5 Architettura protocollare

L'architettura protocollare del GPRS è basata sul principio della stratificazione dei protocolli, in accordo col modello ISO/OSI; lo standard GPRS distingue due tipi di piani protocollari, detti rispettivamente piano di trasmissione e piano di segnalazione.

5.1 Piano di trasmissione

I protocolli compresi nel piano di trasmissione (*transmission plane*, v. Figura 5.1) gestiscono la trasmissione delle informazioni dell'utente e dei dati relativi alle procedure di controllo associate, quali rilevazione o correzione di errori e controllo di flusso.

Nella figura, lo strato indicato come applicativo comprende in realtà diversi sottostrati, dipendenti dall'applicazione che gestisce lo scambio dei dati e dalla rete a pacchetto su cui avviene tale scambio. Analogamente, i protocolli dello strato di rete dipendono da quelli in uso sulla rete a pacchetto stessa. Ad esempio, se il servizio GPRS viene utilizzato per una navigazione su Internet, al di sopra dello strato SNDCP (nella MS) verranno utilizzati i protocolli IPv4, TCP, HTTP. Evidentemente, la definizione di tali protocolli non è di competenza dello standard GPRS.

Allo stesso modo, lo standard GPRS non si occupa degli strati al di sotto di IP, ovvero degli strati OSI di collegamento e fisico, tra SGSN e GGSN: qui possono essere

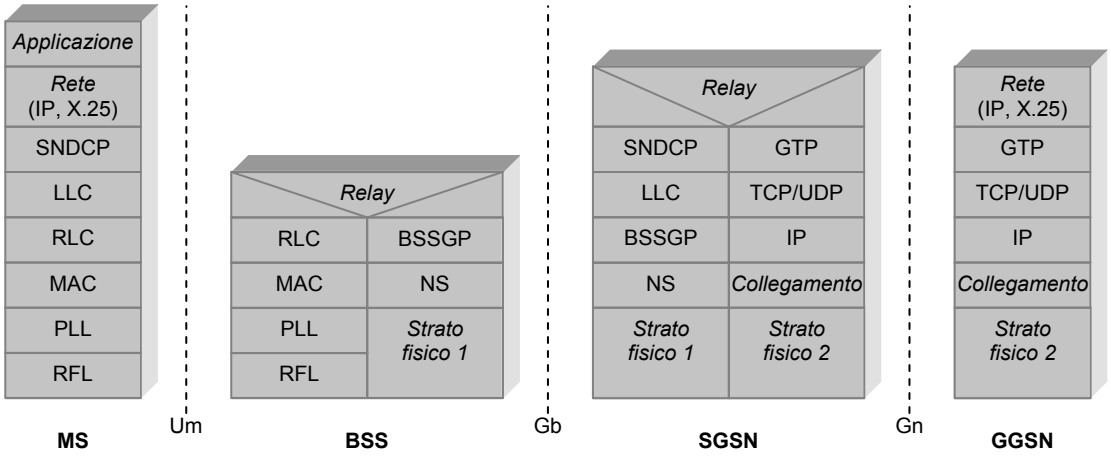

Figura 5.1. Piano di trasmissione

utilizzati diversi protocolli, corrispondenti alle diverse architetture di rete scelte dai vari gestori (Ethernet, ISDN,…). Anche l'implementazione dello strato fisico tra BSS e SGSN è lasciata ai singoli gestori.

5.1.1 GTP

Il protocollo GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) ha il compito di inviare mediante *tunneling* i pacchetti di dati provenienti dalle reti esterne all'SGSN che controlla il terminale cui i dati sono diretti, e viceversa.

La tecnica di *tunneling* consiste nell'incapsulare i pacchetti in uso nelle reti esterne in pacchetti GTP, che vengono poi spediti all'opportuno nodo di supporto. In questo modo, il trasferimento di tutti i pacchetti destinati agli utenti serviti da un certo SGSN viene forzato verso tale nodo, creando così dei "tunnel" tra SGSN e GGSN. Quando l'utente cambia la propria posizione all'interno della rete, passando sotto il controllo di un altro SGSN, il GGSN invia i pacchetti al nuovo nodo, variando così la destinazione del tunnel aperto per quell'utente.

