

Capitolo 2

Il sistema GPRS

Il sistema GPRS può essere visto come la naturale estensione dell'attuale architettura GSM nell'ottica di offrire la base per l'instaurazione di nuovi servizi. L'obiettivo primario che ha portato allo sviluppo di questa architettura è stato quello di fornire l'accesso alla rete Internet riutilizzando, ove possibile, la struttura di rete GSM già esistente. L'architettura GPRS è stata pensata per permettere l'invio di dati in modalità a pacchetto sia a livello radio che nella *core network*. Questo capitolo vuole definire le caratteristiche di base del sistema GPRS e descrivere gli aspetti che sono stati presi in considerazione nello sviluppo del software di simulazione.

2.1 Architettura logica del sistema

L'architettura logica del sistema GPRS è indicata in figura 2.1. Tale architettura è stata sviluppata dallo schema definito per il sistema GSM, introducendo gli elementi necessari alla gestione dei nuovi servizi di tipo GPRS. L'introduzione di questi nuovi elementi è, inoltre, un primo passo per la migrazione verso il sistema UMTS di cui il GPRS può essere considerato un precursore. Molte delle caratteristiche del sistema GPRS verranno, infatti, ereditate dal sistema UMTS lasciando trasparire come i due sistemi non operino in concorrenza l'uno rispetto all'altro ma, piuttosto, come siano due fasi distinte dello stesso percorso evolutivo; tale percorso verrà definito in dettaglio nel capitolo 4.1.

Lo scopo di questo paragrafo è dare una descrizione sommaria degli elementi costitutivi del sistema in modo tale da avere una visione di insieme delle caratteristiche architettoniche e da evidenziare in quale contesto si trova ad operare il simulatore. In figura 2.1 vengono indicati in neretto gli elementi specifici che costituiranno l'architettura UMTS.

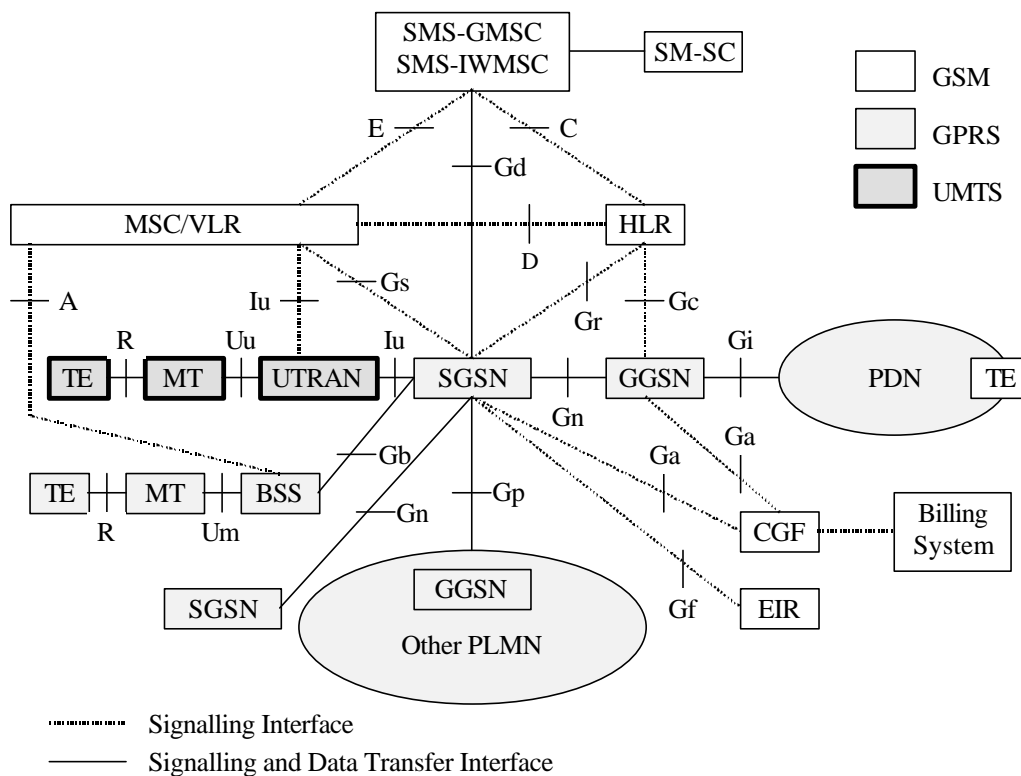


Figura 2.1: Architettura GPRS-UMTS

Le caratteristiche e le funzionalità principali dei singoli blocchi sono descritte nei seguenti paragrafi.

2.1.1 TE-MT

Il binomio TE (*Terminal Equipment*) e MT (*Mobile Terminal*) rappresenta quella che viene in generale indicata come MS (*Mobile Station*) ovvero l'entità tramite la quale un utente può usufruire dei sistemi offerti dal sistema GSM (fra cui, naturalmente, il servizio GPRS). I terminali standard di tipo GSM evolvono, nell'architettura GPRS, fino a differenziarsi in base al tipo di servizio che sono in grado di offrire all'utente finale; la distinzione delle MS avverrà per classi che tenderanno a soddisfare le diverse esigenze dei vari segmenti di mercato.

Nel sistema GPRS sono state definite tre classi di MS (ETSI GSM 02.60 [5]):

- **Classe A:** in questa modalità è permesso l'utilizzo contemporaneo delle risorse GSM e GPRS del sistema. Un utente è quindi in grado di richiedere simultaneamente i servizi dei due sistemi come ad esempio l'inoltro di una

chiamata voce ed un invio di dati a pacchetto allo stesso tempo, sempre che siano mantenute e verificate le esigenze di qualità del servizio definite per entrambi i servizi.

- **Classe B:** una MS di classe B può usufruire dei servizi della rete GSM e di quella GPRS se i servizi offerti dalle due reti non si sovrappongono nel tempo. Questo tipo di mobile è dunque in grado di effettuare procedure di connessione alla rete GSM per sfruttare i servizi tipici di tale sistema e di richiedere risorse per il trasferimento di dati a pacchetto in modo mutuamente esclusivo. La visione dei canali di controllo avviene in modo simultaneo in modo tale da non fare percepire all'utente il cambio di contesto necessario al passaggio fra i due sistemi. E' prevista una procedura di attivazione (*attach*) simultanea sia alle reti GSM che GPRS con il vincolo di non poter attivare i servizi delle due reti in contemporanea.
- **Classe C:** permette la connessione esclusiva ad un solo tipo di rete. L'utilizzo contemporaneo di entrambi i servizi non è previsto dagli standard e lo stato del servizio che non è stato selezionato risulta essere disattivato, rendendo l'utente non raggiungibile. Un utente che è, ad esempio, impegnato in una comunicazione GSM risulterà pertanto irraggiungibile nell'inoltro di un messaggio di posta elettronica nel caso in cui questo venga trasportato attraverso il servizio GPRS.

