

## CAPITOLO 1

# I NUOVI SCENARI NELLE RETI DI TELECOMUNICAZIONI

## 1.1 Premessa

Il mondo delle telecomunicazioni ha subito, negli ultimi anni, cambiamenti continui e radicali. In particolare, due tecnologie di comunicazione hanno rappresentato, senza ombra di dubbio, i più grandi successi di fine secolo nel settore: la *telefonia mobile* e la trasmissione dati tramite la rete *Internet*.

Quello delle *comunicazioni mobili* è stato uno dei settori a più rapida crescita del mercato delle telecomunicazioni nell'ultimo quinquennio. Ciò è evidenziato dallo spettacolare aumento degli abbonati al servizio GSM (Global System for Mobile Communications) e degli investimenti ad esso relativi [1]. Successivamente al lancio commerciale nel 1992, il GSM e le tecnologie digitali ad esso collegate (DCS1800 e PCS1900) si sono imposti come norma mondiale per le telecomunicazioni mobili: circa 400 milioni di persone nel mondo (45 milioni in Europa) utilizzano questi sistemi, con livelli di penetrazione che in alcune nazioni superano il 50% della popolazione. Le previsioni dicono che, a livello mondiale, nel 2003 sarà raggiunto il miliardo di terminali radiomobili in esercizio e avverrà il sorpasso delle linee telefoniche fisse, sorpasso peraltro già avvenuto in alcuni paesi, tra i quali l'Italia [1].

Alla sempre più vasta diffusione del GSM, si affianca inoltre, tanto in Europa quanto in altre parti del globo, la progressiva adozione di altre tecnologie di *comunicazioni senza filo* con mobilità ridotta. Basti pensare alla telefonia cordless, alle reti senza filo per telefoni e computer all'interno degli edifici, ai sistemi di radioavviso e all'impiego, nelle reti geografiche di piccole dimensioni, di tecnologie wireless in concorrenza con la rete pubblica fissa.

Sul fronte *Internet*, si è del resto riscontrato che il numero dei nuovi utenti cresce al ritmo di circa 18 milioni al mese, con un conseguente traffico dati che raddoppia ogni sei mesi circa [1]. Questo autorizza a pensare che "la Rete" stia ormai diventando il mezzo più importante per raccogliere e distribuire informazioni a livello mondiale.

Questo scenario sta dunque evidenziando una grande varietà nelle esigenze degli utenti, che va al di là della semplice comunicazione verbale e si indirizza invece verso una *convergenza* dei diversi media (voce, testo, video) e verso la possibilità di accedere ad essi in condizioni di mobilità, dovunque e tramite qualsiasi mezzo. Gli utenti si aspettano di poter comunicare in mobilità, tramite qualsiasi rete, consultare le e-mail sul cellulare, trasportare la voce per mezzo di una rete pubblica come potrebbe essere Internet e tanto altro ancora. Le possibilità sono, ovviamente, moltissime.

Per andare incontro a queste nuove richieste, l'industria delle telecomunicazioni continua ad elaborare nuovi standard e nuovi terminali, che consentano agli utenti non solo di comunicare, ma anche di interagire a distanza. Si tende ad arrivare ad un **sistema universale**, che fornisca tutti i servizi richiesti e con prestazioni sempre più vicine a quelle messe a disposizione dai sistemi fissi, in termini sia di qualità del servizio (QoS) sia di velocità di trasmissione.

Per garantire questi requisiti, si renderanno necessarie velocità di trasmissione in aria più elevate rispetto a quelle impiegate dalle tecnologie di comunicazione odierne. D'altra parte, proprio a livello radio insorgono notoriamente le limitazioni più forti, in quanto non vi è la possibilità di disporre di bande di frequenza più ampie. Di conseguenza, la comunità scientifica internazionale sta cercando di introdurre *funzionalità* che permettano una maggiore flessibilità nell'assegnazione delle risorse fisiche agli utenti, al fine di consentire, quando richiesto, comunicazioni con velocità di trasmissione dell'informazione ben superiori a quella tradizionale (che può essere individuata nei 9.6 kbit/s permessi dal sistema GSM).

Tra le funzionalità che stanno ricevendo maggiore attenzione spicca senz'altro la **compressione** delle informazioni da trasmettere, applicata sia ai "dati d'utente" veri e propri (*data compression*) sia soprattutto alle "informazioni di controllo" che li seguono nel loro percorso attraverso la rete (*header compression*). Questa tesi si occupa proprio di questo secondo aspetto.

