle informazioni contenute nel Transport Format Set relativo al DCH. Il buffer è in grado di gestire flussi a priorità diversa dal momento che l'inserimento è effettuato indicando la priorità del canale logico associato e le politiche di gestione sono configurabili in base all'algoritmo che si intende utilizzare. L'algoritmo attualmente

implementato gestisce i blocchi in ordine di priorità decrescente.

- **Flow_control-Buffer:** è un buffer a priorità analogo al precedente che memorizza i blocchi dati in attesa di essere trasferiti verso l'entità MAC_CSH responsabile della gestione dei canali di trasporto comuni. Il comportamento del buffer è diverso a seconda che questo si trovi all'interno del MAC_D di un MS o dell'entità duale presente nell'UTRAN. Nel MS questo buffer ha il compito di temporizzare l'invio delle informazioni in base al *Transport Format Combination Set* utilizzato nel TTI considerato. La diverso comportamento fra MS e UTRAN è stata ottenuto mediante la ridefinizione della procedura corrispondente.

8.2.2.4 TFCS e DCH-TF

Il TFCS è l'entità responsabile della gestione del *Transport Format Combination Set* che è stato affidato dal RRC al MAC. In analogia a quanto definito sugli standard, il TFCS memorizza tutte le combinazioni autorizzate dei TFS per i canali di trasporto che si stanno utilizzando. La decisione sul *Transport Format* da utilizzare è presa dal MAC in base a tempistiche proprie degli algoritmi di gestione che possono essere implementati. Per migliorare le prestazioni del simulatore si è deciso di ricorrere alla memorizzazione esplicita del TF per il canale DCH che si sta utilizzando. La variazione del TF sarà un evento saltuario (per esempio basato sulle informazioni contenute nel campo BO della RB_mapping_INFO) che andrà ad aggiornare il campo DCH-TF, scegliendo all'interno del *pool* memorizzato nel TFCS. La variazione di TFCS è attuata dal RRC ed il MAC agisce come *slave* in questo tipo di riconfigurazione.

8.2.2.5 C/T DEMUX

Questo blocco funzionale si occupa del *demultiplexing* dei canali logici in modo tale da passare le informazioni al livello RLC attraverso il SAP opportuno. I compiti principali svolti da questa funzione sono:

- **Analisi e rimozione dell'header di livello MAC:** in questo blocco si realizza l'analisi delle statistiche proprie di livello MAC. Visto che i blocchi dati di qualsiasi canale logico (sia esso trasferito mediante un canale di trasporto dedicato che comune) devono attraversare nuovamente il MAC_D in ricezione, si è deciso di implementare tale funzionalità all'interno di questa entità. Mediante le informazioni contenute nell'header

si può risalire al tempo di trasferimento o calcolare il *throughput* ottenibile su di un certo canale logico. L'header di livello MAC viene in seguito rimosso e distrutto.

- **Invio delle informazioni all'entità RLC:** il C/T DEMUX è l'entità responsabile del demultiplexing dei canali logici. Il blocco dati, mediante l'analisi del campo C/T contenuto all'interno dell'header di livello MAC, viene passato al modulo RLC che ha in gestione il particolare canale logico. Per riuscire a ricavare il RLC si sfrutta il blocco RB_mapping_INFO che è stato aggiornato in fase di instaurazione della connessione.

8.2.3 Modello del MAC-c/sh lato UE

Il modello dell'entità MAC-c/sh lato UE sul quale il simulatore si basa, è rappresentato graficamente in figura 8.6. Tale modello è stato realizzato con l'obiettivo di rimanere fedeli alle entità funzionali descritte nel paragrafo 5.1.4. Il MAC-c/sh sviluppato permette di realizzare la trasmissione sui canali condivisi RACH e CPCH e la ricezione sul DSCH e sul FACH (che, però, non è definito a livello di algoritmi).

8.2.3.1 Buffer di trasmissione

All'interno dell'entità MAC-c/sh lato UE sono presenti due tipi di buffer che vengono utilizzati per le trasmissioni sui canali RACH e CPCH:

- **RACH buffer:** è il buffer a priorità in cui vengono memorizzati i vari *transport block* provenienti dai livelli superiori, prima di essere consegnati al livello fisico e di essere trasmessi sul canale comune a contesa RACH. Ad ogni TTI viene estratto da questo buffer un numero di *transport block* compatibile con il transport format set utilizzato, in modo tale da costituire un *transport block set* da inviare all'entità ricevente. I tempi di permanenza nel buffer sono determinati dal livello di persistenza associato alla classe di servizio utilizzata. La trasmissione è caratterizzata dalla possibilità di collisione dei TBSets trasmessi con quelli inviati dagli altri mobili e quindi è presente una probabilità di perdita dovuta alla sovrapposizione di trasmissioni contemporanee.