2.1.2 BSS

Il BSS (*Base Station Subsystem*) è l'entità funzionale delegata alla comunicazione con una MS in una particolare area geografica; l'area controllata da un BSS può essere costituita da una o più celle ciascuna servita da un elemento di rete definito come *Base Transceiver Station* (BTS). L'entità che sovrintende l'insieme delle BTS è identificata come *Base Station Controller* (BSC). Nel sistema GSM, e dunque nell'architettura GPRS, vi è una separazione netta fra gli elementi della rete che si occupano della gestione della strato di accesso radio rispetto a quelli che si devono occupare delle problematiche di rete fissa. Questa separazione verrà seguita, come si vedrà nel cap. 4.1, anche nel sistema UMTS dove verrà identificata una struttura di rete che presenta una divisione fra l'*ACCESS STRATUM* (AS, responsabile della comunicazione attraverso l'interfaccia radio) ed il *NON ACCESS STRATUM* (NAS).

Il BSS (come insieme dei componenti BTS-BSC) comprende le unità funzionali che consentono di fornire la copertura radio di un'area costituita da una o più celle e dunque deve fornire i seguenti servizi:

- **Ricezione e trasmissione delle informazioni:** si occupa della comunicazione con una MS sulla tratta radio e dell'esecuzione delle misure necessarie a garantire una buona qualità dei collegamenti con le MS
- **Controllo delle risorse radio:** il BSS mantiene la responsabilità della gestione delle risorse radio e dei dati di configurazione di cella di una certa area.

Il BSS è l'elemento funzionale che permette il passaggio dal mondo radio del sistema GSM a quello di rete. Nel caso del sistema GSM, il BSS si interfaccia con il *Mobile Switching Center* per il trasferimento del traffico voce a circuito; nel sistema GPRS, invece, il BSS si interfaccia con il *Serving GPRS Support Node* per permettere i servizi di trasferimento dati a pacchetto. Il BSS è dunque il punto di fusione delle due strutture di rete e viene sfruttato contemporaneamente dai servizi di tipo GSM e GPRS.

2.1.3 MSC-VLR

Il MSC-VLR (*Mobile Switching Center - Visitor Location Register*) è in sostanza una centrale di commutazione numerica in grado di servire gli utenti di una rete radiomobile GSM che si trovano nell'area di copertura radio da esso controllata.

Il MSC è l'unità architeturale che svolge le funzioni di commutazione necessarie per instaurare, controllare, tassare le chiamate da e verso una MS presente nell'area geografica da esso servita (nota come area MSC)

Presso il MSC è collocato il VLR ossia un database, normalmente integrato nel MSC, la cui funzione è quella di memorizzare e tenere aggiornate le informazioni relative alle MS che sono presenti all'interno dell'area MSC.

Una MS mentre si sposta all'interno della rete GSM può cambiare in continuazione BTS effettuando la procedura nota come handover. A questa struttura si sovrappone l'architettura degli MSC che mantengono le informazioni degli utenti che in un dato periodo di tempo si trovano sotto l'area servita da un particolare MSC. Il MSC è delegato alla commutazione delle chiamate verso un certo numero di BSS in modo tale da mascherare agli altri elementi della rete la mobilità degli utenti all'interno dell'area da esso servita. Nel VLR sono mantenute le informazioni degli utenti che sono attualmente

sotto il controllo del MSC a cui il VLR appartiene per gestire eventuali chiamate da e verso una MS nella propria area.

2.1.4 GMSC

Il GMSC (Gateway MSC) è un MSC che ha la particolare funzione di occuparsi delle chiamate provenienti da MSC di altri operatori o di chiamate che coinvolgono gli elementi della rete telefonica fissa. La funzione principale di un GMSC è quella di operare come *gateway* fra la rete telefonica esterna e il MSC presso cui è registrato il mobile. Per svolgere questo servizio il GMSC ha una connessione con il database centrale, denominato *Home Location Register* (HLR), per riuscire a ricavare il VLR (e quindi il MSC) in cui è attualmente memorizzato il mobile in modo tale da poter instradare direttamente la connessione verso il mobile stesso.

2.1.5 HLR

L'Home Location Register costituisce il database centrale su cui un gestore di rete GSM/GPRS memorizza, in modo permanente, i dati relativi agli utenti che hanno sottoscritto un abbonamento. Questo tipo di dati vengono definiti come dati statici per contrapporli ad un'altra serie di dati (dinamici) che possono variare a seconda dello stato e della posizione del mobile. L'HLR, infatti, memorizza tutti i dati necessari a fornire le informazioni corrette per l'instradamento delle chiamate verso un MS. Il GMSC, ad esempio, mediante il numero di telefono di un mobile ricava l'HLR che gestisce il MS e richiede a questo l'identificativo del VLR presso cui l'utente è temporaneamente registrato per instradare la chiamata in modo corretto. L'HLR ha dunque una stretta correlazione con tutti gli altri elementi di rete del sistema GSM/GPRS in quanto memorizza le informazioni statiche e dinamiche utili alla gestione di un MS in modo centralizzato.

2.1.6 SGSN

Il SGSN (Serving GPRS Support Node) è uno dei due elementi funzionali (insieme al GGSN) che sono stati introdotti per la gestione peculiare dei servizi di tipo GPRS. Uno degli scopi principali di questo elemento funzionale è sovrintendere la comunicazione a pacchetto all'interno dell'architettura di rete fissa del sistema GPRS interfacciando la parte di rete che gestisce l'accesso radio con quella che si occupa della commutazione a pacchetto. L'SGSN è il diretto responsabile dei servizi a pacchetto definiti per una MS includendo la gestione dell'autenticazione al servizio, di gestione della mobilità e della

connessione alla MS a livello di link logico. Volendo paragonare le architetture di rete GSM e GPRS si può dire che il SGSN è, per il sistema GPRS, l'analogo del MSC per il sistema GSM. Il SGSN può essere paragonato, in linea di principio, ad un router del mondo Internet a cui sono aggiunte le funzionalità utili alla gestione di una connessione che può essere richiesta o essere diretta verso un utente mobile. L'SGSN si interfaccia con il VLR e con il HLR per ottenere informazioni dettagliate sui mobili che sta gestendo all'interno della sua area. La rete a pacchetto interna del sistema GPRS è quella ottenuta dalla connessione dei vari SGSN.

2.1.7 GGSN

L'GGSN (Gateway GSN) presenta funzioni analoghe a quelle definite per il GMSC dell'architettura GSM. Il compito principale di questo elemento è quello di operare come interfaccia tra la rete a pacchetto interna e le reti a pacchetto esterne. Il GGSN converte i pacchetti GPRS provenienti dal SGSN in un formato appropriato alla rete a pacchetto esterna verso cui devono essere instradati. Nella direzione opposta, attraverso le informazioni contenute nel HLR, l'SGSN instrada i pacchetti in arrivo dalle reti esterne verso l'SGSN che gestisce il mobile in quel particolare momento. Tutti i GSN sono collegati attraverso una rete a pacchetto basata sulla *suite* di protocolli TCP/IP ed effettuano l'incapsulamento dei pacchetti di livello rete degli utenti su questa pila protocollare.