## 1.2 Cenni alle reti di telecomunicazioni

Nell'ambito delle telecomunicazioni, una **rete** è, genericamente, l'insieme dei collegamenti che consentono la comunicazione tra due o più utenti. Al giorno d'oggi, quando si parla di *reti di telecomunicazioni*, ci si riferisce implicitamente alle cosiddette *reti a commutazione*, che costituiscono l'alternativa ormai ampiamente diffusa alle *reti dedicate*: mentre queste ultime prevedono la dispendiosa e poco flessibile presenza di un canale fisico per ogni coppia di stazioni d'utente da collegare, le reti a commutazione sono caratterizzate da un numero di canali fisici notevolmente inferiore rispetto al numero di collegamenti possibili. Nelle reti a commutazione, infatti, ogni canale viene messo a disposizione, con modalità diverse a seconda del tipo di rete considerato, solo quando c'è una richiesta di servizio da parte degli utenti.

Le reti a commutazione vengono suddivise in due grosse categorie:

- **reti a commutazione di circuito** (*circuit switching*): ogni canale fisico viene allocato ad ogni richiesta di servizio da parte di due utenti e viene ad essi riservato per tutta la durata della comunicazione. Si tratta della soluzione più affidabile ma anche meno efficiente, sia per gli utenti (che pagano il servizio solo in base al tempo di utilizzo delle risorse assegnate) sia per la rete (che impegna staticamente parte delle proprie risorse anche quando esse non vengono concretamente utilizzate);
- **reti a commutazione di pacchetto** (*packet switching*): non esiste un canale che venga esclusivamente dedicato a qualcuno; al contrario, la rete si sforza di garantire a tutti gli utenti un uso ottimale e flessibile delle risorse disponibili. Per ottenere questo, le informazioni da trasmettere sono suddivise in unità indipendenti, dette **pacchetti**, che possono transitare su uno qualunque dei canali fisici disponibili. Ogni pacchetto contiene sia l'*informazione d'utente* vera e propria (ad esempio i campioni di voce digitalizzata nel caso delle conversazioni telefoniche) sia l'*informazione di controllo* necessaria affinché i pacchetti possano muoversi nella rete, indipendentemente gli uni dagli altri, diretti verso la destinazione. In questo modo, ogni canale è sempre a disposizione di più utenti, i quali pagheranno il servizio non più in base al tempo di connessione, ma in base al volume di traffico generato.

Le reti a commutazione di pacchetto possono essere ulteriormente suddivise (figura 1.1) in due categorie, a seconda che siano *orientate alla connessione* oppure *non orientate alla connessione*:

- **reti a circuito virtuale** (orientate alla connessione): durante la fase di inizializzazione della connessione, si individua un percorso ottimale (*cammino virtuale*) che i pacchetti dovranno necessariamente seguire per raggiungere la destinazione. Ogni pacchetto contiene, tra le informazioni di controllo, gli identificatori del cammino virtuale, in modo da permettere ai nodi intermedi attraversati di instradarlo sempre nel modo corretto;
- **reti a datagramma** (non orientate alla connessione): i pacchetti non seguono un percorso fisso, ma quello più conveniente stabilito da un opportuno *algoritmo di instradamento*, applicato in ciascun nodo intermedio attraversato e per ciascun pacchetto. Rispetto alla reti a circuito virtuale, questo consente, al prezzo di maggiori tempi di elaborazione nei singoli nodi, di ottenere una maggiore robustezza nei confronti dei guasti e delle congestioni.