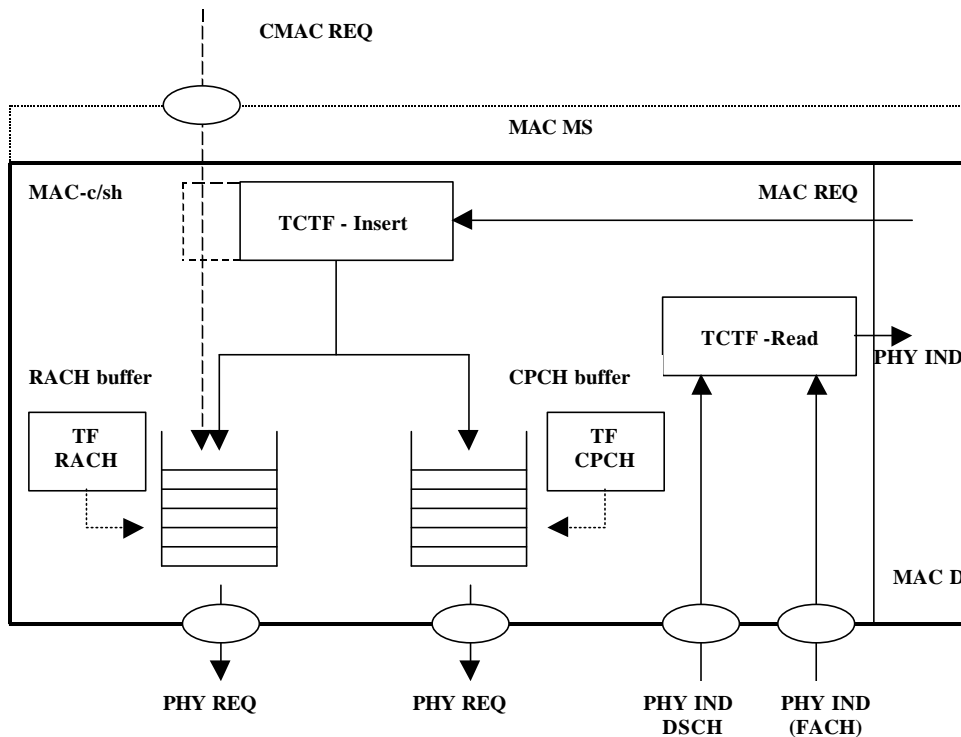


Figura 8.6: Modello del MAC-c/sh lato UE

- CPCH buffer:** come nel caso precedente è un buffer a priorità utilizzato per la memorizzazione dei *transport block* consegnati dai livelli superiori e in attesa di essere inviati alla pari entità. In questo caso, però, la trasmissione dei blocchi avviene sul canale CPCH. I TBSet vengono costruiti estraendo dal CPCH buffer un numero di *transport block* determinato dal *transport format*. I tempi di permanenza nel buffer sono determinati dal livello di persistenza, ma anche dal tempo necessario ad ottenere l'accesso al canale e di conseguenza dipendono dal carico della rete. La struttura del MAC all'interno del simulatore è stata pensata per permettere la selezione, per ogni canale di trasporto, di un diverso *transport format* ad ogni TTI, tramite opportune interazioni con il MAC-d contenente i TFCS assegnati dall'UTRAN. Tuttavia si è preferito utilizzare inizialmente un TF costante nel tempo.

8.2.3.2 TCTF – Insert

Questo blocco funzionale si occupa di inserire il campo TCTF all'interno delle intestazioni dei blocchi di livello MAC e di inviare il *transport block*, passato dal MAC-d, al buffer di trasmissione opportuno (RACH/CPCH). Nello sviluppo del simulatore è stato previsto che questo campo potesse assumere i valori DTCH e CCCH. Il valore DTCH viene utilizzato per identificare i *transport block* che contengono informazioni d'utente, costituenti il vero e proprio traffico dati, mentre il valore CCCH viene utilizzato soltanto per la trasmissione di un messaggio di segnalazione dal mobile verso la rete, ovvero il messaggio di RRC Connection Request che viene trasferito tramite il RACH. Tutti gli altri messaggi di segnalazione non vengono fatti passare attraverso la pila protocollare, ma vengono trasferiti direttamente tra le entità di pari livello. I canali logici quali BCH, PCH, ecc. non vengono simulati e quindi la classe di canale logico indicato nel campo CCCH può soltanto indicare la richiesta di una connessione RRC. Nel modello dell'entità MAC-c/sh lato UE è previsto che, prima del campo TCTF, venga inserita anche l'identità del mobile all'interno dell'intestazione dei blocchi; nel simulatore, tuttavia, si è preferito demandare tale compito al MAC-d per una maggiore semplicità di gestione dell'identificativo, costituito da un puntatore al MAC-d stesso.

8.2.3.3 TCTF – Read

Questo modulo legge l'intestazione dei *transport block* ricevuti sui canali FACH e DSCH; tramite il campo TCTF determina a quale tipo di canale logico devono essere inviati e quindi a quale entità (MAC-d oppure livello superiore) consegnare i dati. L'attuale sviluppo del simulatore prevede che i vari blocchi contengano nel campo TCTF soltanto il valore DTCH e quindi vengono sempre inviati al MAC-d del mobile. Questa scelta è dovuta al fatto che, nel simulatore, i messaggi di segnalazione inviati dalla rete all'UE non seguono il flusso dei dati attraverso la pila protocollare, ma vengono scambiati direttamente tra pari entità. Oltre al campo TCTF viene anche letto l'identificativo del mobile, per poter verificare la correttezza della consegna al MAC-d.

8.3 Il MAC nell'UTRAN

8.3.1 Il MAC_D nell'UTRAN

Il sottolivello MAC_D all'interno dell'UTRAN presenta caratteristiche analoghe a quelle definite per un MS. Tale decisione si basa sul diagramma a blocchi definito in [25] che presenta strette analogie con il diagramma definito per la gestione di livello MAC di un MS.

La struttura definita per il MAC_D all'interno di un UE viene quindi ereditata da quello dell'UTRAN basandosi sulle proprietà peculiari di un linguaggio orientato alla programmazione ad oggetti quale il C++. Tutte le procedure descritte per il MAC_D nel capitolo 8.2 risultano, quindi, valide anche all'interno dell'UTRAN; in questa sede vengono soltanto riportate le procedure che sono state ridefinite per la caratterizzazione del livello.

La prima differenza che si è dovuta tenere in considerazione è stata la mobilità di un MS. Il MAC_D all'interno dell'UTRAN non è legato in modo statico ad una particolare entità MAC_CSH come, invece, succede per l'istanziamento protocollare all'interno di un MS. Il mobile, durante una sessione, può spostarsi da una cella ad un'altra effettuando la procedura di handover; dal momento che ogni cella ha un MAC_CSH responsabile della propria gestione risulta evidente che un mobile può essere servito da MAC_CSH diversi durante l'arco di tempo della stessa sessione dati. Questa possibilità è stata tenuta in considerazione per un eventuale sviluppo del simulatore nel caso in cui si vogliano implementare in dettaglio gli algoritmi che gestiscano il cambio di cella.

La differenza più grande che può essere notata nella stesura del modello relativo al MAC_D nell'UTRAN è relativa al rapporto di comunicazione con il livello MAC_CSH. All'interno di un MS un MAC_CSH è delegato, ovviamente, della gestione di un solo MAC_D; nell'UTRAN, invece, ogni MAC_CSH ha in carico l'insieme delle entità MAC_D dei mobili che si trovano, in un certo istante, all'interno della cella da esso servita; per questa ragione gli standard prevedono un buffer per il controllo del flusso di informazioni fra le diverse entità. Il MAC_CSH, essendo il responsabile della gestione dei flussi informativi trasmessi sui canali di trasporto comuni, stabilisce quali sono le entità MAC_D abilitate a trasmettere nel TTI corrente. Le entità che non vengono prescelte accodano le loro richieste all'interno dei flow_control-buffer e non possono inviare blocchi dati fino ad una indicazione esplicita da parte del MAC_CSH.

La temporizzazione con cui vengono trasferiti i blocchi dati da un MAC_D ad un MAC_CSH è definita sulla base del TTI deciso per il flusso dati corrente; le politiche di trasferimento dei blocchi non sono state standardizzate dall'ETSI e le ipotesi utilizzate per le simulazioni sono definite al par. 8.4

8.3.2 Modello del MAC-c/sh lato UTRAN

Il modello dell'entità MAC-c/sh lato UTRAN è presentato in figura 8.7. Anche in questo caso le scelte che hanno portato allo sviluppo di tale modello sono basate sulla descrizione dell'entità presentata negli standard 3GPP. Il MAC-c/sh lato UTRAN implementato consente di effettuare trasmissioni sul DSCH e ricezioni sui canali RACH e CPCH. E' inoltre prevista anche la possibilità di inserire il FACH e gli algoritmi di gestione relativi. Gli elementi che compongono il modello utilizzato nel simulatore sono riportati nei paragrafi seguenti.