L'obiettivo di questa tesi è analizzare l'efficienza dell'accesso radio a pacchetto del MS e lo studio della qualità del servizio che è possibile garantire nei servizi di tipo GPRS. L'interfaccia che si intende analizzare è, dunque, quella indicata con U_m in fig 2.1. La descrizione dei livelli protocollari interessati in tale tipo di comunicazione è presentata nel paragrafo 2.3

2.2 Caratteristiche del servizio

Le caratteristiche dei servizi che sono stati definiti per il sistema GPRS sono descritte in [5].

Il sistema GPRS permette ad un utente di trasmettere e ricevere dati in modalità a pacchetto senza utilizzare risorse di rete in modalità a circuito.

Questo si traduce, vista l'analisi logica dell'architettura, nell'utilizzare la trasmissione dati a pacchetto sia sull'interfaccia di accesso radio U sia su quella G all'interno della *core network*. I servizi e le modalità di trasferimento che sono state standardizzate hanno lo scopo di adattarsi a traffici dati che

esibiscono le seguenti caratteristiche.

- Traffici intermittenti o non periodici in cui il tempo fra due trasmissioni consecutive sia maggiore del ritardo di trasferimento medio *end to end*.
- Frequenti trasmissioni di piccoli volumi di dati; ricadono in questo caso trasmissioni di meno di 500 ottetti con una cardinalità di numerose trasmissioni al minuto.
- Trasmissioni non frequenti di grandi volumi di dati; esempio di questo tipo di traffico può essere un trasferimento di alcuni kbyte di dati con una frequenza di alcune richieste per ora.

2.2.1 Radio-bearer e servizi

All'interno del sistema GPRS sono state definite due tipologie di connessione (*Radio-Bearer*) per soddisfare le caratteristiche dei servizi che si volevano introdurre:

- **Punto-punto.**
- **Punto-multipunto.**

Basandosi su questi *bearer* sono stati definiti i servizi offerti agli utenti finali. Alcuni esempi di servizi punto-punto sono:

- Servizi di reperimento di informazioni su database remoti (es. WWW).
- Servizi di messaggistica per la comunicazione attraverso unità di memorizzazione (es. E-mail service).
- Servizi conversazionali che prevedono una comunicazione con trasferimento dati bi-direzionale in tempo reale (es. Telnet).
- Servizi transazionali caratterizzati dal trasferimento di piccole quantità di dati (es. validazione di carte di credito, monitoraggio di un sistema remoto).

Alcuni esempi di servizi che possono essere supportati in modalità punto-multipunto sono:

- Servizi di distribuzione da un punto centralizzato all'interno della rete verso destinatari sparsi sul territorio (es. trasmissione di informazioni meteo

o di traffico automobilistico).

- Servizi di conferenza che consentono il trasferimento in tempo reale ed in modalità multidirezionale di dati fra utenti sparsi sul territorio.

Per utilizzare i servizi forniti dall'architettura GPRS è previsto che l'utente registri l'attivazione del servizio mediante sottoscrizione esplicita e che identifichi il tipo di servizio richiesto mediante un profilo che definisce la qualità del servizio che deve essere garantita. I parametri necessari all'identificazione del profilo sono parte integrante del contratto e vengono successivamente mappati sulle connessioni fra gli elementi logici all'interno del sistema. Visto che lo scenario di mobilità degli utenti cambia le condizioni radio su cui opera un servizio (copertura, interferenza, ecc.) i parametri si riferiscono a condizione di copertura "accettabile" (senza entrare nel merito di tale definizione) e di carico normale della rete. In caso di congestione, tali parametri sono indicativi e la rete è tenuta solo a garantire la priorità fra i vari servizi.

2.2.2 Qualità del Servizio (QoS)

Il sistema GPRS non pone dei vincoli sulle modalità con cui i parametri di QoS delle varie applicazioni vengono messi in relazione ai parametri propri definiti all'interno dell'architettura logica. L'architettura GPRS è stata introdotta per risolvere il problema dell'inefficiente utilizzo delle risorse trasmissive, sia sull'interfaccia radio che nell'architettura interna, in presenza di traffico con caratteristiche *bursty*. Per risolvere tale problema si è giunti all'introduzione di servizi basati su GPRS che possono essere attivati su richiesta dell'utente, disponendo delle risorse trasmissive già allocate per il sistema GSM. Come si vedrà in seguito alla descrizione dettagliata dei vari livelli della pila protocollare, il sistema GPRS sfrutta lo stesso livello fisico del sistema GSM condividendone con esso le risorse. Mediante questa soluzione sarà possibile adattarsi in modo dinamico alle richieste di servizio, sfruttando le portanti assegnate al GSM, senza che sia necessario riservare staticamente dei canali a questo tipo di sistema. Questa è una delle motivazioni che portano a considerare il GPRS sia come un servizio che come un'architettura di sistema.

Le caratteristiche dei servizi sono state definite dall'ETSI mediante parametri che mirano a creare una visione oggettiva delle richieste degli utenti. I vari parametri suddividono le richieste in classi di servizio anche se non obbligano gli operatori a supportare tutte le combinazioni possibili delle varie classi.

2.2.2.1 Service precedence (priorità)

Indica il livello di priorità relativa dei vari servizi in caso di condizioni anomale di funzionamento del sistema. La rete non utilizza queste classi nel caso in cui vi siano risorse sufficienti a servire tutti i flussi dati con gli attributi richiesti in fase di connessione o di sottoscrizione del contratto. Le classi di priorità previste dallo standard sono tre e precisamente:

- **Precedenza alta:** in caso di congestione, i servizi appartenenti a questa classe devono avere la precedenza sui servizi di ogni altra classe. Si realizza un meccanismo a priorità in cui questa classe deve essere servita a discapito di ogni altra.
- **Precedenza normale:** mantiene le stesse caratteristiche della classe a precedenza alta ma soltanto nei confronti delle classi inferiori.
- **Precedenza bassa:** è servita soltanto in assenza di traffico appartenente alle altre classi.

2.2.2.2 Classi di ritardo (*delay class*)

Nel caso di servizi interattivi sono stati definiti dei ritardi massimi che la rete deve garantire al flusso di informazioni transitante all'interno del sistema GPRS. I ritardi sono definiti come ritardo medio ed il percentile 95 del ritardo nel flusso di informazioni all'interno della rete GPRS ed includono (tabella 2.1) il ritardo di accesso alla rete in uplink ed il ritardo di schedulazione in downlink. Ad entrambi i tipi di comunicazione va aggiunto il ritardo di transito all'interno della rete GPRS fino all'inoltro del traffico sulle reti esterne. I punti di riferimento su cui ci si basa per determinare i ritardi sono l'interfaccia R e l'interfaccia G dell'architettura logica definita in fig 2.1.