Poiché un nodo può avere diverse interfacce verso altri nodi di supporto, il GTP associa ad ogni pacchetto un *Tunnel Identifier* (TID), che identifica univocamente la transazione alla quale appartiene il pacchetto, definendone quindi l'instradamento. Il protocollo GTP inserisce inoltre in ogni pacchetto alcuni parametri che specificano il tipo dei dati trasportati (lo stesso protocollo è infatti anche utilizzato per il trasporto di dati di controllo, v. par. 5.2.4) e la qualità del servizio richiesta.

5.1.2 TCP/UDP

Per trasportare i pacchetti GTP, a seconda del tipo di rete a pacchetto da cui provengono o a cui sono diretti i dati, possono essere utilizzati i protocolli TCP (*Transmission Control Protocol*) o UDP (*User Datagram Protocol*).

- Il protocollo **TCP** consente un trasferimento affidabile dei dati tra SGSN e GGSN. Questo è possibile grazie a sistemi di ritrasmissione dei pacchetti errati mediante procedure di *Automatic Repeat Request* (ARQ). Tale protocollo effettua inoltre un controllo di flusso (riordinando i pacchetti ed eliminando quelli duplicati) e di congestione.
- Il protocollo **UDP** trasferisce i pacchetti di dati tra SGSN e GGSN in maniera non affidabile: sono previste procedure di controllo degli errori, ma eventuali pacchetti errati vengono semplicemente scartati senza che ne venga richiesta la ritrasmissione. Non è garantito che tutti i pacchetti inviati vengano ricevuti dal destinatario, e non è previsto alcun controllo di flusso o di congestione. Eventuali funzionalità avanzate devono essere svolte dagli strati superiori.

Il protocollo TCP è utilizzato per trasferire dati relativi a reti caratterizzate da collegamenti affidabili (come le reti X.25), mentre per pacchetti che non richiedono un collegamento affidabile (perché relativi, ad esempio, a reti IP) si usa UDP.

5.1.3 IP

IP (*Internet Protocol*), in particolare IPv4, è usato per instradare i pacchetti attraverso la rete di transito GPRS. Le dimensioni del datagramma IP saranno limitate dalla MTU (*Maximum Transmission Unit*) dello strato fisico sottostante (sul quale il GPRS lascia ampia libertà): la dimensione di un datagramma IP può arrivare a 65536 byte, ma, se la MTU dello strato fisico è inferiore, occorre eseguire la frammentazione del datagramma prima di spedirlo.

Per instradare il datagramma verso il GSN corrispondente alla destinazione finale, eventualmente attraversando altri GSN, si utilizzano i metodi di indirizzamento e di routing propri di IP.

5.1.4 SNDCP

La funzione principale dell'SNDCP (*Sub-Network Dependent Convergence Protocol*) è di offrire ai diversi protocolli di rete utilizzabili (IP, X.25 ed eventuali altri) un'interfaccia standard verso la rete GPRS, mascherando l'architettura sottostante, in modo che sia possibile trasportare pacchetti generati da differenti protocolli di rete senza alcuna modifica all'architettura GPRS. Le sue funzionalità includono la multiplazione di diverse connessioni dello strato superiore su una sola connessione logica e la corrispondente demultiplazione, la compressione e la decompressione dei dati e delle informazioni ridondanti presenti nell'header[9], la segmentazione e il riassemblaggio dei pacchetti in modo da renderne la lunghezza compatibile con la MTU degli strati sottostanti.

5.1.5 LLC

Il protocollo LLC (*Logical Link Control*) fornisce un collegamento logico affidabile e cifrato per lo scambio di pacchetti di dati tra la MS e il corrispondente SGSN. Le sue funzioni includono controllo di sequenza, controllo di flusso, cifratura dei dati, rivelazione di errori e loro correzione mediante procedure di *automatic repeat request*. È previsto l'uso delle modalità di trasmissione confermata e non confermata (a seconda della qualità del servizio richiesta), è possibile diversificare i flussi in base alla priorità, è supportato l'indirizzamento PTP e PTM, è possibile gestire pacchetti di lunghezza variabile.