8.3.2.1 Controller

Il controller è un elemento introdotto all'interno del MAC-c/sh per esigenze di simulazione. Questo elemento ha il compito di controllare gli eventi di livello fisico sui canali RACH e CPCH (ad esempio l'invio delle sequenze di preamboli) che, a causa della scelta di utilizzare come step temporale minimo la durata della trama (10 ms), non possono essere emulati nel dettaglio.

- **RACH controller:** a questo modulo giungono i *transport block set* inviati da tutti i mobili presenti nella cella gestita da una determinata entità MAC-c/sh all'interno di un particolare TTI. Il compito del RACH controller è quello di decidere quante e quali delle trasmissioni effettuate hanno avuto successo e quante collisioni si sono verificate; questa decisione viene presa sulla base di un'estrazione di variabile casuale da confrontare con una soglia di collisione dipendente dal numero di utenti che hanno trasmesso in un TTI; questa soglia, inoltre, dipende anche dal numero di codici disponibili per il RACH ed è basata sulla curva di efficienza tipica dei canali slotted-aloha.

Le soglie di collisione, che sono rappresentate graficamente nella figura 8.8, possono anche essere modificate o sostituite con altri modelli più complessi e accurati. I *transport block set* che hanno avuto successo vengono poi analizzati dal modulo TCTF-read.

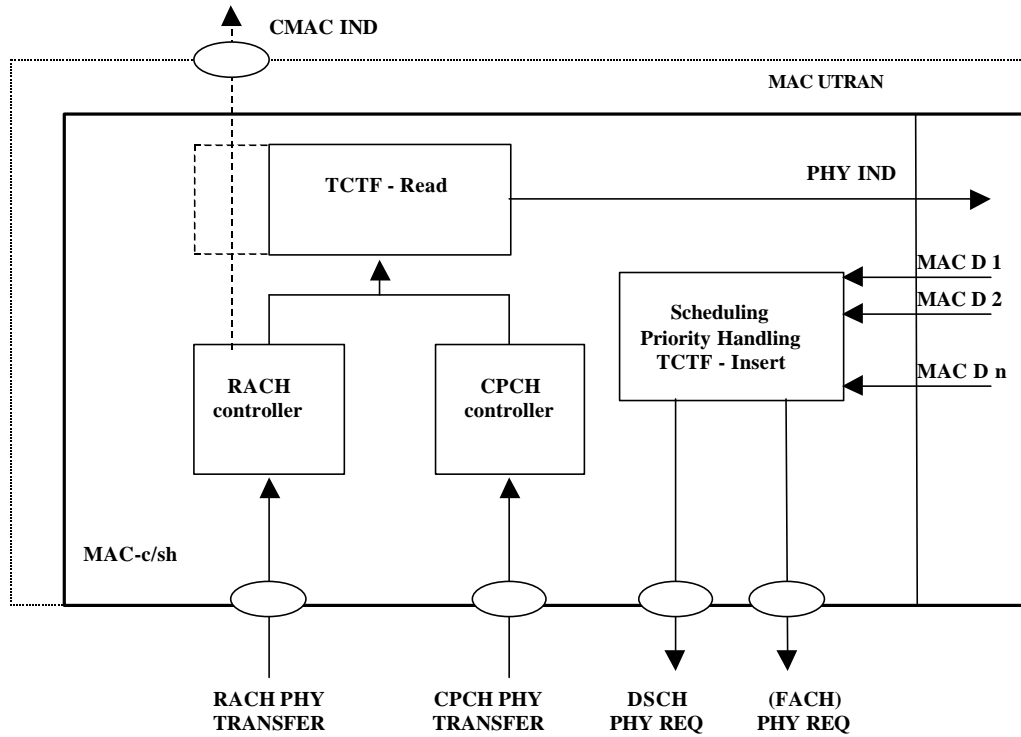


Figura 8.7: Modello MAC c/sh lato UTRAN

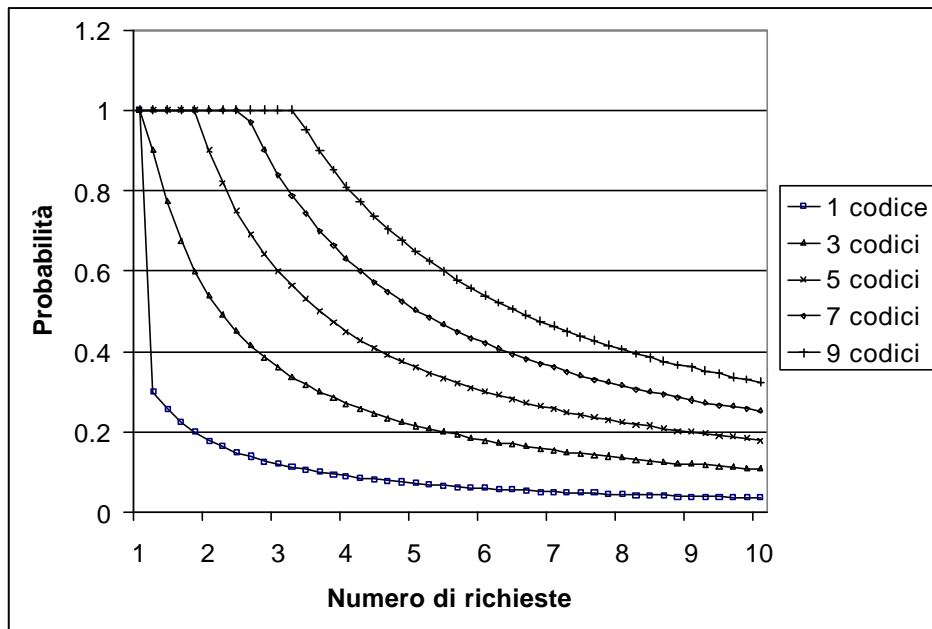


Figura 8.8: Curve di probabilità di accesso

- **CPCH controller:** questo elemento riceve tutte le richieste accesso al canale CPCH (sequenze di preamboli) e tutti i *transport block set* inviati dai vari mobili all'interno di una specifica cella una volta ottenuto l'accesso. I compiti svolti da questo modulo sono due. Il primo consiste nello stabilire quante e quali richieste di accesso al CPCH hanno avuto successo tramite lo stesso metodo utilizzato dal RACH controller, ovvero tramite il confronto di una variabile aleatoria con una soglia di collisione (fig. 8.8). In questo caso però a collidere non sono i messaggi veri e propri inviati dai mobili, ma le sequenze di preamboli, poiché la trasmissione su questo canale è di tipo DSMA-CD. Per questo motivo il controller dovrà inviare all'UE le opportune indicazioni di acquisizione del canale, come sarà descritto nel paragrafo 8.4.4. La seconda funzione del CPCH controller è quella di inviare tutti i *transport block* ai MAC-d opportuni.

8.3.2.2 TCTF-Read:

Questo blocco ha il compito di analizzare il campo TCTF dell'intestazione del *transport block* in uscita dal RACH controller; il TCTF-Read stabilisce se inviare il blocco al MAC-d opportuno o al livello superiore della pila protocollare a seconda che il campo TCTF contenga il valore DTCH o CCCH. Nel primo caso il blocco contiene informazioni d'utente, mentre nel secondo caso contiene il messaggio di segnalazione RRC Connection Request.