Con riferimento alla tabella 2.1, la rete dovrà garantire sicuramente la classe *best effort*, lasciando libertà ai gestori di adottare le altre tipologie.

Delay Class	Delay (maximum values)			
	SDU size: 128 octets		SDU size: 1024 octets	
	Mean Transfer Delay (sec)	95 percentile Delay (sec)	Mean Transfer Delay (sec)	95 percentile Delay (sec)
1. (Predictive)	< 0.5	< 1.5	< 2	< 7
2. (Predictive)	< 5	< 25	< 15	< 75
3. (Predictive)	< 50	< 250	< 75	< 375
4. (Best Effort)	Unspecified			

Tabella 2.1: Classi di ritardo

2.2.2.3 Reliability class

La *reliability class* è un parametro che tende ad indicare le caratteristiche trasmissive che un'applicazione richiede ai livelli sottostanti. Ciascuna classe si diversifica in base alle richieste di servizio che vengono effettuate sui vari livelli della pila protocollare GPRS. La corrispondenza fra le classi di servizio e tali richieste sarà chiarita in seguito nell'analisi delle modalità trasmissive della pila GPRS. La tabella 2.2 invece determina le probabilità obiettivo che devono essere rispettate in seguito alla richiesta di una data *reliability class*. La tabella pone vincoli sulla probabilità di perdita di una SDU, sulla ricezione di SDU duplicate o fuori sequenza e sulla probabilità di errore di ciascuna unità dati.

Reliability class	Lost SDU probability (a)	Duplicate SDU probability	Out of Sequence SDU probability	Corrupt SDU probability (b)	Example of application characteristics.
1	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	Error sensitive, no error correction capability, limited error tolerance capability.
2	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	Error sensitive, limited error correction capability, good error tolerance capability.
3	10^{-2}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-2}	Not error sensitive, error correction capability very good error tolerance cap.

Tabella 2.2: Reliability classes

2.2.2.4 Throughput class

La *throughput class* è un parametro che dovrebbe fornire un'indicazione quantitativa della banda richiesta per il trasferimento dei dati di utente. I parametri di throughput che possono essere specificati si riferiscono al comportamento medio e di picco della comunicazione. Le varie classi sono identificate nelle tabelle 2.3 e 2.4.

Peak Throughput class	Peak Throughput
1	8 Kbit/s
2	16 Kbit/s
3	32 Kbit/s
4	64 Kbit/s
5	128 Kbit/s
6	256 Kbit/s
7	512 Kbit/s
8	1024 Kbit/s
9	2048 Kbit/s

Tabella 2.3: Peak throughput classes

Mean Throughput class	Mean Throughput
1	0.22 bit/s
2	0.44 bit/s
...	...
10	0.22 Kbit/s
11	0.44 Kbit/s
12	1.11 Kbit/s
...	..
16	22 Kbit/s
17	44 Kbit/s
18	111 Kbit/s
31	Best effort

Tabella 2.4: Mean throughput classes

Il parametro *Peak Throughput class* è particolarmente importante in quanto viene utilizzato al livello MAC della pila protocollare ed è stato tenuto in considerazione nello sviluppo del simulatore. Tale parametro è scambiato tra BTS e MS in fase di instaurazione della comunicazione e può essere utilizzato per l'allocazione delle risorse trasmissive.

In base a questi parametri, negoziati al momento della sottoscrizione del servizio o in fase di instaurazione del collegamento, il mobile ottiene una assegnazione delle risorse radio ed una priorità che viene utilizzata per la gestione dei flussi informativi. Le possibili priorità che possono essere assegnate a livello radio sono quattro e vengono utilizzate in fase di

instaurazione del collegamento.

L'assegnazione delle risorse radio si basa sulla *peak throughput class* e sulla capacità di ricezione e trasmissione del mobile. La scelta della priorità radio viene mappata sullo specifico flusso dati e viene utilizzata in fase di schedulazione dei vari flussi all'interno della BTS.

Nello svolgimento di questa tesi si vuole analizzare l'efficienza e le garanzie di QoS che si possono ottenere sull'interfaccia radio di GPRS; per tale motivo i parametri *peak throughput class* e *radio priority* sono stati tenuti in considerazione nello sviluppo del simulatore.

2.3 Piano di utente e piano di controllo

Lo scopo di questo paragrafo è introdurre le caratteristiche dei livelli protocollari del sistema GPRS nel loro complesso fornendo le basi necessarie per una comprensione sistemistica dello stesso. La spiegazione dettagliata dei livelli implementati all'interno del simulatore sarà oggetto dei successivi capitoli. Le specifiche del sistema GPRS tendono a dividere il sistema fra lo strato relativo alla parte di rete che risente della mobilità degli utenti e quello che risente in maniera marginale degli aspetti di un sistema radiomobile.

L'architettura protocollare del sistema GPRS è indicata nelle figure 2.2 e 2.3 e definita in [10].

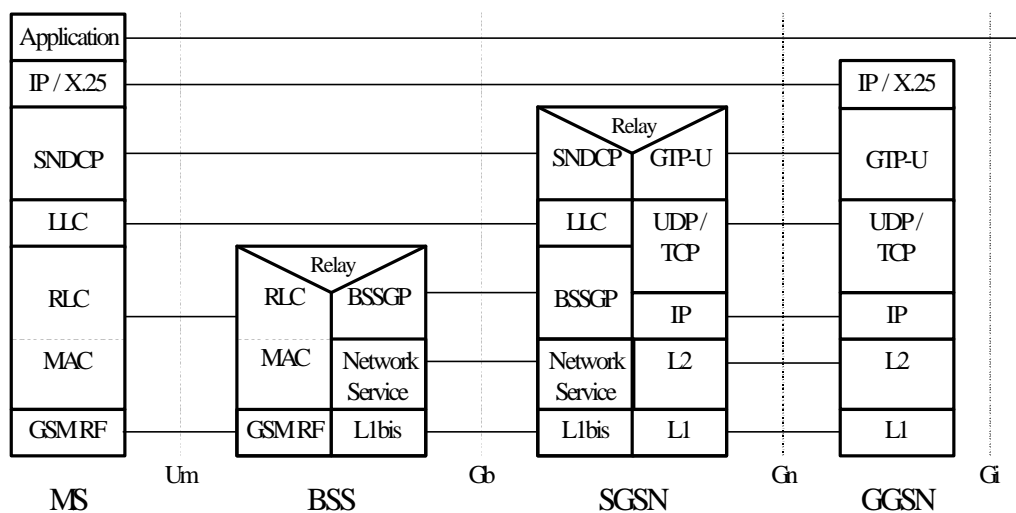


Figura 2.2: Piano di utente in GPRS

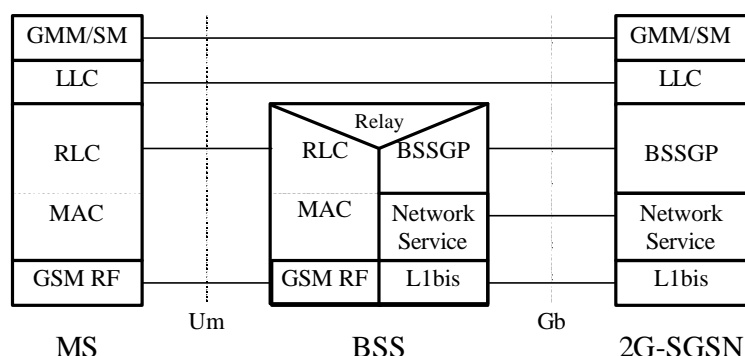


Figura 2.3: Piano di controllo in GPRS

2.3.1 Architettura interna della rete

L'analisi dell'architettura interna della rete non è lo scopo ultimo di questo lavoro di tesi e se ne riportano soltanto gli aspetti fondamentali.