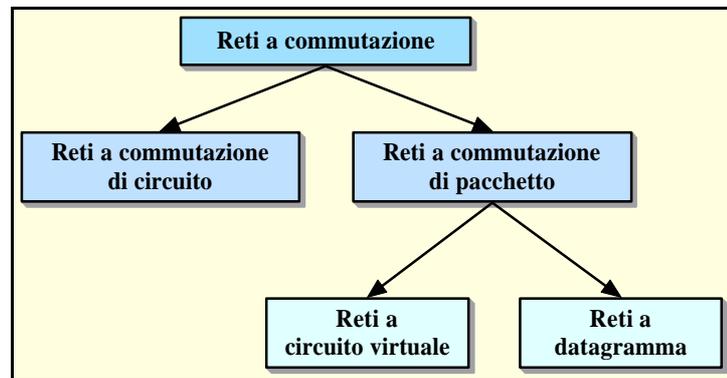


Figura 1.1 Classificazione delle reti a commutazione

### 1.3 Reti “all IP”

La strada verso un *sistema universale di telecomunicazioni* che garantisca la convergenza tra mobilità, comunicazione, informatica e contenuti pone un primo fondamentale problema nella scelta della “piattaforma” su cui realizzare tale convergenza. I fattori da tenere in conto sono almeno due: la difficoltà di integrare reti e servizi con caratteristiche e requisiti tecnici spesso molto diversi (si pensi alle profonde differenze tra “applicazioni voce” e “applicazioni dati”) e la necessità di doverlo fare in modo “efficiente”, in modo cioè che risultino elevate sia la qualità del servizio percepita dagli utenti sia la capacità della rete.

Per raggiungere questi due obiettivi, l’industria delle telecomunicazioni si sta orientando decisamente verso l’utilizzo di una **piattaforma unica a commutazione di pacchetto**, basata sul **protocollo IP** (*Internet Protocol*) [2].

Come osservato nel paragrafo 1.2, la commutazione di pacchetto fornisce notevoli vantaggi sia alla rete, che può distribuire le proprie risorse a più utenti contemporanei ed in modo più efficace, sia all’utente, che può usufruire di collegamenti permanenti (*always on*) e di meccanismi di tariffazione basati non più sulla durata delle proprie connessioni, ma sul volume di dati effettivamente scambiati.

Per altro verso, il *protocollo IP* rappresenta indubbiamente il vero “collante” della rete Internet, in quanto è suo compito primario consentire lo scambio di dati tra il gran numero di reti eterogenee che ne fanno parte. Non solo, ma, al giorno d’oggi, la gran parte delle reti interne aziendali è ormai basata sull’uso di IP.

La scelta della commutazione di pacchetto e, soprattutto, di IP nei nuovi sistemi appare dunque obbligata: gran parte dei servizi di comunicazione e informazione saranno prevedibilmente sviluppati e trasmessi in ambienti interconnessi tramite IP.

### 1.4 La compressione dell’header e l’algoritmo ROHC

La realizzazione di una rete di tipo “all-IP” crea necessariamente nuove problematiche di gestione delle singole connessioni, in diversi ambiti: controllo di ammissione, gestione della mobilità e della QoS, ottimizzazione dell’uso delle risorse e via discorrendo. In questa tesi, ci si concentra su uno dei più

importanti problemi di ottimizzazione di una simile rete: la **compressione dell'header sulla tratta radio**.

Negli ultimi anni, sono stati definiti diversi algoritmi di compressione dell'header per architetture TCP/IP, ma essi sono stati messi a punto essenzialmente per ottimizzare il collegamento tra i provider dei servizi e le utenze domestiche su linea telefonica fissa. La maggior parte di questi protocolli non risulta dunque adatta a *sistemi wireless*, a causa delle profonde differenze esistenti rispetto ai *sistemi fissi*, riconducibili essenzialmente all'elevata rumorosità che caratterizza i canali radio ed all'elevato tempo minimo di interazione (RTT, Round Trip Time) tra l'host mobile e la rete di trasporto cui è collegato.

Per questi motivi, la comunità scientifica internazionale ha avviato diversi progetti di studio finalizzati alla ricerca di uno schema ottimale di compressione dell'header IP su tratta radio. L'unico che, attualmente, sta trovando sempre più credito è lo **schema ROHC** (*Robust Header Compression*), sviluppato dal workgroup omonimo nell'ambito dello **IETF** (*Internet Engineering Task Force*), l'organizzazione che si occupa, a livello internazionale, della definizione degli standard legati al mondo Internet.

L'obiettivo del ROHC Workgroup è quello di definire un algoritmo di compressione assolutamente generale, in grado di gestire qualsiasi tipo di traffico implementabile su piattaforma TCP/IP, nell'ambito di un sistema misto wireless-wired. L'algoritmo di compressione suddivide tutti i possibili flussi di pacchetti in *classi* e definisce, per ciascuna di esse, un adeguato *profilo di compressione*, ossia un insieme di regole con le quali vanno interpretati i pacchetti durante il processo di compressione/decompressione.