8.3.2.3 Lista di MAC-d:

In ogni MAC-c/sh lato UTRAN, uno per ogni cella, viene memorizzato l'insieme dei MAC-d degli UE attivi in tale cella per poter gestire le trasmissioni sul canale condiviso DSCH. Per UE attivo si intende un mobile che ha stabilito una connessione RRC con l'UTRAN. Se vi sono *transport block* da trasmettere nei buffer di *flow control* interni ai vari MAC-d memorizzati nella lista, allora per ognuno di essi vengono costruiti TBSets di dimensione opportuna e vengono inviati direttamente al MAC-c/sh destinatario. Il massimo numero di TBSets da inviare ad ogni TTI è determinato dal parametro che indica il massimo numero di codici diversi che è possibile utilizzare per la trasmissione su questo canale.

8.4 Descrizione degli algoritmi sviluppati

Lo scopo di questo paragrafo è illustrare le caratteristiche interne del simulatore facendo riferimento ai blocchi funzionali definiti in precedenza; l'attenzione è stata posta sulla caratterizzazione dettagliata del rapporto fra i

canali logici ed i canali di trasporto per il fatto che l'obiettivo, come per GPRS, è l'analisi delle prestazioni ottenibili per la trasmissione dati a pacchetto sull'interfaccia radio. L'interfaccia con i livelli RLC e RRC è stata, inoltre, mantenuta strettamente aderente a quella definita dagli standard in modo tale da garantire una facile evoluzione del simulatore verso l'inserimento di nuovi livelli.

8.4.1 Lettura dei parametri di sistema e connessione alla rete.

Un MS, al momento dell'accensione, non ha conoscenza dello scenario di simulazione in cui si trova inserito. Questa caratteristica è ereditata da una classe di livello superiore (Mobile_node) in modo tale da garantire il massimo riutilizzo delle procedure nel caso in cui si vogliano introdurre nuovi tipi di terminali mobili. La procedura di selezione di cella è stata semplificata rispetto a quella definita dagli standard, visto che non era uno degli scopi primari del simulatore, ed eredita i comportamenti definiti al capitolo 6. La modularità con cui è stato concepito lo scenario di simulazione permette di riportare le caratteristiche viste per il GPRS al mondo UMTS. Nelle simulazioni che sono state effettuate si è ipotizzato l'utilizzo di un ACTIVE SET unitario per la connessione UE-UTRAN anche se il passaggio ad uno scenario costituito da più NODE-B è immediato vista la presenza della lista di stazioni radio base all'interno dei pixel. Un UE, quando entra nello stato di IDLE, dovrà leggere le informazioni di sistema inviate dalla cella a cui si sta collegando.

Nel simulatore l'aggiornamento dei parametri di sistema è effettuato in un tempo costante e le principali informazioni trasmesse in broadcast sono:

- **Access Service Classes:** definiscono i parametri di persistenza legati a ciascuna classe in modo tale da garantire tempistiche di accesso diverse a mobili aventi classi di servizio differenti.
- **Parametri di controllo per l'accesso al RACH:** in particolare vengono inviati i parametri Mmax, pre_retr_max, NB01min, NB01max, num_asc definiti al paragrafo 5.1.9.
- **Parametri di controllo per l'accesso al CPCH:** le informazioni trasferite attraverso questi parametri sono Cpch_persistency, NF_max, NF_bo_all_busy, NF_bo_busy, NF_bo_no_aich, NF_bo_mismatch, N_access_fails, N_EOT descritti al paragrafo 5.1.10.
- **Numero di codici allocati:** rappresentano il numero massimo di codici

utilizzabili, nello stesso TTI, dai canali di trasporto e sono definiti attraverso i parametri `max_rach_codes`, `max_cpch`, `max_dch_ul_codes`, `max_dch_dl_codes`, `max_dsch_codes`. Il loro utilizzo verrà descritto nei prossimi paragrafi.

Mediante queste informazioni un MS conosce tutti i parametri utili all'instaurazione di una connessione; altri parametri aggiuntivi vengono trasmessi nella comunicazione fra i livelli RRC in fase di `Connection_SETUP` o nella comunicazione fra MAC e RRC.

La connessione alla rete segue lo schema definito in 3GPP 25.303 [23] e ne viene qui riportato il modello simulato:

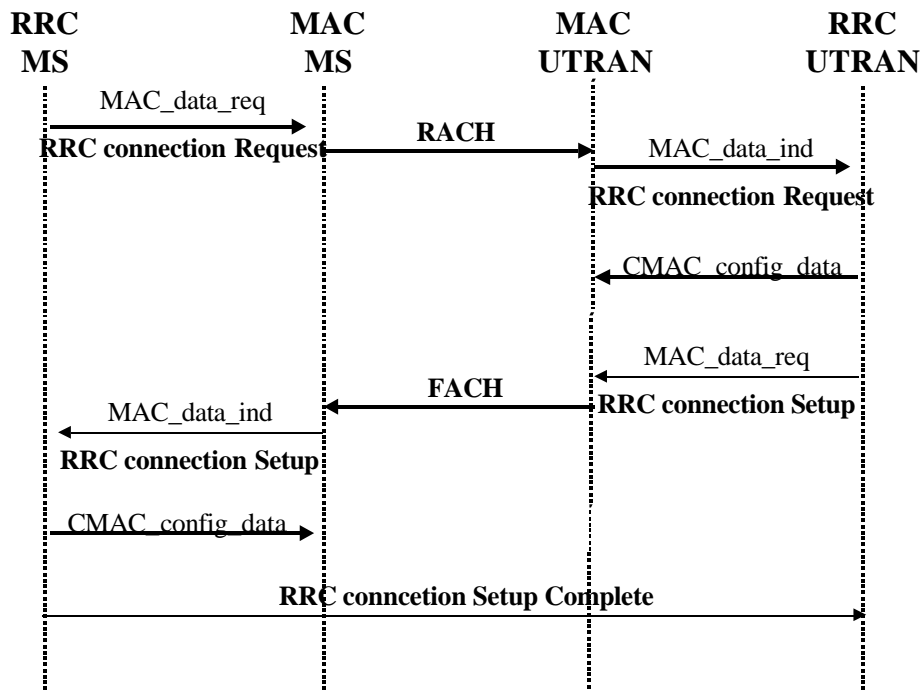


Figura 8.9: Procedura di connessione alla rete

La didascalia collegata al diagramma a traliccio indica le primitive di comunicazione tra i livelli, il tipo di messaggio scambiato ed il canale di trasporto utilizzato per inviare il messaggio. Nel diagramma viene rappresentata la parte di procedura che interessa i livelli MAC e RRC trascurando le interazioni con il livello fisico.