Un terminale mobile GPRS può, in linea di principio, essere utilizzato per operare secondo due mansioni principali:

- **Modem:** il cellulare è visto come un semplice apparato rice-trasmittente che deve sfruttare l'accesso radio per trasferire informazioni generate da applicativi esterni
- **Stand-alone:** in cui i programmi applicativi risiedono all'interno dello stesso apparato

In entrambi i casi il livello applicativo risiederà al di sopra di un livello rete che garantirà il trasferimento dei dati in modalità a pacchetto. I principali livelli di rete per cui si è garantita interoperabilità sono l'IP per il mondo IETF e l'X25 per il mondo ITU. Il livello rete permette la comunicazione fra l'infrastruttura di GPRS e la rete a pacchetto che si trova all'esterno di questa. I pacchetti IP attraversano (secondo le modalità affrontate nei prossimi paragrafi) la rete di accesso fino al SGSN. Mediante la funzionalità di *relay* presente all'interno del SGSN i pacchetti IP vengono analizzati in modo tale da essere instradati verso il GSN opportuno (intendendo con GSN sia un SGSN che un GGSN). I SGSN, infatti, possono essere trattati a livello funzionale come dei router che hanno il compito di trasferire un flusso dati a pacchetto fra i vari SGSN.

Il flusso informativo proveniente dal livello rete del mobile può esser pensato

in arrivo al livello GTP dell'SGSN dopo avere attraversato l'architettura di accesso; tale flusso viene trasferito tra gli SGSN mediante un'infrastruttura che poggia su un altro strato di rete basato sulla *suite* di protocolli TCP/IP.

Il livello GTP (GPRS Tunneling Protocol) definito in GSM 09.60 ha il compito di incapsulare i pacchetti dei protocolli superiori nel trasferimento fra i vari GSN in modo tale da fornire un'interfaccia standard verso il livello UDP/TCP inferiore. Per la connessione fra i vari GSN, il livello GTP sfrutta i servizi dei livelli inferiori per essere in grado di trasferire informazioni basandosi sia su di una pila di tipo orientato alla connessione (TCP-IP) che non orientato (UDP/IP). L'intestazione GTP viene utilizzata per instaurare un canale logico che ha lo scopo di trasferire un flusso di informazione fra due GSN.

Il livello IP previsto dagli standard è l'IPv4 e si rimanda agli standard IETF per la sua descrizione (RFC 794). A questo livello protocollare si arriva a realizzare il vero e proprio tunneling del livello Rete del mobile sopra il livello Rete interno all'infrastruttura dei GSN. L'ETSI ha deciso di utilizzare direttamente i protocolli di trasporto TCP e UDP ed il protocollo di rete IP per il trasferimento dati fra i vari SGSN; all'header di livello IP proprio della pila del mobile (nel caso di trasmissione in uplink) vengono aggiunti, attraverso la mediazione del livello GTP, gli header di livello TCP/UDP e IP utili ad instradare il flusso dati attraverso gli SGSN. Per l'instradamento dei pacchetti all'interno della *core network* GPRS non si sfrutta, dunque, l'intestazione di livello IP inserita dal mobile ma una nuova intestazione che permette il tunnelling all'interno degli SGSN. L'header IP inserito dal mobile sarà utilizzato una volta che il pacchetto avrà iniziato la sua risalita all'interno della pila protocollare nel GGSN. All'interno del GGSN il pacchetto verrà instradato verso la rete a pacchetto esterna opportuna senza preoccuparsi che sia un'altra rete GPRS o la rete Internet vera e propria.

2.3.2 Il livello SNDCP

Il livello SNDCP (*Subnetwork Dependent Convergence Protocol*) è definito in GSM 04.65 ([7]) ed ha lo scopo principale di mappare le caratteristiche dei vari livelli rete sul livello LLC sottostante. La presenza di tale livello è una diretta conseguenza del fatto che il mobile può utilizzare per la comunicazione un set di possibili livelli rete. Il compito del SNDCP è dunque quello di fornire un'interfaccia standard, verso il LLC, del pool di livelli rete instanziabili a livello superiore.

Come si può vedere dalla fig. 2.4 i vari *Packet Data Protocol* sfruttano i servizi

del livello SNDCP attraverso i *Network Service Access Point* (NSAPI), per interfacciarsi con il LLC.

Tutti i protocolli di livello Rete utilizzano la stessa entità di livello SNDCP che, a sua volta, è responsabile del multiplexing dei dati provenienti dal livello superiore sui SAP forniti dal livello LLC. Ciascun *Packet Data Protocol* può avere uno o più *PDP context* attivati contemporaneamente così come è possibile che diversi NSAPI utilizzino i servizi forniti da un unico SAPI di livello LLC.

Per analizzare le primitive di servizio che il SNDCP offre ai livelli superiori si sfrutta lo schema rappresentato in fig. 2.5 dove vengono identificati i blocchi fondamentali che si connettono a questo livello ed i rispettivi SAP.

Gli elementi fondamentali sono:

- **SNDCP user:** è il fruitore dei servizi offerti dal SNDC e rappresenta i livelli rete che si interfacciano con questo livello come ad esempio IP o X.25. Gli *user* si interfacciano al SNDCP mediante gli NSAPI numerati da 4 a 15. La numerazione degli NSAPI consente il multiplexing dei dati.
- **SNDCP layer:** è costituito da un'unica entità per il trasferimento dati e da un'entità di management del livello. L'entità dati riceve le informazioni da trasferire attraverso gli NSAPI ed opera il multiplexing dei flussi informativi.
- **LLC:** verrà definito nel prossimo paragrafo ed è il livello responsabile della connessione logica MS-SGSN.
- **Session management entity:** è l'elemento responsabile dell'instaurazione della connessione e determina gli NSAPI ed i SAPI attraverso cui transiterà il flusso informativo. Un compito importante di questa entità è la scelta dei parametri di QoS e la loro conversione sulla pila protocollare.