La versione dell'algoritmo [3] attualmente rilasciata dall'IETF si è univocamente concentrata sulla compressione di flussi tipicamente real-time (<sup>1</sup>), ma è anche servita ad indicare le linee guida che ogni eventuale nuovo profilo di compressione dovrà necessariamente rispettare per essere integrato nello schema ROHC. Ispirandosi a tali linee guida, *questa tesi propone allora un profilo di compressione specifico per flussi non real-time basati su protocollo TCP [2,4], supportandone l'analisi tramite simulazioni.*

---

<sup>1</sup> Con il termine "real-time" si indica la classe dei traffici di dati generati dai servizi voce e/o video in tempo reale. La fondamentale caratteristica di questo tipo di servizi è che i pacchetti che giungono a destinazione oltre un ritardo massimo (fissato per ogni servizio) devono essere scartati.

## **1.5 Sistemi radiomobili di terza generazione**

Uno degli ambiti in cui maggiormente si trova conferma delle considerazioni dei precedenti paragrafi è senz'altro quello dei futuri *sistemi radiomobili cellulari*, noti come **sistemi di terza generazione** (brevemente **3G**).

Le esigenze cui tali nuovi sistemi tentano di rispondere possono essere sintetizzate nel modo seguente: permettere un'alta flessibilità in termini di capacità richiedibile al sistema anche in condizioni di asimmetria del collegamento; fornire un sistema integrato nel quale l'utente possa accedere ai servizi in modo uniforme da tutti gli ambienti (chiuso, aperto, in movimento lento e veloce, ecc.); consentire la differenziazione e la personalizzazione dei servizi offerti; fornire servizi di comunicazione multimediale (che cioè prevedano flussi contemporanei di informazioni di varia natura, come video e audio); fornire all'utente non in movimento i medesimi servizi di cui gode normalmente nel suo ambiente residenziale e d'ufficio, con qualità paragonabile a quella fornita dalla rete fissa e dalle reti locali (LAN).

Si ritiene utile fornire i concetti fondamentali su tali sistemi, ritenendo che essi costituiscano un importantissimo campo di applicazione dei meccanismi di compressione oggetto di questa tesi.

### **1.5.1 Cenni storici**

Diversi anni fa, l'ITU (*International Communications Union*) avviò il processo di standardizzazione di **FPLMTS** (*Future Public Land Mobile Telecommunication Systems*). Nel 1996 erano già stati individuati tutti i requisiti minimi che dovevano essere soddisfatti da una tecnologia radio per poter essere considerata un candidato per FPLMTS. Nel 1997, FPLMTS fu rinominato come **IMT-2000** (*International Mobile Telecommunications 2000*).

L'ITU ha fatto da organismo focalizzatore di tutte le attività condotte dai vari enti normativi nazionali ed internazionali, verso la definizione dei nuovi sistemi. Ciascun ente ha proposto la propria soluzione conforme alle specifiche IMT-2000. Data la presenza di molteplici soggetti sulla scena, mossi ciascuno da interessi diversi, si è arrivati alla conclusione che IMT-2000 sarà costituito da una *famiglia di sistemi*, caratterizzati da un sufficiente grado di compatibilità e idonei ad assicurare il roaming mondiale. Della predetta "famiglia di sistemi" farà parte la soluzione presentata dall'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) per l'Europa, cui è stato assegnato il nome di **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*) [1].

### 1.5.2 Architettura generale di una rete radiomobile

Un qualsiasi sistema radiomobile cellulare è costituito sostanzialmente da due “sottoreti”, secondo lo schema generale riportato in figura 2.1.

La **rete di accesso** (RAN, Radio Access Network) di un sistema radiomobile è ciò che fornisce agli utenti la caratteristica della mobilità. L’accesso al sistema avviene attraverso *terminali* che comunicano via radio con delle *stazioni base* (BTS, Base Transceiver Station), ognuna adibita a coprire una data parte (*cella*) dell’area in cui si offre il servizio.

La rete di accesso si interfaccia dunque via radio con il terminale mobile e costituisce l’ingresso alla **Core Network**, la quale garantisce il trasporto delle informazioni (voce e dati) all’interno della stessa rete oppure da e verso reti esterne (fisse o radiomobili) [5].