Ogni collegamento logico tra MS e SGSN è identificato univocamente da un TLLI (*Temporary Logical Link Identifier*). Lo strato LLC deve essere indipendente dai protocolli sottostanti, in modo da permettere l'introduzione di nuove modalità di trasmissione (ad esempio l'EDGE, v. par. 9.1) con minimi aggiornamenti alla rete di transito GPRS.

---

[9] La compressione dei dati, che avviene generalmente utilizzando il protocollo V.42bis, ha il vantaggio di limitare la quantità di dati da trasmettere sull'interfaccia radio e quindi di aumentare la velocità di trasmissione percepita dall'utente, ma presenta lo svantaggio di richiedere una capacità di elaborazione e di memorizzazione notevole, soprattutto a confronto delle limitate potenzialità delle MS. Per questo motivo, non sempre tale funzione viene implementata.

5.1.6 BSSGP

Il BSSGP (*Base Station System GPRS Protocol*) si occupa di trasferire le informazioni tra l'SGSN e la PCU installata nel BSS per supportare il servizio GPRS. Questo protocollo inoltre trasferisce dall'SGSN al BSS informazioni sull'interfaccia radio che saranno usate dallo strato RLC/MAC del BSS per comunicare con la MS in downlink, e dal BSS all'SGSN altre informazioni ricevute dallo strato RLC/MAC del BSS e derivanti dalla comunicazione con la MS in uplink.

5.1.7 NS

Il protocollo NS (*Network Service*) ha lo scopo di rendere la comunicazione tra SGSN e BSS indipendente dal sottostante strato fisico; inoltre tale protocollo può informare gli strati superiori di eventuali congestioni della rete o di variazioni delle sue capacità trasmissive. La struttura interna del NS è divisa logicamente in un sottosistema di controllo e in un sistema di gestione delle connessioni virtuali, identificate da un BVCI (*BSSGP Virtual Connection Indicator*).

5.1.8 RLC

La funzione principale del protocollo RLC (*Radio Link Control*) è la creazione di un collegamento logico affidabile tra MS e BSS. In particolare, questo protocollo si occupa della segmentazione e del riassemblaggio dei pacchetti di dati provenienti dagli strati superiori e dei messaggi di controllo in blocchi RLC, del controllo degli errori e del controllo di flusso.

Per quanto riguarda il controllo degli errori, il protocollo RLC può operare in due modalità. Nella modalità non confermata, utile per applicazioni sensibili al ritardo di trasmissione ma che tollerano la perdita di qualche blocco di dati, è previsto l'invio degli acknowledgement al solo scopo di controllare la potenza del segnale, ma non sono previste ritrasmissioni: lo strato RLC passa agli strati superiori i dati così come li ha ricevuti. Nella modalità confermata, utile per applicazioni che non possono tollerare perdite di pacchetti, è previsto l'invio di messaggi di acknowledgement positivi e negativi, e la ritrasmissione dei blocchi corrotti; i dati vengono passati agli strati superiori esattamente come erano stati trasmessi. Il controllo di flusso è implementato con un metodo a finestra scorrevole di larghezza fissa e pari a 64 blocchi.

Come si può notare, all'interfaccia tra la MS e la rete ci sono due protocolli (LLC e RLC) che si occupano della ritrasmissione di pacchetti, rispettivamente tra MS e SGSN e tra MS e BSS. La presenza di due livelli di ritrasmissione è necessaria perché l'interfaccia radio è poco affidabile, quindi possono andare perduti fino al 10% dei blocchi RLC trasmessi. Siccome una trama LLC è segmentata dallo strato RLC in diversi blocchi, se il protocollo RLC non provvedesse alla ritrasmissione occorrerebbe ritrasmettere un'intera trama LLC anche quando uno solo dei blocchi RLC in cui è stata frammentata risultasse errato. D'altra parte, la ritrasmissione effettuata dal protocollo LLC è necessaria perché lo strato RLC non può far fronte alla perdita di intere trame LLC (dovuta, ad esempio, al passaggio da una cella all'altra). Infine, lo strato LLC può correggere errori non rivelati dal sottostante strato RLC, aumentando così la robustezza del collegamento.