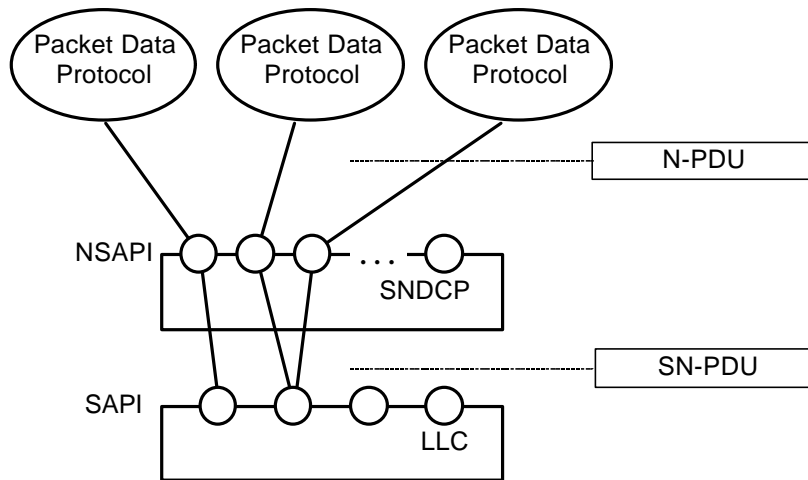


Figura 24: Struttura dei SAP SNDCP

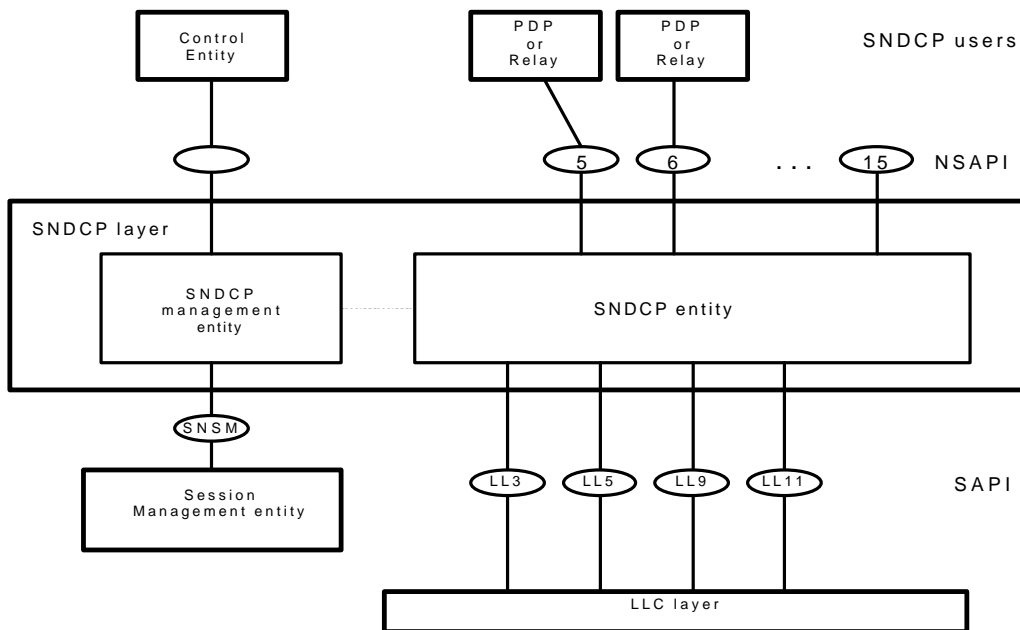


Figura 25: Struttura interna SNDCP

2.3.2.1 Primitive di servizio

Le primitive utilizzate dai livelli superiori per richiedere i servizi del livello SNDCP sono indicate in tab. 2.5; viene, di seguito, data una descrizione sommaria delle primitive più importanti nell'instaurazione della connessione a livello RLC/MAC.

Generic Name	Type				Parameters
	Request	Indication	Response	Confirm	
SNDCP User (PDP or the SGSN Relay) « SNDCP					
SN-DATA	X	X	-	-	N-PDU, NSAPI, N-PDU Number
SN-DATA	-	X	-	-	N-PDU, NSAPI
SN-UNITDATA	X	X	-	-	N-PDU, NSAPI

Tabella 2.5: Primitive di livello SNDCP

- **SN-(UNIT)DATA:** è la primitiva utilizzata dallo *User* per richiedere il trasferimento di una PDU. La richiesta specifica (oltre alla PDU) l'NSAPI a cui è diretta la PDU per differenziare la provenienza dei vari flussi informativi; l'NSAPI è l'elemento che permette questa suddivisione ed è deciso in fase di instaurazione del servizio. Il livello superiore può richiedere un trasferimento dati sia in modalità acknowledged che unacknowledged.

2.3.2.2 Primitive utilizzate dal livello SNDCP

Il livello SNDCP sfrutta i servizi del livello inferiore mediante le primitive indicate in tabella 2.6. Le primitive principali su cui focalizzare l'attenzione sono:

- **LL-ESTABLISH:** permette di instaurare una connessione logica di tipo acknowledged fra le entità di pari livello in modo tale da utilizzare tale connessione per il trasferimento dei dati di utente. Il trasferimento dei dati potrà essere, a sua volta, di tipo acknowledged o unacknowledged.
- **LL-RELEASE:** si occupa rilascio della connessione fra le pari entità di livello SNDCP.
- **SNSM-ACTIVATE:** è la procedura utilizzata dall'entità di gestione della connessione per notificare al livello SNDCP che un NSAPI è stato attivato per trasferimento dei dati di utente. Tramite questa procedura viene inviato il profilo di QoS negoziato ed il SAPI che deve essere utilizzato a livello inferiore per la trasmissione dei dati di utente. Nel mobile questa primitiva include anche la priorità radio che dovrà essere utilizzata per il

trasferimento dei dati a livello RLC/MAC. Il profilo di QoS passato dal *Session Management* (SM) al SNDCP è il profilo che è stato presentato al paragrafo 2.2. Il livello SNDCP sfrutterà questa informazione per indicare al livello LLC la modalità di connessione ed i parametri utili alla gestione del collegamento. Gli altri parametri trasferiti mediante questa primitiva sono l'NSAPI, il SAPI da utilizzare ed il TLLI che permetterà l'associazione con il canale logico di livello LLC a cui sono dirette le informazioni.

- **LL - (UNIT) DATA:** permettono il trasferimento dei dati al livello LLC in modalità acknowledged o unacknowledged. Il TLLI identifica il canale logico; i parametri di QoS associati alla SN-PDU sono la *Precedence Class*, la *Delay Class* e la *Peak throughput Class*.