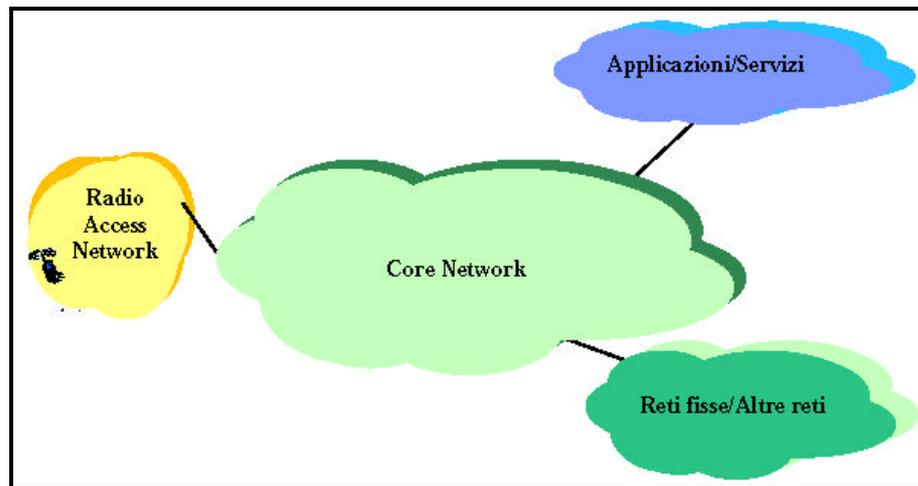


Figura 2.1 - Architettura generale di una rete radiomobile

La componente del sistema relativa alle **applicazioni ed ai servizi**, in figura 2.1, viene rappresentata come unità separata dalla Core Network, ma si tratta di una distinzione puramente logica, dato che le applicazioni ed i servizi, pur facendone parte, potrebbero essere offerti da entità (i cosiddetti *provider* o *operatori*) esterne alla rete attraverso cui, di fatto, ne fruiscono gli utenti.

#### La “Core Network”

La Core Network si sviluppa su rete fissa per poter meglio sfruttare le caratteristiche di ampiezza di banda e di stabilità del canale nella trasmissione via cavo. Essa costituisce il nucleo del sistema radiomobile e si occupa dei

principali compiti di gestione della rete: *commutazione* e *gestione delle chiamate* (elaborazione delle richieste di servizio, verifica della disponibilità delle risorse, instradamento dei dati), *tariffazione* (nelle reti commerciali), *monitoraggio* del sistema per rilevare eventuali malfunzionamenti.

La Core Network è interconnessa con altre reti esterne (radiomobili o fisse) ed è in grado di accedere ai centri che forniscono i servizi richiesti, siano essi interni o esterni al sistema stesso.

Fondamentalmente, la Core Network è un insieme di *nodi interconnessi*, ciascuno con propri compiti specifici. Una semplice schematizzazione di Core Network è riportata nella figura 3.1, in cui sono evidenziati i due principali tipi di nodi di rete: **nodi di commutazione** e **nodi di gestione**.

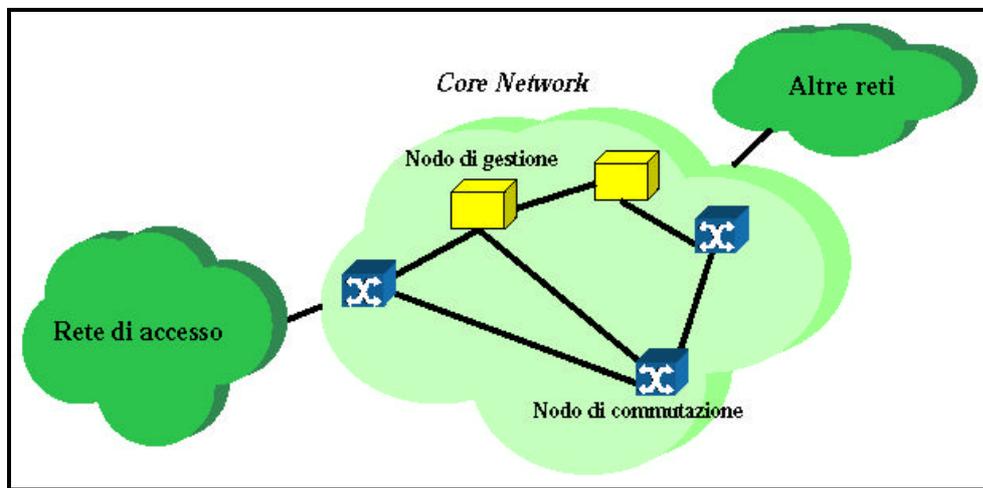


Figura 3.1 – Esempio di Core Network

I *nodi di commutazione* si occupano di instradare i dati “appartenenti” a ciascuna connessione sul percorso che li deve portare dalla sorgente alla destinazione. In questo compito, essi ricevono la collaborazione delle reti di accesso per la gestione della mobilità degli utenti.