5.1.9 MAC

Il protocollo MAC (*Medium Access Control*) controlla le richieste di accesso al mezzo trasmissivo da parte delle MS e della rete, in modo da gestire efficientemente le risorse condivise, costituite da un insieme di canali di traffico. In particolare, il protocollo MAC provvede alla risoluzione di conflitti derivanti da tentativi di accesso contemporaneo al mezzo da parte di diversi utenti, alla multiplazione statistica dei canali, all'arbitraggio tra le diverse richieste di servizi, e all'allocazione del mezzo ai diversi utenti in base alle rispettive richieste e classi di QoS.

Da una parte, il protocollo MAC deve permettere a una singola MS di utilizzare simultaneamente diversi canali fisici (cioè diversi slot della stessa trama TDMA); dall'altra deve permettere a diverse MS di utilizzare una dopo l'altra lo stesso canale fisico (cioè lo stesso slot di diverse trame TDMA). Le procedure necessarie per l'accesso al mezzo e per la trasmissione di pacchetti di dati sull'interfaccia radio sono descritte nel paragrafo 6.10.

5.1.10 PLL/RFL

Lo strato fisico tra MS e BSS può essere diviso in due sottostrati: il primo, detto *Physical Link Layer* (PLL), stabilisce un canale fisico tra MS e BSS, occupandosi di codifica di canale (esaminata in dettaglio nel paragrafo 6.5), *interleaving*, rivelazione di eventuali errori di trasmissione e loro correzione o segnalazione di errori incorreggibili, rivelazione di situazioni di congestione dei collegamenti fisici, controllo della potenza; il *physical RF Layer* (RFL) invece si occupa di modulazione e demodulazione in conformità alle specifiche GSM.

5.2 Piano di segnalazione

I protocolli compresi nel piano di segnalazione (*signaling plane*) supportano e controllano l'esecuzione delle funzioni proprie del piano di trasmissione, quali connessione e disconnessione al servizio GPRS, attivazione dei contesti PDP, controllo dell'allocazione delle risorse di rete, gestione dei percorsi di routing in modo da supportare la mobilità degli utenti.

5.2.1 MS – SGSN

Tra MS e SGSN (v. Figura 5.2), il protocollo GMM/SM (*GPRS Mobility Management and Session Management*) è responsabile delle procedure riguardanti la gestione della mobilità e della sessione. Questo protocollo comprende funzioni relative a connessione e disconnessione GPRS, aggiornamenti della routing area, procedure per la sicurezza, attivazione, modifica e disattivazione di contesti PDP. I protocolli utilizzati negli strati sottostanti sono gli stessi già visti nel piano di trasmissione.

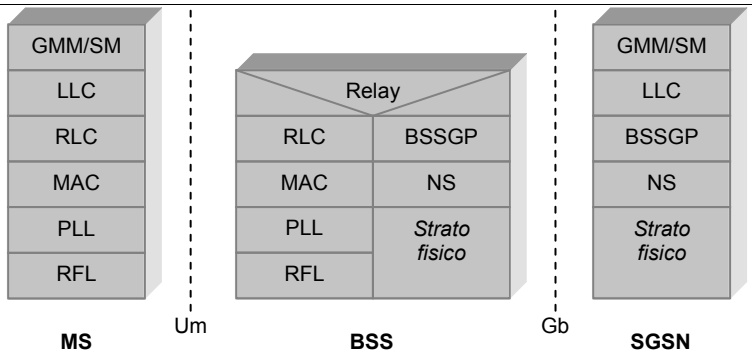

Figura 5.2. Piano di segnalazione: MS – SGSN

5.2.2 SGSN – HLR, SGSN – EIR

I protocolli utilizzati per lo scambio di informazioni tra l'SGSN e i registri HLR ed EIR (v. Figura 5.3) sono gli stessi definiti per il sistema GSM tradizionale, parzialmente estesi per supportare le funzionalità specifiche del GPRS.

Sia tra SGSN e HLR che tra SGSN e EIR, si utilizza infatti il protocollo MAP (*Mobile Application Part*), che trasporta le informazioni di segnalazione relative a aggiornamenti della posizione della MS, informazioni sul routing, profili degli utenti e handover.

Lo scambio di messaggi MAP avviene grazie al sottostante strato TCAP (*Transaction Capabilities Application Part*), mediante meccanismi interattivi basati su richieste e risposte.