Generic Name	Type				Parameters
	Request	Indication	Response	Confirm	
SNDCP « LLC					
LL-RESET	-	X	-	-	TLLI
LL-ESTABLISH	X	X	X	X	TLLI, XID Requested
LL-RELEASE	X	X	-	X	TLLI, Local
LL-DATA	X	X	-	X	TLLI, SN-PDU, Reference, QoS Parameters, Radio Priority
LL-UNITDATA	X	X	-	-	TLLI, SN-PDU, QoS Parameters, Radio Priority, Cipher
SNDCP « SM					
SNSM-ACTIVATE		X	X	-	TLLI, NSAPI, QoS profile, SAPI, Radio Priority
SNSM-DEACTIVATE	-	X	X	-	TLLI, NSAPI(s), LLC Release Indicator

Tabella 2.6: Primitive utilizzate dal livello SNDCP

2.3.2.3 Funzioni proprie del livello

Le funzioni di servizio del livello SNDCP sono:

- Trasferimento dei dati in modalità acknowledged ed unacknowledged verso il livello LLC.
- Multiplexing dei dati provenienti dal livello rete sul SAPI appropriato,

eventualmente facendo condividere lo stesso SAPI a diversi flussi provenienti dal livello superiore.

- Gestione dell'instaurazione della connessione a livello LLC e suo rilascio.
- Per ciascun NSAPI viene garantito l'invio in sequenza dei blocchi dati del flusso informativo.
- Compressione dei flussi dati su SAPI diversi.
- Segmentazione (e riassettaggio) dei dati provenienti dal livello rete su unità dati pari alla massima dimensione del blocco dati di livello LLC scelta in fase di instaurazione della connessione.

Una rappresentazione grafica del comportamento di questo livello è indicata in fig 2.6.

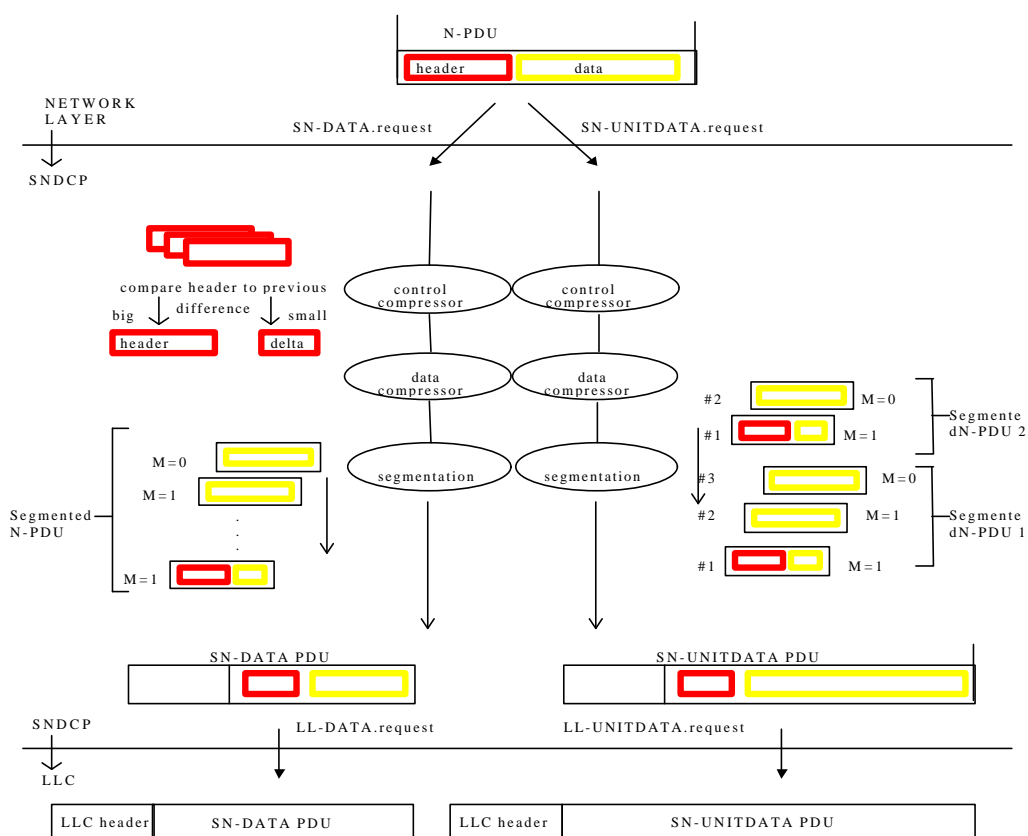


Figura 2.6: Modello SNDSCP

2.3.3 Il livello LLC

Il livello LLC (*Logical Link Control*) è definito nello standard GSM 04.64 ([9]) ed ha il compito di instaurare una connessione logica per il trasferimento dei dati fra MS e SGSN. Le procedure tipiche di questo livello seguono il modello standard definito per i protocolli della famiglia HDLC secondo quanto specificato in ISO 4335.

2.3.3.1 Servizi di livello

Le caratteristiche principali utili a caratterizzare le funzioni svolte da questo livello possono essere così riassunte:

- Gestione dell'instaurazione e del mantenimento di un link logico fra MS e SGSN.
- Indipendenza dall'interfaccia radio sottostante in modo tale da garantire l'introduzione di nuove soluzioni a livello fisico senza intaccare la struttura di rete esistente.
- Supporto per il trasferimento dei dati in frame di lunghezza variabile sia in modalità acknowledge che unacknowledge.
- Multiplazione dell'informazione dall'SGSN agli MS sfruttando la stessa interfaccia radio in modo condiviso.
- Trasferimento dei dati secondo criteri di servizio differenziati in modo tale da diversificare flussi a priorità diversa.

Un mobile è specificato, a livello LLC, da un identificativo denominato TLLI (*Temporary Logical Link Identity*) che unitamente al SAP Identifier viene utilizzato per determinare il flusso dati di un particolare mobile. IL SAPI identifica il SAP sull'interfaccia LLC sia all'interno del SGSN che all'interno del MS mentre il TLLI è invece utilizzato per risalire ad un particolare mobile. La struttura del livello LLC è presentata in fig. 2.7:

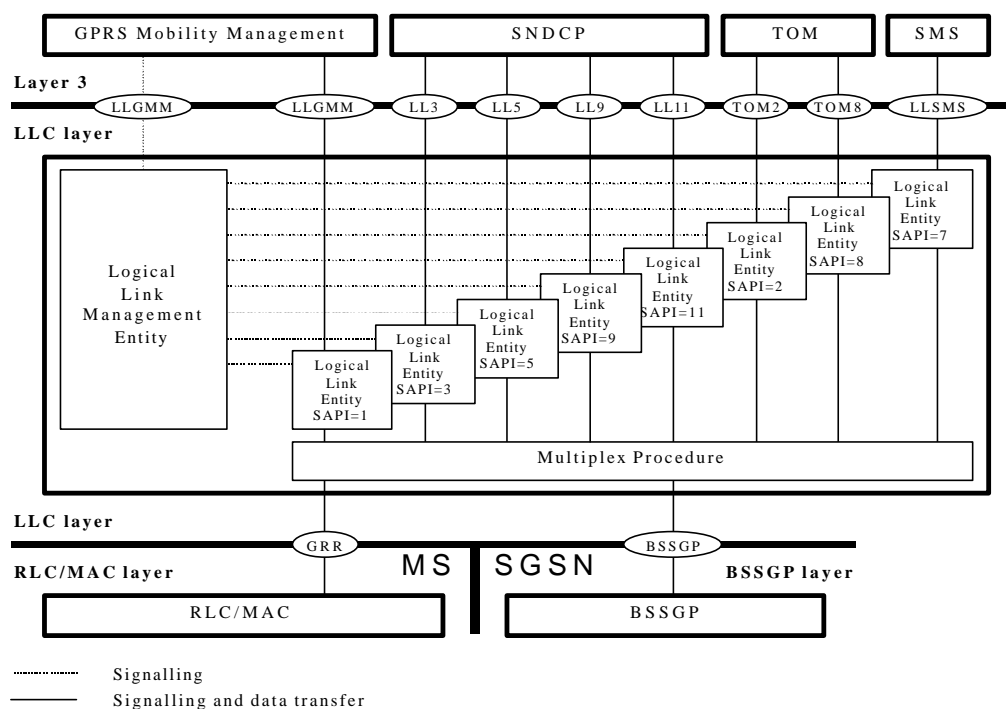


Figura 2.7: Modello funzionale LLC

I livelli superiori utilizzano i servizi del livello LLC tramite i SAP rappresentati mediante un cerchio nel disegno.

Il GPRS *Mobility Management* si occupa di gestire funzioni quali l'instaurazione di un nuovo servizio ed il suo successivo abbattimento nell'area servita dal SGSN, così come della mobilità fra le varie routing area; il SMS è l'entità responsabile della gestione dell'omonimo servizio di messaggistica ed il TOM è utilizzato per il *tunneling* dei messaggi la cui spiegazione esula dagli scopi di questa tesi (annesso B GSM 04.64)

I blocchi fondamentali che compongono la struttura dell'LLC sono:

- **Logical Link Entity (LLE):** è l'entità responsabile della gestione dei flussi informativi provenienti dai livelli superiori; possono esistere più LLE per ogni TLLI ed in particolare esiste un LLE per ogni SAP; tale struttura è stata definita in modo tale da rendere immediatamente riconoscibile il LLE responsabile di un flusso attraverso l'analisi del SAPI. Le principali funzioni svolte da un LLE sono il controllo del trasferimento del flusso dati in modalità acknowledged ed unacknowledged, il controllo di flusso ed il controllo di errore sui frame

- **Multiplex procedure:** è la procedura responsabile del multiplexing dei flussi informativi provenienti dai vari LLE in modo tale da gestire la trasmissione sul livello inferiore (tramite il GRR-SAP ed il BSSGP-SAP) di flussi a priorità diversa. In uplink si occupa di rivelare il SAPI del flusso informativo e di inviare il frame verso l'LLE opportuno.
- **Logical Link Management Entity:** è l'entità di controllo del livello LLC e si occupa dell'inizializzazione dei parametri di livello, del processamento degli errori e dell'invocazione del controllo di flusso. Vi è un'entità di tipo LLM per ogni TLLI ovvero una per ogni MS che ha una connessione attiva.

I SAPI identificano i punti di servizio che il livello LLC (ed in particolare un LLE) fornisce ai livelli Rete superiori e collegano, in maniera biunivoca, un LLE e l'entità di livello Rete destinataria del frame trasportato dal LLC.

Il livello LLC permette, come già anticipato, l'instaurazione di un link logico tra MS e SGSN. Un compito del livello LLC è mantenere attiva la connessione logica nonostante la mobilità di un MS; un mobile, durante una connessione, può cambiare un certo numero di celle effettuando la procedura nota come handover ed il livello LLC cerca di rendere trasparente questo evento ai livelli superiori. Il livello LLC, nel caso venga istanziata una connessione di tipo acknowledged, gestisce la ritrasmissione delle PDU che non sono state confermate prima dell'abbattimento della connessione precedente, in modo tale da recuperare il flusso informativo inviandolo alla BTS che ha in carico il mobile in seguito ad handover.

La gestione del link logico richiede che vengano trasferiti un certo numero di messaggi di controllo fra le pari entità di livello LLC per definire i parametri di ricezione, trasmissione e per sincronizzare le entità. I frame utilizzati per lo scambio delle informazioni sono di quattro formati diversi e seguono le caratteristiche già definite per i protocolli di tipo HDLC:

- **Information Transfer format (I):** vengono utilizzati per la modalità di trasferimento di tipo acknowledged. Fornisce la numerazione delle PDU ed il piggybacking delle PDU per la trasmissione nella direzione opposta.
- **Supervisory format (S):** sono i frame di controllo che si occupano della supervisione del link logico MS-SGSN e vengono trasmessi nel caso in cui non vi siano frame di tipo I da scambiare fra pari entità. Esempi di comandi che sfruttano questo formato (o il piggybacking) attraverso gli I frame sono

RR (Receiver Ready) per indicare la possibilità di ricevere frame o per dare una conferma implicita della ricezione di un gruppo di frame ed il RNR (Receiver Not Ready).

- **Unconfirmed Information format (UI):** questo formato è usato per trasferire informazioni fra i livelli Rete in modalità unacknowledged.
- **Unnumbered format (U):** formato di controllo utilizzato in aggiunta ai frame di tipo S. Esempi di comandi che sfruttano questo tipo di formato sono il SABM (Set Asynchronous Balanced Mode) per instaurare una connessione, DISC (Disconnect) per terminare una ABM, FRMR (Frame Reject) per indicare un rifiuto nella ricezione di un frame.

2.3.3.2 Primitive di servizio verso i livelli inferiori

I servizi che il livello LLC richiede ai livelli inferiori sono forniti attraverso il GRR-SAP (che interfaccia LLC e RLC) e attraverso il BSSGP-SAP che collega LLC con il BSSGP. Le primitive di servizio richieste ai livelli inferiori sono indicate nella seguente tabella:

Generic Name	Location		Type				Parameters
	MS	SGSN	REQ	IND	RES	CNF	
LLE « RLC/MAC							
GRR-DATA	X		X				TLLI, LL-PDU, SAPI, Cause, QoS Parameters, Radio Priority
GRR-DATA	X			X			TLLI, LL-PDU
GRR-UNITDATA	X		X				TLLI, LL-PDU, SAPI, QoS Parameters, Radio Priority
GRR-UNITDATA	X			X			TLLI, LL-PDU

Tabella 2.7: Primitive utilizzate dal LLC

- **GRR-DATA:** è la primitiva che viene utilizzata per richiedere al livello RLC il trasferimento di una LL-PDU in modalità acknowledged. Il SAPI identifica il *Service Access Point* da cui è partita la richiesta; i *QoS parameters* servono ad identificare la *Peak throughput class* richiesta dai livelli superiori mentre la *Radio Priority* è la priorità radio che viene utilizzata nell'instaurazione della connessione a livello RLC\MAC.

- **GRR-UNITDATA:** in analogia alla GRR-DATA viene utilizzata per richiedere al livello RLC il trasferimento di una LL-PDU in modalità unacknowledged. I parametri hanno lo stesso significato del caso precedente.