Nel momento in cui il RRC all'interno del mobile decide di iniziare la procedura di connessione alla rete, viene richiesto al `MAC_MS` di inviare dati

attraverso il SAP delegato della trasmissione delle informazioni di controllo. Il messaggio di controllo utilizzato dal MS_RRC è di tipo RRC_Connection_Setup ed include:

- **Mobile_ID:** identificativo del mobile che ha effettuato la richiesta; visto che, in questa fase, non vi sono ancora canali allocati, esso serve per indicare alla rete quale entità RRC sta effettuando la richiesta.
- **Establishment_cause:** indica il motivo per cui si effettua la richiesta di Setup; le motivazioni sono, ad esempio, risposta al paging, trasferimento dati real-time, ecc.
- **Service_Type:** indica il tipo di servizio che un mobile vuole attivare e viene utilizzato, nel simulatore, per indicare al modulo di gestione dei canali quali sono i parametri di servizio necessari al flusso dati che sta per essere instaurato.

Il messaggio di RRC_CONNECTION_request viene trasferito al livello MAC mediante la primitiva CMAC_DATA_req per essere inviato sul canale di trasporto comune in uplink RACH. Una volta giunto all'entità MAC_CSH e analizzato, il messaggio verrà trasferito al RRC mediante la primitiva CMAC_DATA_ind.

A questo punto il RRC nell'UTRAN analizzerà i parametri di richiesta del mobile e tenterà l'allocazione dei codici nel caso in cui si decida per una trasmissione sul DCH. Nel simulatore si sono trascurati gli algoritmi per l'allocazione dei codici e si è supposto un numero massimo di utenti all'interno del sistema a seconda del tipo di servizio che gli utenti stessi richiedono. Nel caso di comunicazione su canali comuni (RACH, CPCH, DSCH) non è necessaria l'allocazione dei codici ma soltanto un'indicazione del numero massimo di canali attivati (numero massimo di *signature*).

In questa fase viene costruita la struttura dati CMAC_CONFIG_DATA utilizzata per la configurazione del livello MAC sia all'interno dell'UTRAN che all'interno di un MS. A seconda del tipo di servizio richiesto sono stati definiti, all'interno del simulatore, vari tipi di strutture di configurazione che includono:

- **Transport Channel Type:** indicatore del canale di trasporto utilizzato per inviare il flusso dati che si è richiesto in fase di instaurazione. Viene memorizzato nella RB_mapping_INFO per permettere l'invio dei dati verso il buffer opportuno.

- **Logical Channel Identity:** numero di canale logico utilizzato per la comunicazione fra RLC e MAC; indica il SAP su cui il MAC si aspetta le occorrenze dei blocchi diretti verso un certo canale di trasporto. Anche questa informazione viene memorizzata nella RB_mapping_INFO.
- **Transport Channel Priority:** indica la priorità del flusso dati instaurato mediante i parametri precedenti; è utile per implementare politiche di schedulazione differenti a seconda della priorità del canale.
- **Transport Format Combination Set:** struttura dati che raccoglie le informazioni del campo omonimo definito dagli standard. È costituito da un insieme di *Transport Format* ed il livello MAC può decidere arbitrariamente quale utilizzare all'interno della comunicazione.

Mediante questi parametri i vari livelli MAC in ricezione e trasmissione posseggono tutte le informazioni necessarie alla comunicazione *peer to peer*. L'RRC invia la struttura CMAC_CONFIG_DATA al MAC mediante la primitiva CMAC_CONFIG_req.

La rete risponde all'utente mediante un messaggio di tipo RRC_CONNECTION_SETUP che viene trasmesso sul canale FACH; visto che tale canale non risultava interessante per le simulazioni di livello MAC si è trascurata la sua presenza e tale messaggio viene trasferito tra le pari entità RRC con un ritardo prefissato.

Alla ricezione del messaggio di RRC_CONNECTION_SETUP, il RRC all'interno del mobile configurerà il livello MAC in modo analogo a quello definito in precedenza ed entrerà nello stato CONNECTED; il sottostato dipende dal canale di trasporto che la rete avrà assegnato al mobile. L'UE conclude la procedura di accesso inviando un messaggio di conferma di tipo SETUP_COMPLETE alla pari entità RRC su di un canale di segnalazione dedicato.

Nel caso in cui la rete non conceda l'accesso all'UE il RRC_UTRAN invierà, al posto della CONNECTION_SETUP, un messaggio di tipo CONNECTION_FAILURE ed il mobile dovrà iniziare nuovamente la procedura di accesso se non ha superato il massimo numero di tentativi consentito la trasmissione; tale numero non è ancora stato definito dagli standard.

Nei prossimi paragrafi verranno descritti i canali di trasporto che sono stati inseriti all'interno del simulatore e gli algoritmi che ne definiscono il

comportamento.

8.4.2 Trasmissione sul DCH

Lo scopo di questo paragrafo è descrivere la modalità di trasferimento che è stata simulata nel caso di trasmissione sul canale DCH ponendo in evidenza le relazioni funzionali fra i blocchi definiti precedentemente. Si suppone che la connessione sia già stata stabilita come indicato al paragrafo 8.4.1.

Una volta che il canale logico è stato instaurato sotto la supervisione del RRC, il MAC si pone in attesa delle informazioni di livello superiore provenienti dal RLC sul numero di canale logico attivato. Il livello RLC invia al MAC i dati mediante la primitiva:

- **MAC_DATA_req(PDU, BO, RLC, Log_ch):** dove il campo PDU rappresenta l'unità dati da trasferire, BO è la *Buffer Occupancy* relativa al canale logico che è stato instaurato (viene memorizzata nella RB_mapping_INFO-RB), RLC viene utilizzato nel caso si vogliano utilizzare più unità RLC indipendenti e Log_ch è l'identificativo del canale logico da cui provengono i dati. Questi parametri sono confrontati con quelli presenti all'interno della RB per verificare che non vi sia stato un errore di memorizzazione.

Mediante l'analisi della RB il MAC riesce a conoscere il canale di trasporto su cui vanno inviate le PDU provenienti dal livello superiore e le trasferisce verso il buffer opportuno. Nel caso di modalità dedicata le PDU vengono memorizzate nel DCH-buffer a seconda della loro priorità mentre, nel caso di invio su canali condivisi, vengono collocati nel flow-control buffer. La trasmissione sui canali condivisi verrà trattata nei prossimi paragrafi ma è importante sottolineare che la gestione di questi canali è assolutamente trasparente al MAC_D e risulta, perciò, facilmente espandibile; nessuna modifica sarà richiesta in questo sottolivello nel caso di introduzione di nuovi canali gestiti dal MAC_CSH. Nel caso si vogliano gestire nuovi canali all'interno del MAC_D, l'unica modifica da effettuare è l'introduzione di un buffer di memorizzazione per il canale di trasporto e la redirectione del flusso informativo verso questo buffer. Non vi è il bisogno di nuove strutture dati in quanto l'RB include tutte le funzionalità necessarie alla gestione dei nuovi canali. L'unica differenza rispetto a quanto attualmente implementato risiederebbe in un confronto con il canale di trasporto inviato mediante la primitiva CMAC_CONFIG_DATA dal RRC.