L'SCCP (*Signaling Connection Control Part*) identifica i processi a cui inviare i messaggi, inoltra i messaggi stessi e traduce gli indirizzi logici in parametri compatibili con gli strati sottostanti.

Lo strato MTP (*Message Transfer Part*) è composto da tre livelli, detti MTP1, MTP2 e MTP3. Il livello MTP1 corrisponde allo strato fisico, e si occupa di fornire un percorso di trasmissione bidirezionale per le funzioni di segnalazione. L'MTP2 è un livello di collegamento che provvede alla rivelazione e alla correzione degli errori ed al controllo di flusso. Il livello MTP3 gestisce i messaggi di segnalazione (regola cioè le interazioni riguardanti il controllo della rete tra i diversi nodi) e si occupa delle funzioni di amministrazione dell'infrastruttura di segnalazione (gestendone ad esempio i malfunzionamenti).

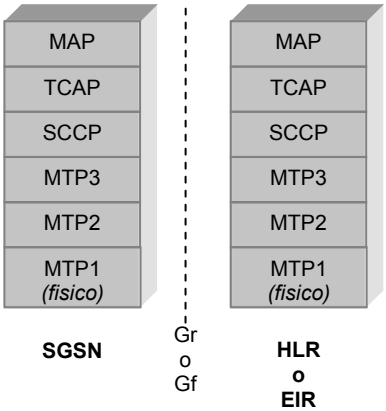

Figura 5.3. Piano di segnalazione: SGSN – HLR, SGSN - EIR

5.2.3 SGSN – MSC/VLR

Lo scambio di informazioni di segnalazione tra SGSN e MSC/VLR avviene solo nei casi in cui l'operatore abbia abilitato la rete GPRS a cooperare con la rete a circuito GSM. In questo caso (v. Figura 5.4) il BSSAP+, che include funzioni del BSSAP (*Base*

Station System Application Part, proprio del GSM), è utilizzato per trasmettere informazioni utili alla gestione della mobilità nei casi in cui sia necessaria una coordinazione tra le funzioni del GPRS e del GSM convenzionale: è impiegato ad esempio per cercare una MS tramite GPRS per una chiamata entrante GSM o per l'aggiornamento combinato della posizione sulla rete GPRS e su quella GSM.

I protocolli sottostanti sono gli stessi già visti per la comunicazione tra SGSN e HLR o EIR.

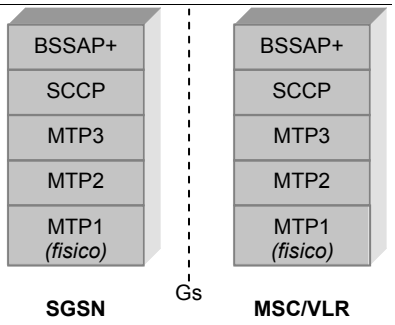

Figura 5.4. Piano di segnalazione: SGSN – MSC/VLR

5.2.4 GSN – GSN

I protocolli utilizzati per lo scambio di informazioni tra due qualsiasi GSN, ovvero tra due SGSN o tra un SGSN e un GGSN o tra due GGSN, sono rappresentati in Figura 5.5. Il protocollo GTP, già visto nel piano di segnalazione (v. par. 5.1.1), può trasportare, oltre ai dati degli utenti, anche messaggi di segnalazione scambiati tra due nodi di supporto della rete GPRS. Questi, al pari dei dati di utente, vengono inviati dal nodo sorgente al nodo destinatario mediante *tunneling*. Per il trasporto dei pacchetti di controllo GTP viene utilizzato UDP, caratterizzato da un minore overhead rispetto a TCP. I pacchetti UDP vengono trasportati da IP, al di sotto del quale lo standard GPRS prevede che possa essere utilizzato, a seconda dell'architettura di rete scelta, qualsiasi protocollo.

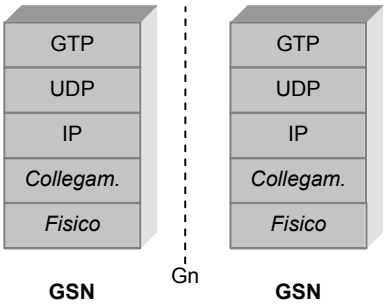

Figura 5.5. Piano di segnalazione: GSN – GSN

5.2.5 GGSN – HLR

Lo scambio di informazioni di segnalazione tra GGSN e HLR può essere realizzato in due differenti modi.