I *nodi di gestione*, invece, hanno la fondamentale responsabilità del Call Control (controllo della chiamata), ossia devono stabilire se una data richiesta di servizio dispone delle necessarie autorizzazioni per essere servita e, in caso affermativo, se sono disponibili le risorse adeguate.

### 1.5.3 Il sistema UMTS

Il sistema UMTS conserva la struttura generale dei sistemi radiomobili descritta nel paragrafo precedente. Rispetto all'ormai affermato sistema GSM [6] ed al più recente sistema GPRS (General Packet Radio Service) [7] [8], esso introduce però importanti novità sia nella rete di accesso (che prende il nome di **UTRAN**, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) sia nell'architettura della rete di trasporto.

La prima versione dello standard, denominata *Release '99*, avrà una architettura del tipo schematizzato nella figura 4.1.

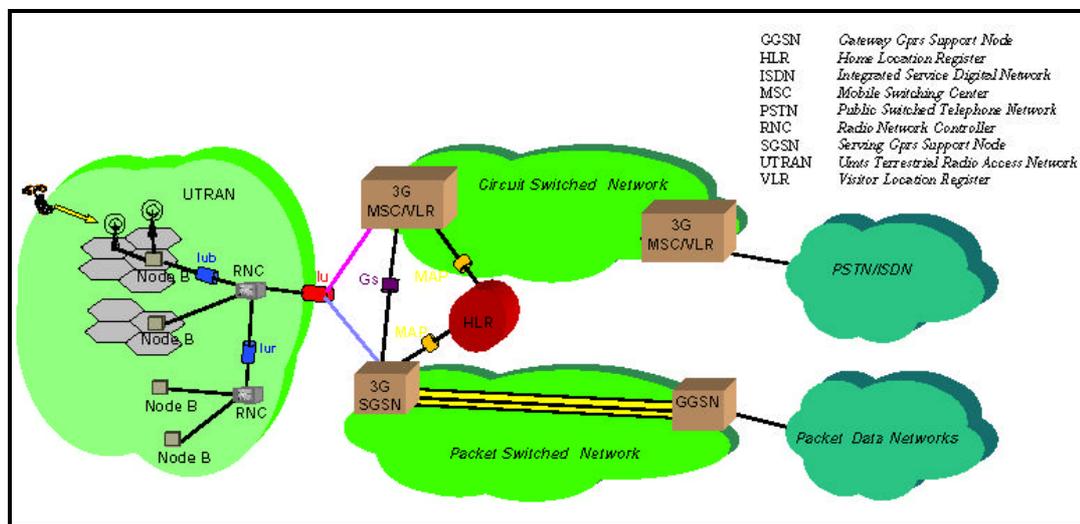


Figura 4.1 – Architettura di rete dell' UMTS

#### 1.5.3.1 Rete di accesso radio (UTRAN)

L'innovazione fondamentale introdotta nella rete di accesso radio consiste nell'utilizzo della *codifica a divisione di codice a larga banda* (W-CDMA, Wideband Code Division Multiple Access) [9] [10], in base alla quale la banda disponibile viene condivisa da tutti gli utenti, identificando ognuno di essi tramite un opportuno *codice* (*spreading code*) con cui “moltiplicare” il segnale trasmesso. Nelle intenzioni dell'ETSI, questo dovrebbe consentire di raggiungere velocità di trasmissione fino a 2 Mbit/s per utenti a bassissima mobilità.

La banda assegnata al singolo operatore UMTS è di 5 MHz [11] e può essere gestita in due modalità diverse: nella *modalità a divisione di frequenza* (FDD, Frequency Division Duplexing), le tratte di uplink (dal terminale alla

stazione base) e di downlink (dalla stazione base al terminale) sono separate assegnando a ciascuna una diversa porzione dello spettro; nella *modalità a divisione di tempo* (TDD, Time Division Duplexing), invece, la separazione delle due tratte è ottenuta assegnando a ciascuna intervalli di tempo differenti.