La schedulazione della trasmissione degli utenti si basa sullo stato del MS

trama per trama; gli utenti in Connected Mode vengono memorizzati in modo tale da gestire la loro trasmissione in modo esclusivo rispetto a quelli in IDLE, per velocizzare i tempi di calcolo.

Quando un utente viene schedato verifica lo stato in cui si trova ed implementa le procedure definite per il particolare canale di trasporto (o per i vari canali di trasporto) su cui sta operando. Nel caso di trasmissione sul DCH l'utente provvede alla gestione del DCH-buffer su cui vengono memorizzate le PDU che comporranno il TBS del TTI corrente. La scelta del TF da applicare può essere variata TTI per TTI dal MAC_D basandosi sulla informazioni memorizzate nel TFCS; per non appesantire troppo le simulazioni si è, però, deciso di utilizzare un formato di trasporto unico all'interno della connessione e di modificarlo, eventualmente, nel momento in cui la BO del canale logico associato stia superando delle soglie impostate dal RRC.

Il valore di TF per la trasmissione viene, dunque, estratto dal TFCS e memorizzato nel componente DCH_TF all'interno del MAC_D; in questo modo si crea una separazione fra gli algoritmi che utilizzano tale valore da quelli responsabili del suo aggiornamento. Il MAC_D, una volta schedato, legge il valore di DCH_TF ed estrae dal buffer il numero di blocchi indicato; l'estrazione è, per il momento, effettuata sulla base del flusso più prioritario. I blocchi dati vengono inseriti in un TBS per essere inviati contemporaneamente nello stesso TTI.

La trasmissione sfrutta la primitiva PHY-DATA_ind chiamata sulla pari entità MAC in ricezione dove l'unico parametro passato è il TBS. Bisogna notare che questo comportamento è identico sia nel caso di trasmissione sul DCH in DL che nel caso UL visto che non sono previste, negli standard, differenze di comportamento.

Una volta che il TBS raggiunge il MAC_D in ricezione si ha la scomposizione nei TB che lo compongono; mediante questa funzione si ricavano le PDU che costituiscono il TBS e che devono essere inviate al livello RLC.

Dall'analisi dell'header vengono raccolte le statistiche utili al flusso di informazioni relativo al livello MAC; bisogna rimarcare il fatto che le statistiche vengono aggiornate nel MAC_D per tutti i blocchi di ogni canale di trasporto in quanto tutti i flussi dati lo attraversano sia in fase di trasmissione che di ricezione. I flussi dati vengono demultiplati sulla base dell'identificativo di canale logico presente all'interno dell'header di livello MAC come previsto dagli standard; questa funzione è realizzata mediante l'utilizzo del blocco C/T DEMUX presentato al paragrafo 8.2.2. Il MAC_D, mediante il numero del

canale logico e le informazioni presenti nel RB, risale al livello RLC responsabile della gestione del blocco dati; l'invio al livello superiore sfrutta la primitiva `MAC_DATA_ind`.

La gestione dei canali logici, che devono essere associati a canali di trasporto condivisi, è analoga a quanto descritto in questo paragrafo, per quanto riguarda il comportamento del `MAC_D`. La differenza sostanziale risiede nel fatto che i blocchi dati vengono inviati al flow-control buffer invece che al DCH buffer.

8.4.3 Trasmissione sul RACH

La trasmissione sul RACH è stata simulata prendendo come punto di riferimento il diagramma di flusso presente nello standard [25] e riportato nel paragrafo 5.1.9. I messaggi inviati su questo tipo di canale possono avere una durata di 10 o 20 ms, tuttavia nel simulatore si è voluto prendere in considerazione soltanto il primo caso. Per rendere più semplice la gestione delle procedure di trasmissione, è stata introdotta la variabile `RACH_status` che permette di individuare qual è lo stato attuale delle operazioni sul RACH. Questa variabile può assumere i seguenti valori:

- **IDLE:** il terminale mobile non ha dati da trasmettere sul RACH e non necessita di effettuare alcuna operazione su questo canale. Se vengono inseriti dei transport block nel RACH buffer, allora è necessario uscire dallo stato di IDLE ed entrare in quello di PENDING.
- **PENDING:** l'UE ha dato inizio alla procedura di trasmissione ed è in attesa di effettuare la trasmissione dei dati memorizzati nel buffer. Quando la trasmissione è terminata, il mobile ritorna nello stato di IDLE.

I transport block da trasmettere sul RACH vengono inviati al MAC-c/sh dal MAC-d tramite la procedura `MAC_DATA_REQ(PDU, priority)` o dal RRC tramite la procedura `CMAC_DATA_REQ(PDU, priority)`. Nel primo caso si tratta di dati utente, mentre nel secondo la PDU trasporta le uniche informazioni di controllo (`RRC_CONNECTION_REQ`) che vengono fatte passare attraverso la pila protocollare. Se la PDU trasporta dati utente, nel campo TCTF dell'intestazione del blocco inserita dal MAC-d viene scritto il valore DTCH, mentre se si tratta di messaggi di segnalazione nel campo TCTF viene scritto CCCH. Questa differenziazione permette un facile smistamento dei *transport block* all'interno del MAC-c/sh lato UTRAN. Infine, il *transport block* viene inserito nel RACH buffer in attesa di essere trasmesso.

8.4.3.1 Procedura di trasmissione

Prima di iniziare qualunque operazione sul RACH, il MAC deve avere a disposizione tutti i parametri necessari per la trasmissione. Tali parametri, riportati qui di seguito, vengono inviati attraverso la procedura CMAC-Config_Req dal livello RRC quando viene richiesto il trasferimento di dati su questo canale

- **Mmax:** è il numero massimo di cicli di preamboli che un terminale mobile ha la possibilità di inviare.
- **N_{B01min}:** è il minimo numero di frame che l'UE deve attendere prima di provare ad effettuare una nuova trasmissione sul RACH, dopo aver ricevuto dalla rete un riscontro negativo in seguito al precedente tentativo.
- **N_{B01max}:** è il massimo numero di frame che l'UE deve attendere prima di provare ad effettuare una nuova trasmissione sul RACH, dopo aver ricevuto dalla rete un riscontro negativo in seguito al precedente tentativo.
- **Pre_retr_max:** è il massimo numero di preamboli che possono essere inviati dal livello fisico del mobile durante il tentativo di trasmissione sul canale.
- **Insieme dei parametri ASC (Access Service Class):** l'insieme di questi parametri corrisponde ad una serie di ASC ed ai relativi valori di persistenza che il terminale mobile ha la possibilità di utilizzare.
- **Timer T2a, T2b T2c e T_{B01}:** sono i timer che devono gestire le tempistiche dei vari tentativi di trasmissione su questo canale.