- La prima modalità, mostrata in Figura 5.6, prevede l'esistenza di un'interfaccia (Gc) tra GGSN e HLR, nonché il supporto da parte del GGSN stesso dei protocolli indicati in figura. In questo caso, il piano di segnalazione è evidentemente molto simile a quello usato per lo scambio di informazioni tra SGSN e VLR o tra SGSN e VLR.
- La seconda modalità, mostrata in Figura 5.7, si può utilizzare invece qualora non sia presente alcun collegamento diretto tra GGSN e HLR: in tal caso lo scambio di informazioni di segnalazione tra i due nodi avviene attraverso un nodo di supporto intermedio (che può essere un GGSN o un SGSN). Tale nodo intermedio deve essere in grado di supportare sia i protocolli utilizzati dal GGSN che quelli utilizzati dall'HLR, nonché di gestire la funzione di relay tra le due diverse pile protocollari.

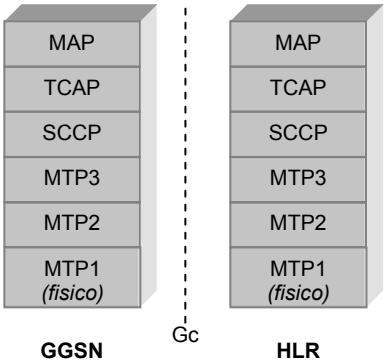

Figura 5.6. Piano di segnalazione: GGSN – HLR (con interfaccia Gc)

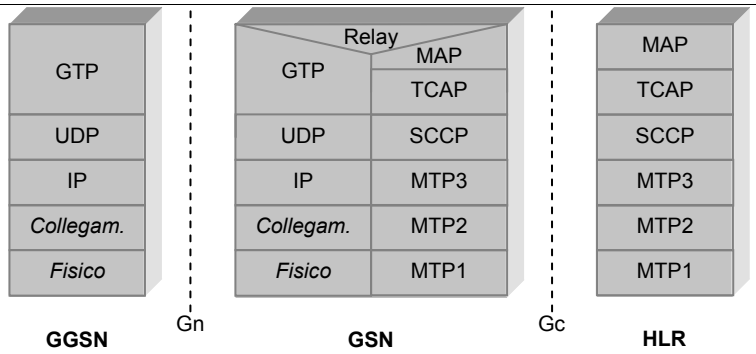

Figura 5.7. Piano di segnalazione: GGSN – HLR (senza interfaccia Gc)

In entrambi i casi, i protocolli che entrano in gioco sono già stati esaminati precedentemente (paragrafi 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.2.2).

5.3 Esempio di routing

Avendo definito le funzioni svolte dai differenti livelli protocollari del GPRS, è possibile descrivere il percorso seguito da un pacchetto di dati (*Packet Data Unit*, PDU) nell'attraversamento della rete GPRS da un estremo all'altro. Si consideri ad esempio, con riferimento alla Figura 5.8, il caso in cui una PDU (generata da un qualsiasi applicativo) proveniente da una rete esterna (ad esempio Internet) debba essere consegnata a un terminale mobile GPRS. I dati devono passare dalla rete esterna al GGSN che la interconnette con la rete GPRS, quindi (attraverso la dorsale GPRS) all'opportuno SGSN, poi al BSS, per giungere infine alla MS.

Dal punto di vista della rete a pacchetto esterna, la rete GPRS appare come una qualsiasi sottorete, e il GGSN si presenta come un comune router. La PDU proveniente dalla rete esterna, detta N-PDU (*Network PDU*) contiene come indirizzo di destinazione un particolare indirizzo conforme agli standard in uso sulla rete stessa (nel caso di Internet, un indirizzo IP), grazie al quale è possibile instradarla attraverso gli opportuni nodi della rete fino al GGSN.