### **1.5.3.2 Core Network (CN)**

Al fine di garantire un cammino evolutivo il più possibile in linea con il sistema GSM ed il successivo GPRS, la Core Network proposta nella Release'99 sarà costituita da una *parte a commutazione di circuito*, per fornire servizi voce e servizi real-time in generale, e da una *parte a commutazione di pacchetto*, per fornire servizi dati non real-time. Nella figura 4.1, le due componenti sono ben evidenziate.

La *componente a commutazione di circuito* deriva direttamente dalla Core Network dell'attuale sistema GSM ed è fondamentale costituita da una interconnessione di centrali di commutazione (**MSC**, Mobile Switching Centre) che gestiscono l'instradamento ed il controllo delle chiamate.

La *componente a commutazione di pacchetto* è invece ereditata dal sistema GPRS. Essa è basata sul protocollo IP [2,12] e si occupa di tutti quei servizi che possono fruire della trasmissione dati in pacchetti e che tollerano ritardi di trasmissione anche non troppo bassi. I nodi fondamentali sono i cosiddetti **GSN** (GPRS Support Node), divisi a loro volta in due classi: i nodi **SGSN** (Serving GPRS Support Node), connessi alla rete di accesso allo stesso livello gerarchico che nel GSM hanno gli MSC, forniscono il servizio agli utenti conservandone le informazioni sulla posizione nelle celle ed eseguendo le funzioni relative alla sicurezza ed al controllo di accesso; i nodi **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) costituiscono invece l'interfaccia tra la rete in esame e le altre reti, per cui mettono in contatto tra di loro SGSN diversi e garantiscono un "percorso" dall'host mobile fino all'end-point all'altro estremo della connessione.

Sia la parte a commutazione di pacchetto sia quella a commutazione di circuito utilizzano opportune *basi di dati* (HLR, Home Location Register, e VLR, Visitor Location Register) per la gestione della mobilità e la memorizzazione del profilo sottoscritto da ciascun utente.

### *Dominio a commutazione di pacchetto*

Ogni terminale radiomobile è caratterizzato da un indirizzo IP che gli viene assegnato nel momento in cui si instaura una sessione di comunicazione. I pacchetti generati dal terminale arrivano, tramite la rete di accesso radio, al nodo SGSN cui è connesso e da questi vengono consegnati al GGSN di riferimento per quella data comunicazione. Il GGSN si occupa poi di inoltrare i dati alla rete di destinazione. Il percorso inverso avviene invece per i pacchetti diretti al terminale.

I pacchetti viaggiano tra SGSN e GGSN usando un meccanismo di *tunneling* (figura 5.1), che consente di gestire la mobilità degli utenti senza necessità di cambiare il loro indirizzo IP. Per ottenere questo, si utilizza l'apposito protocollo **GTP** (*GPRS Tunneling Protocol*).

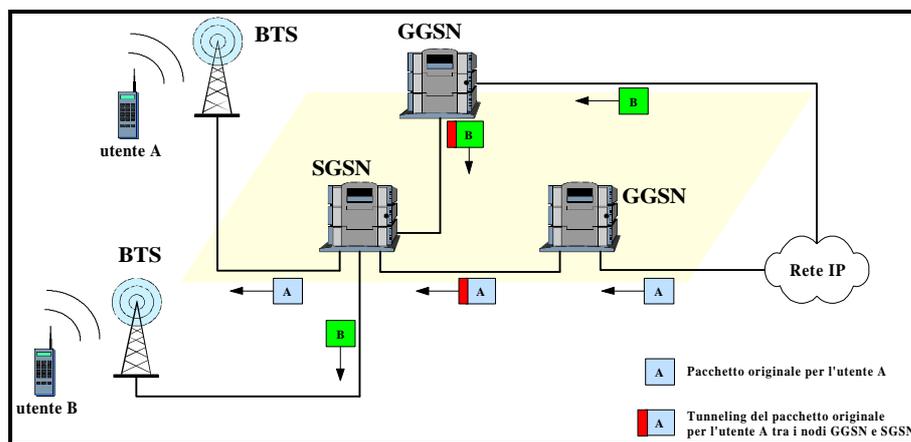


Figura 5.1 – Meccanismo di tunneling

Quando un utente deve trasmettere/ricevere dei dati, viene attivata una *connessione logica* tra il terminale (tramite il suo indirizzo IP) ed i nodi SGSN e GGSN, specificando così un ingresso ed una uscita dalla rete per i pacchetti. Il generico pacchetto IP destinato all'utente viene *incapsulato*, a cura del GGSN cui perviene, in un altro pacchetto IP, contenente l'indirizzo del nodo SGSN che controlla in quel momento il terminale mobile. In questo modo, il trasferimento di tutti i pacchetti destinati agli utenti controllati da un certo SGSN viene forzato verso tale nodo, creando dei *tunnel* tra GGSN e SGSN.