Se il buffer di trasmissione contiene *transport block* da inviare sull'interfaccia radio, il MAC-c/sh del mobile azzerà il contatore M dei tentativi di trasmissione ed effettua la selezione dell'ASC, confrontando la priorità dei dati all'interno del buffer con le priorità associate all'insieme di ASC passato dal RRC. La scelta deve permettere la trasmissione dei dati con la priorità più alta a disposizione del mobile, a sua volta associata ad uno specifico livello di persistenza. A questo punto il mobile può entrare nello stato PENDING ed incrementare il contatore M . Se $M > Mmax$, la procedura di trasmissione può continuare, altrimenti deve essere interrotta, poiché è stato superato il numero massimo di tentativi ammessi e il mobile deve tornare nello stato di IDLE. Se la procedura può continuare, viene estratta una variabile casuale uniforme R compresa tra 0 e 1 e viene confrontata con il valore di persistenza P determinato precedentemente. Se $R > P$ viene abilitato il timer T_{2b} ed alla

scadenza viene effettuato un nuovo controllo di persistenza. Se $R < P$ il MAC-c/sh da inizio alle operazioni di livello fisico tramite la procedura PHY_access_req. In seguito l'UE si pone in attesa del messaggio di riscontro inviato dall'UTRAN. I tipi di risposte che il mobile può ricevere sono:

- **ACK:** l'invio dei preamboli ha avuto un riscontro positivo da parte dell'UTRAN ed il mobile ha la possibilità di trasmettere i dati memorizzati nel RACH buffer.
- **NACK:** la rete ha inviato al mobile un riscontro negativo, quindi il MAC-c/sh lato UE deve attendere un numero di frame determinato dal timer $T_{B01} + 1$ e tentare una nuova trasmissione.
- **NO ACK:** in questo caso la rete non invia alcun messaggio di riscontro, per cui il mobile deve attendere la scadenza del timer T_{2a} ed effettuare un nuovo tentativo di trasmissione.

Le operazioni di livello 1 non possono essere emulate nel dettaglio poiché il simulatore è basato sulla durata temporale del frame che corrisponde a 10 ms, non permettendo così di implementare l'invio delle sequenze di preamboli vere e proprie. Nel simulatore viene stabilito a priori, tramite l'estrazione di una variabile casuale da confrontare con una soglia THR1, se l'UTRAN invierà un riscontro al mobile. Anche il ritardo con cui la risposta viene inviata ai mobili è una variabile casuale che dipende dai parametri Pre_retr_max e t_{pp} . Inoltre il tipo di riscontro inviato dalla rete (ACK o NACK) viene estratto casualmente tramite il confronto con una soglia THR2. Se l'UE riceve un riscontro positivo dalla rete (ACK), allora viene costruito un *transport block set* estraendo dal RACH buffer un numero di *transport block* congruente al transport format selezionato; questo TBSet viene inviato al RACH controller all'interno del MAC-c/sh lato UTRAN. Il RACH controller, ogni TTI, riceve tutti i transport block set inviati dai mobili all'interno di una cella e determina in base alle curve di figura 8.8 quante e quali trasmissioni sono andate a buon fine. Le curve permettono infatti di ricavare una soglia di collisione, dipendente dal numero di codici allocati per il RACH e dal numero di trasmissioni effettuate in un TTI, da confrontare con l'estrazione di una variabile casuale. Tale confronto permette di simulare se il *transport block set* trasmesso è andato incontro ad una collisione o se è stato ricevuto correttamente; in caso di collisione il blocco sarà scartato e verranno aggiornate le opportune statistiche mentre, se è stato ricevuto correttamente, sarà processato dal MAC-c/sh; il blocco verrà, poi, inviato al MAC-d opportuno, o al livello RRC, tramite la

lettura del campo TCTF e dell'identificativo dell'UE all'interno dell'intestazione del *transport block*. L'invio al MAC-d avviene tramite la procedura PHY_DATA_ind mentre al RRC tramite la procedura CMAC_DATA_ind. Una volta trasmesso il transport block set, il valore della variabile RACH status all'interno del MAC-c/sh del mobile viene posto ad IDLE, per permettere l'invio di altri dati nei frame successivi.

8.4.4 Trasmissione sul CPCH

La trasmissione sul canale CPCH implementata nel simulatore segue fedelmente i diagrammi di flusso riportati sullo standard [25]. La trasmissione dei dati avviene in due fasi: la prima consiste nell'accesso al canale, mentre la seconda nell'invio dei transport block. Ad ogni trama viene controllato il valore della variabile CPCH status, che indica in quale stato si trova la procedura di trasmissione su questo canale. Tale variabile è stata introdotta nel simulatore per meglio indicare, frame per frame, quale fase la procedura di trasmissione stia attraversando. Più precisamente i diversi stati sono i seguenti:

- **IDLE:** né la trasmissione e neppure la procedura di accesso sono in corso sul CPCH. In questo stato, se vi sono dati da trasmettere all'interno del CPCH buffer, viene dato inizio alla procedura di accesso tramite una chiamata alla funzione Start_CPCH_procedure. Se invece il buffer di trasmissione non contiene transport block in attesa di essere trasmessi, allora non viene intrapresa nessuna azione.
- **PENDING:** in questo stato il terminale mobile ha dato inizio alla procedura di accesso al canale, ma non ha ancora avuto la possibilità di trasmettere i dati poiché è in attesa di una risposta della rete contenente l'indicazione dell'esito dell'accesso. Nel caso in cui la rete confermi l'accesso all'UE allora viene dato inizio alla procedura di trasmissione, altrimenti, tramite timer opportuni, viene effettuato un nuovo tentativo.
- **TRANSMITTING:** quando si trova in questo stato, il terminale mobile ha ottenuto l'accesso al canale e ha la possibilità di iniziare o continuare a trasmettere i dati presenti nel CPCH buffer secondo le modalità indicate dal RRC tramite il *transport format* opportuno.

I *transport block* da trasmettere sul CPCH vengono inviati al MAC-c/sh dal MAC-d tramite la procedura MAC_DATA_req(PDU, priority). Il MAC-c/sh del mobile riceve la PDU e scrive nel campo TCTF, all'interno dell'intestazione di livello MAC inserita dal MAC-d, il valore DTCH poiché si

considerano soltanto flussi di dati utente e non di controllo. Infine il transport block viene inserito nel CPCH buffer in attesa della trasmissione.

8.4.4.1 Procedura di accesso

Quando il MAC-c/sh del mobile viene schedato, se vi sono dati memorizzati nel CPCH buffer, l'UE abbandona lo stato di IDLE e passa nello stato di PENDING, dando inizio alla procedura di accesso al canale. La prima operazione consiste nell'azzeramento delle variabili:

- **M_cpch**: contatore degli accessi falliti.
- **EOT**: contatore delle trasmissioni terminate.
- **FCT**: contatore delle trasmissioni effettuate.