Nel GGSN, durante la discesa dello stack protocollare, la N-PDU è incapsulata in pacchetti conformi ai protocolli utilizzati nei diversi livelli. In particolare, il GTP aggiunge un header che svolge la funzione di differenziare la N-PDU da un messaggio di controllo GTP e di identificare (mediante il TID) il percorso che il pacchetto dovrà seguire, a seconda dell'indirizzo di destinazione. In particolare, viene specificato l'indirizzo dell'SGSN a cui i dati dovranno essere inviati. Quindi il pacchetto è passato allo strato sottostante, costituito, a seconda della QoS richiesta, da TCP o UDP; l'header aggiunto contiene gli indirizzi delle porte di sorgente e destinazione, e (nel caso del TCP) informazioni per il controllo di flusso e per il recupero di errori. Il sottostante protocollo IP aggiunge un header contenente gli indirizzi IP dei GSN di sorgente e destinazione (nel caso in esame, quelli del GGSN e dell'SGSN) e, a seconda della lunghezza della N-PDU e della MTU degli strati sottostanti, può provvedere alla

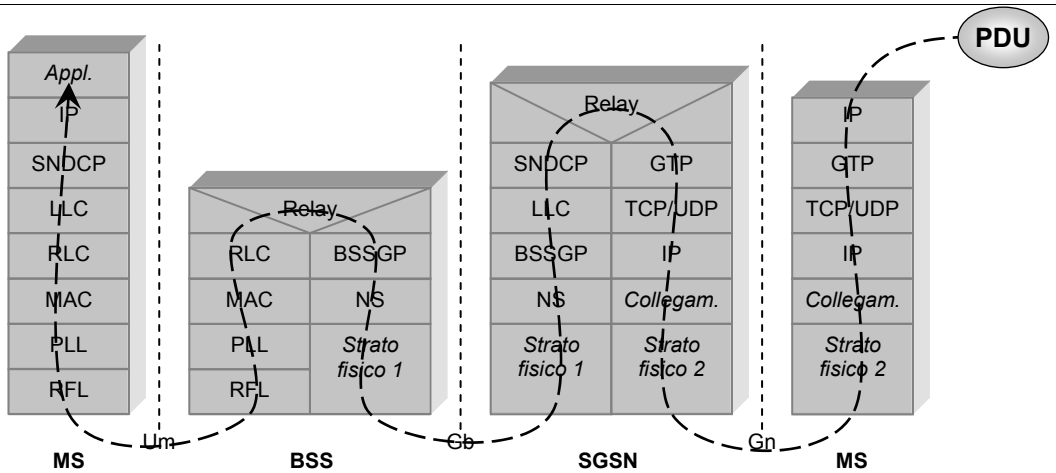

Figura 5.8. Percorso seguito da una PDU all'interno della rete GPRS

frammentazione della N-PDU stessa. Infine, lo strato fisico si occupa di trasmettere all'SGSN, tramite l'interfaccia Gn, i pacchetti risultanti.

Nell'SGSN, gli header sono progressivamente rimossi durante la risalita dei dati lungo lo stack protocollare, e la PDU è rilanciata verso la MS da parte dell'SNDCP (a questo livello viene ignorata la presenza del BSS). Questo protocollo può (all'occorrenza) comprimere e/o frammentare i pacchetti in modo da adattarli alle caratteristiche degli strati sottostanti; poi l'SNDCP classifica la N-PDU come una SN-DATA PDU (per servizi di tipo *connection oriented*) o come una SN-UNITDATA PDU (per servizi *connectionless*); infine alla PDU viene aggiunto un header contenente informazioni su compressione e segmentazione, e la PDU stessa viene passata allo strato sottostante. Lo strato LLC, come si è detto, svolge principalmente il compito di fornire una connessione logica affidabile tra SGSN e MS: per questo, la SN-DATA/SN-UNITDATA PDU è incapsulata in un pacchetto (detto blocco LLC) il cui header contiene informazioni di controllo per il trasferimento delle trame, per il loro riordino, per il controllo di errori e per la cifratura. Ad ogni pacchetto è inoltre aggiunto un codice detto FCS (*Frame Check Sequence*), utilizzato per la rivelazione degli errori. Il sottostante protocollo BSSGP fornisce allo strato NS informazioni di routing che consentono l'instradamento del blocco LLC sulla rete *Frame Relay* fino al BSS; tale protocollo aggiunge inoltre al blocco LLC un header contenente informazioni utili per la trasmissione dei dati sull'interfaccia radio, dirette allo strato RLC/MAC. I dati stessi sono quindi inviati al BSS tramite l'interfaccia Gb.