### 1.5.3.3 Evoluzioni future: la Release 2000

Il principale limite dell'architettura descritta nei precedenti paragrafi è rappresentato proprio dalla presenza di due domini distinti, quello a commutazione di circuito e quello a commutazione di pacchetto. Tale distinzione avviene fondamentalmente per ragioni di compatibilità con i sistemi precedenti (GSM e GPRS), ma, in base a quanto già osservato nel paragrafo 1.3, costituisce un ostacolo per la fornitura di servizi multimediali integrati, a causa delle difficoltà legate alla gestione dell'instradamento dei dati, relativi ad una stessa sessione, attraverso due reti effettivamente distinte.

Per superare questo limite, sono allo studio soluzioni alternative alla Release '99, al fine di convergere verso reti con un unico dominio (figura 6.1), unicamente a commutazione di pacchetto.

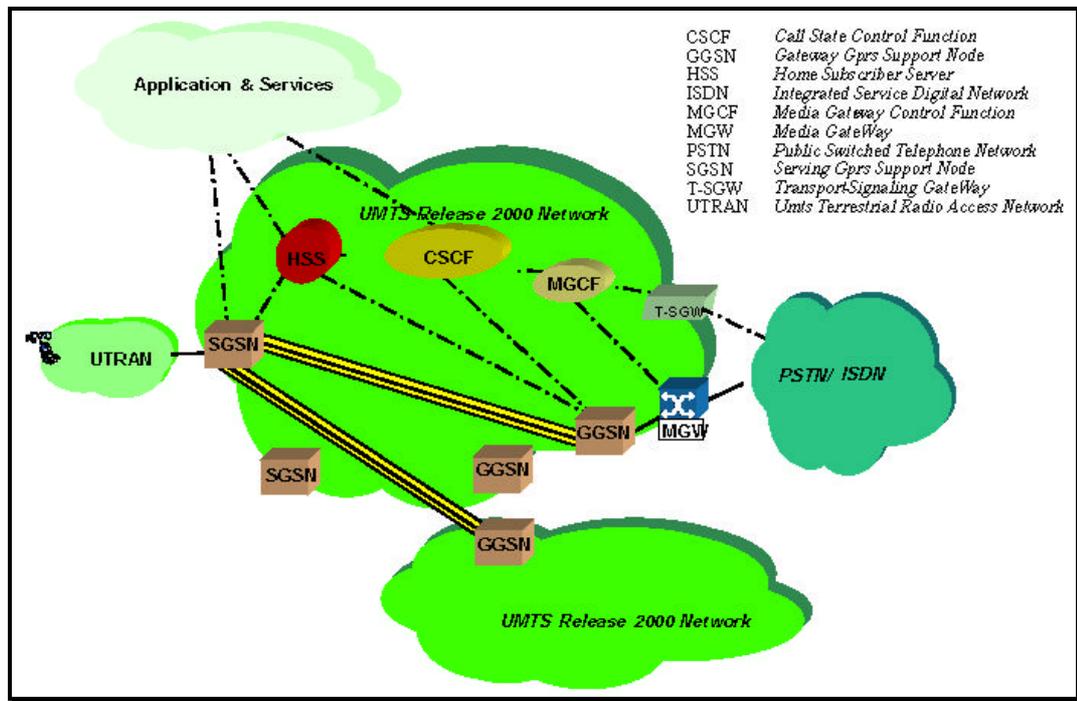


Figura 6.1 – Architettura di riferimento della Release 2000 per la Core Network dell'UMTS basata completamente su IP (all-IP network)

La figura 6.1 mostra la soluzione attualmente allo studio per la seconda versione dell'UMTS, denominata *Release 2000*, nella quale è previsto che l'intera Core Network sia a commutazione di pacchetto e sfrutti stack protocollari basati su piattaforma TCP/IP [13,14,15].