I parametri già in possesso del mobile, poiché passati in fase di istanziazione del MAC o attraverso la procedura di CMAC_Config_data, sono:

- **N_access_fails**: massimo numero di accessi al canale falliti prima di interrompere la procedura di accesso.
- **N_EOT**: numero massimo consentito di trasmissioni terminate.
- **NF_max**: massimo numero di frame in cui trasmettere consecutivamente senza iniziare nuovamente la procedura di accesso.
- **Timer T_{boc1}, T_{boc2}, T_{boc3} e T_{boc4}**: sono i timer che regolano le tempistiche dei tentativi di accesso. La loro durata viene ricavata in base ai rispettivi valori dei parametri:
 - **NF_bo_all_busy**
 - **NF_bo_busy**
 - **NF_bo_no_aich**
 - **NF_bo_mismatch**
- **Pre_retr_max**: massimo numero di preamboli per ciclo. E' lo stesso parametro utilizzato per la trasmissione sul RACH.

Il passo successivo consiste nel confrontare il valore di *M_cpch* con *N_Access_fails*. Se non è ancora stato superato il massimo numero di tentativi di accesso permessi, viene interrogato in modo fittizio il livello fisico riguardo la disponibilità dei formati di trasporto: nello sviluppo attuale del simulatore la disponibilità dei codici di *spreading* è sempre garantita. Una volta selezionato il formato di trasporto, il MAC estrae il valore di una variabile aleatoria da confrontare quello di persistenza sul CPCH. Se il valore estratto è minore della persistenza, il MAC richiede al livello fisico l'inizio dell'invio delle sequenze

di preamboli tramite la procedura PHY-Access_req. Se invece il valore estratto è maggiore, allora viene abilitato il timer T_{boc1} ed alla sua scadenza viene incrementato il contatore M_{cpch} ; in seguito il MAC effettua nuovamente il confronto con N_{access_fails} e ripete le operazioni fino a qui descritte. A questo punto il mobile si mette in attesa di una delle seguenti risposte da parte della rete:

- **Access granted:** la rete risponde in modo positivo alla richiesta di accesso e l'UE può iniziare la trasmissione dei dati.
- **AP_AICH_NAK:** la rete risponde negativamente al mobile, rifiutando in modo esplicito la richiesta d'accesso. In questo caso è necessario abilitare il timer T_{boc2} e, alla scadenza, incrementare M_{cpch} , effettuare un nuovo confronto con N_{access_fails} e ripetere la sequenza di operazioni.
- **CD_AICH_COLLISION:** la rete risponde al mobile informandolo che si è verificata una collisione sull'interfaccia radio e che quindi è necessario inviare una nuova richiesta. Il MAC abilita il timer T_{boc4} , incrementa M_{cpch} ed, alla sua scadenza, effettua il confronto con N_{access_fails} , ripetendo la sequenza descritta.
- **NO_AP_AICH:** la rete non risponde in alcun modo, quindi è necessario abilitare il timer T_{boc3} , incrementare M_{cpch} e ripetere il ciclo di operazioni.

Avendo scelto come step temporale minimo per il simulatore la trama (10 ms), non è possibile simulare nel dettaglio l'invio dei preamboli e le procedure di livello fisico. Per questo motivo si è deciso di trattare in modo probabilistico il fatto che la rete possa rispondere positivamente, negativamente o non rispondere alla richiesta di accesso dei vari UE. Infatti, è stata stabilita una soglia che determina la probabilità che un utente possa ricevere un messaggio dalla rete che confermi la ricezione della richiesta d'accesso. Il ritardo con cui tale risposta viene inviata dipende dal massimo numero di preamboli che un terminale può inviare, ma anche dal parametro t_{pp} che determina la minima distanza tra l'invio di due preamboli. Nel caso in cui l'estrazione casuale stabilisca che la rete invierà una risposta al mobile, allora tale richiesta viene spedita al CPCH controller situato all'interno del MAC-c/sh dell'UTRAN. Questa entità memorizza tutte le richieste pervenute in un frame e, in base alle curve di figura 8.8 che tengono in considerazione il numero di codici disponibili per il CPCH, stabilisce per ogni utente quale tipo di risposta inviare (CD_AICH_COLL, AP_AICH_NACK, Access granted).

8.4.4.2 Procedura di trasmissione

Se la rete risponde alla richiesta di accesso con il messaggio Access granted, allora al mobile è permesso dare inizio alla procedura di trasmissione dei dati ed il CPCH_status viene posto a TRANSMITTING. Il MAC controlla innanzitutto se nel buffer di trasmissione vi sono dei transport block memorizzati ed effettua il confronto $FCT + 1 > NF_{max}$. Se l'esito del confronto è positivo, il mobile deve interrompere la procedura di trasmissione ed iniziare nuovamente quella di accesso, poiché con la prossima trasmissione verrebbe superato il massimo numero di frame per cui è possibile trasmettere consecutivamente. Se l'esito è negativo, invece, viene richiesta la trasmissione al livello fisico tramite la procedura PHY_data_req. Questa procedura costruisce il *transport block set* estraendo dal CPCH_buffer un numero di *transport block* indicato dal *transport format* selezionato e lo invia al MAC-c/sh lato UTRAN. In seguito viene incrementato il contatore FCT per la prossima trasmissione. Se non vi sono dati nel buffer da trasmettere, il MAC comunica direttamente al *peer* MAC lato UTRAN che la trasmissione è terminata e il CPCH status assume il valore IDLE.

I *transport block* ricevuti dal MAC-c/sh all'interno dell'UTRAN vengono poi analizzati tramite la lettura del campo TCTF e del campo UE_id; il blocco viene così inviato al MAC-d opportuno tramite la procedura MAC_DATA_ind.

8.4.5 Trasmissione sul DSCH

La trasmissione sul canale DSCH permette di trasferire, su un unico canale di trasporto, i flussi dati provenienti dai MAC-d relativi ai vari mobili presenti nella cella corrispondente al MAC-c/sh che gestisce il DSCH in questione. Il livello MAC-c/sh del simulatore memorizza la lista dei MAC-d relativi ai mobili attivi nella cella e permette di verificare se ogni utente ha dati memorizzati nel flow_control buffer, posizionato tra MAC-d e MAC-c/sh, in attesa di essere trasferiti. Nel caso in cui siano presenti *transport block*, è necessario estrarli in un numero determinato dal *transport format* e costruire i *transport block set* da inviare al MAC-c/sh del mobile destinatario. La modalità con cui servire le varie code non è specificata negli standard 3GPP, per cui la scelta è ricaduta su di un algoritmo di schedulazione di tipo *Round Robin*. Ad ogni TTI, agendo in modo sequenziale sulla lista dei MAC-d, viene trasferito un numero di *transport block set* pari, al massimo, al numero di codici allocati per il DSCH; in questo modo si può avere un numero arbitrario

di canali che possono essere utilizzati contemporaneamente nello stesso TTI, simulando così l'utilizzo di più canali fisici PDSCH. Il *transport format* può essere variato anche ogni TTI, tuttavia per i primi risultati ricavati dal simulatore, si è voluto mantenere questo valore costante.