Nel BSS i dati, dopo aver risalito lo stack protocollare, vengono rilanciati alla MS. Lo strato RLC provvede alla segmentazione dei blocchi LLC in blocchi RLC, più piccoli; un insieme di blocchi LLC, segmentati in blocchi RLC, è detto TBF (*Temporary Block Flow*). Per ogni TBF vengono allocati, all'interfaccia radio, uno o più canali di traffico (PDTCH). Il TBF costituisce quindi il mezzo usato da BSS e MS per supportare il trasferimento unidirezionale di blocchi LLC sui canali fisici di traffico. Ad ogni TBF, che viene mantenuto attivo solo finché dura il trasferimento dei dati, è associata una TFI (*Temporary Flow Identity*) in modo che diversi flussi nella stessa direzione (uplink o downlink) riguardanti la stessa MS abbiano diverse TFI. Lo strato RLC aggiunge ai blocchi RLC un header contenente tra l'altro la TFI, il numero di sequenza del blocco

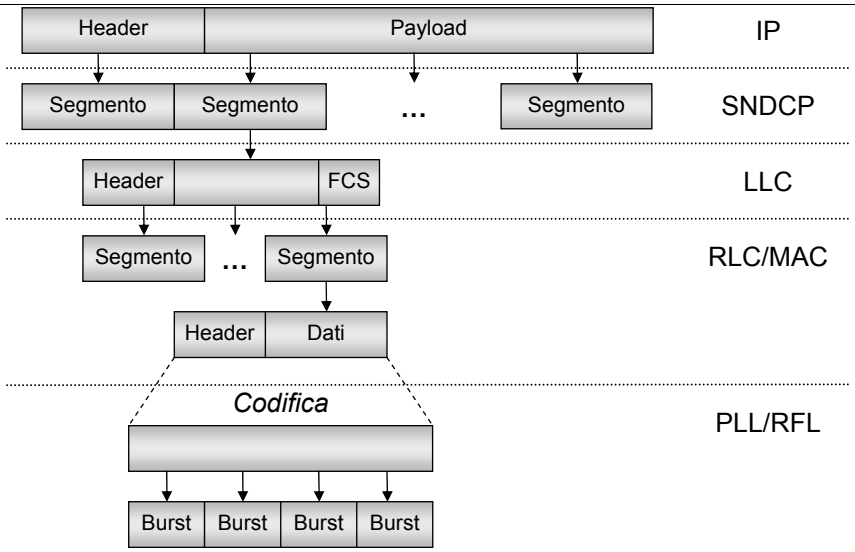

Figura 5.9. Segmentazione dei dati ai diversi livelli protocollari

RLC, l'indicazione dell'ultimo blocco da trasmettere, il TLLI e la direzione di comunicazione (uplink o downlink). La determinazione della quantità di bit di informazione contenuti in ogni blocco RLC, ovvero la scelta della dimensione dei segmenti di blocchi LLC convertiti in singoli blocchi RLC, dipende dallo schema di codifica utilizzato (v. paragrafo 6.5). A seconda dello schema, ogni blocco RLC contiene 20, 30, 36 o 50 byte di dati dello strato LLC. In ogni caso, i blocchi RLC sono passati allo strato MAC, che vi aggiunge il proprio header, contenente informazioni utili alla gestione dell'accesso al mezzo. I pacchetti risultanti vengono passati allo strato fisico, che, dopo averli codificati in modo da poter rivelare e correggere errori, effettua una nuova suddivisione in pacchetti da 114 bit ciascuno, inserisce ogni pacchetto in un burst normale (uguale a quelli in uso nel GSM) e trasmette questi ultimi alla MS attraverso l'interfaccia radio Um. Giunti alla MS, i dati risalgono lo stack protocollare fino a raggiungere lo strato applicativo.

La Figura 5.9 illustra i processi di segmentazione subiti dai dati inviati da una MS nel loro percorso attraverso lo stack protocollare.